

12-203
UNIVERSITÉ DE NANCY I

U.E.R. Sciences de la Terre - Métallurgie - Chimie Minérale
Laboratoire de Sédimentologie

Sp. 297 - 82

T H E S E

présentée devant
l'UNIVERSITÉ DE NANCY I
pour l'obtention du titre de
DOCTEUR de 3ème CYCLE
(Matières premières minérales et énergétiques)

par

Claude MARCHAL

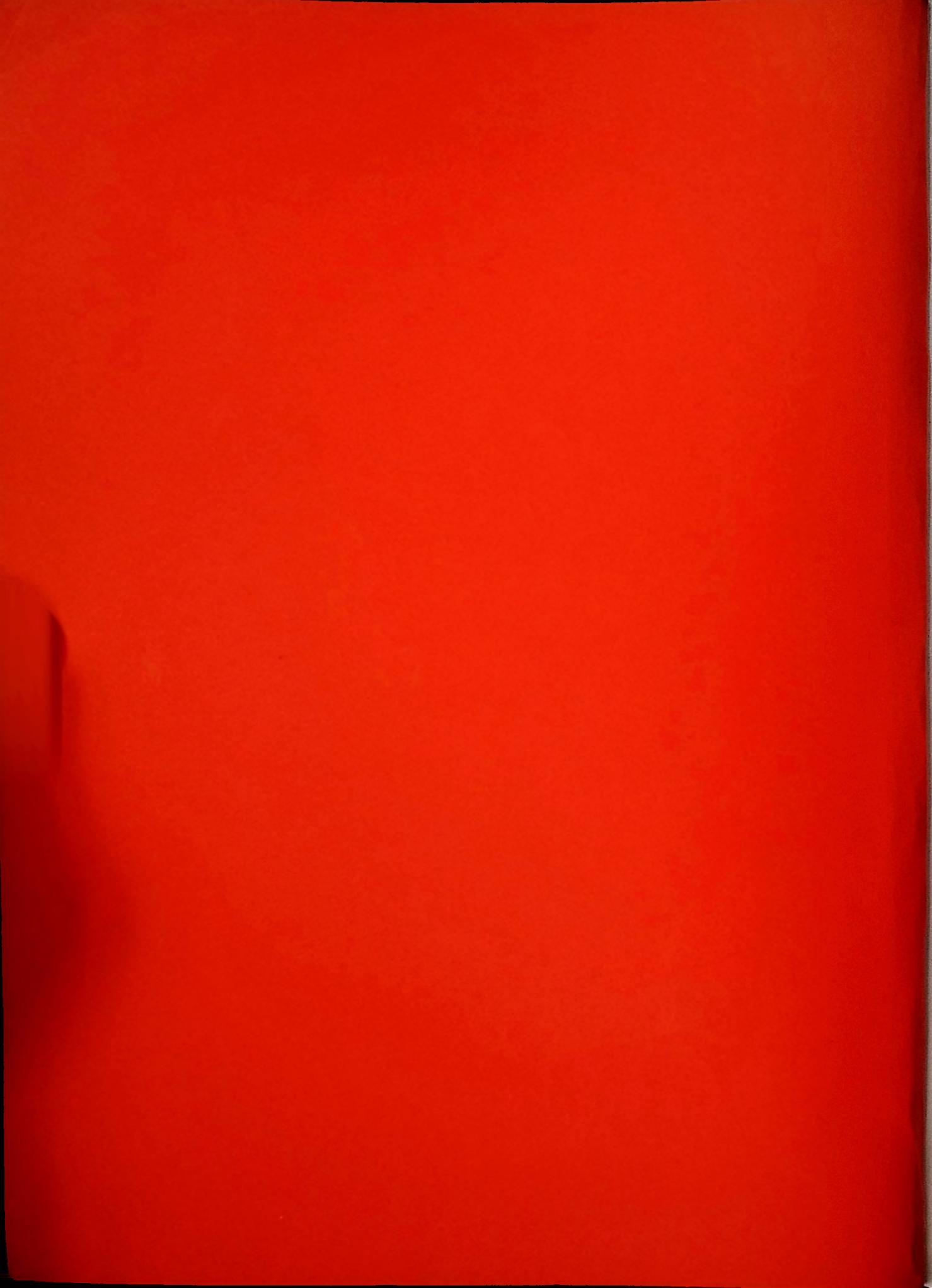
UNIVERSITÉ DE NANCY I
Faculté des Sciences
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE
BIBLIOTHEQUE 2^e Cycle
Case Officielle n° 239
54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY CEDEX

LE GÎTE SALIFÈRE KEUPERIEN
DE LORRAINE - CHAMPAGNE ET
LES FORMATIONS ASSOCIÉES
ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE - IMPLICATIONS GÉNÉTIQUES

soutenu publiquement le 30 juin 1982 devant la Commission d'Examen

JURY :

MM.	J. HILLY	Président
	A. BERNARD	
	G. BUSSON	Examineurs
	B. HAGUENAUER	
	A. BUFFET	
	P. BUROLLET	Invités



Sp 297.82

UNIVERSITÉ DE NANCY I

Faculté des Sciences - Mécanique - Classe Mixte
Laboratoire de Mécanologie

T A B L E

UNIVERSITÉ DE NANCY I

202506 de Mec. CYCL

(Méthodes numériques classiques et géométriques)

UNIVERSITÉ DE NANCY I
Faculté des Sciences
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE
BIBLIOTHEQUE 2° Cycle
Case Officielle n° 239
54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY CEDEX

LE SITE SCIENTIFIQUE EUROPÉEN -
DE L'ARLONNE - CHAMPAGNE ET
LES POPULATIONS ANCIENNES

UNIVERSITÉ DE NANCY I - MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE

UNIVERSITÉ DE NANCY I - MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE

1. INTRODUCTION	1
2. MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE	15
3. MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE	15
4. MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE	15
5. MÉCANIQUE GÉNÉRALISÉE	15

37-828 93

LABORATOIRE DE CHIMIE
MONTREAL
1000 AVENUE DE LA GARDIE
MONTREAL, QUEBEC H3T 1M6
TEL: 342-1000

Sp 297.82

UNIVERSITÉ DE NANCY I
U.E.R. Sciences de la Terre - Métallurgie - Chimie Minérale
Laboratoire de Sédimentologie

T H E S E

présentée devant
l'UNIVERSITÉ DE NANCY I
pour l'obtention du titre de
DOCTEUR de 3ème CYCLE
(Matières premières minérales et énergétiques)

par

Claude MARCHAL

UNIVERSITÉ DE NANCY I
Faculté des Sciences
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE
BIBLIOTHEQUE 2^e Cycle
Case Officielle n° 239
54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY CEDEX

LE GÎTE SALIFERE KEUPERIEN
DE LORRAINE - CHAMPAGNE ET
LES FORMATIONS ASSOCIÉES
ETUDE GÉOMÉTRIQUE - IMPLICATIONS GÉNÉTIQUES

soutenue publiquement le 30 juin 1982 devant la Commission d'Examen

JURY :

MM.	J. HILLY	Président
	A. BERNARD	
	G. BUSSON	Examineurs
	B. HAGUENAUER	
	A. BUFFET	
	P. BUROLLET	Invités

22. 09. 82

UNIVERSITÉ DE NANCY I

U.S.K. Service de la Tour - Messagerie - Centre de Recherche
Laboratoire de Mécanique

T H E S E

présentée devant
l'UNIVERSITÉ DE NANCY I
pour l'obtention du grade de
DOCTEUR en Sciences
(Matières premières synthétiques et dérivées)

UNIVERSITÉ DE NANCY I
FACULTÉ DES SCIENCES
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE
MÉTÉOROLOGIE ET CLIMAT
CITE SALLIERE 5, 53000
MIRIAMONT-VALENTIGNY

par
Cécile MARCHAL

LE CITE SALLIERE KEMPEN
DE LORRAINE - CHAMPAÏNE ET
LES FORMATIONS ASSOCIEES
ETUDE GEOMETRIQUE - DIFFERENTIATION GÉOLOGIQUE

présentée publiquement le 20 Juin 1982 devant la Commission d'Examen

JURY :	
Président	MM. J. BILLY
Examinateur	A. BERNARD C. BENOIST B. BACHMANN
Invité	A. KUPET E. BENOIST

RESUMES

Les données de sondages, et tout particulièrement les enregistrements géographiques, constituent l'unique support de cette étude des Marnes triées inférieures et moyennes (Keuper inférieur et moyen) de Lorraine et de Champagne dont le principal intérêt réside dans la présence d'un important gîte évaporitique (halite et sulfate de calcium pour une grande part).

*LE GITE SALIFERE KEUPERIEN
DE LORRAINE-CHAMPAGNE
ET LES FORMATIONS ASSOCIEES*

*ETUDE GEOMETRIQUE
IMPLICATIONS GENETIQUES*

La prise en compte des caractéristiques lithologiques et géométriques des différents ensembles sédimentaires conduit à considérer ce bassin évaporitique comme un domaine évaporitique original se correspondant à aucun des modèles classiques existants et pour lequel un modèle particulier reste à mettre au point.

*The major saltiferous deposit in the Lorraine - Champagne
region and associated formations
Geometrical approach, genetic implications*

Drilling data, especially logging techniques, make up the only foundations for this study of Lower and Middle Keuper in the Lorraine and Champagne regions whose main interest lies in the presence of an important evaporitic deposit, in particular halite and to a lesser extent calcium sulphate.

The systematic comparison of sub-surface data allowed us to integrate the lithological characteristics peculiar to each of these two regions into single lithostratigraphic reference log. A special study of these sedimentary bodies as defined basins,

LE GITE SALIFERE KEURERIEN
DE LORRAINE-CHAMPAGNE
ET LES FORMATIONS ASSOCIEES

ETUDE GEOMETRIQUE
IMPLICATIONS GENETIQUES

RÉSUMÉS

Les données de sondages, et tout particulièrement les enregistrements diagraphiques, constituent l'unique support de cette étude des Marnes irisées inférieures et moyennes (Keuper inférieur et moyen) de Lorraine et de Champagne dont le principal intérêt réside dans la présence d'un important gîte évaporitique (halite et sulfate de calcium pour une moindre part).

La confrontation systématique des données de sub-surface a permis d'intégrer dans une série lithostratigraphique de référence commune les particularités architecturales propres à chacun de ces deux domaines. L'étude spatiale des corps sédimentaires ainsi définis, halitiques essentiellement, a mis en évidence la continuité du Sel entre les domaines lorrain et champenois ainsi que son diachronisme au sein des Marnes irisées inférieures. Cette disposition reflète la transgression d'Est en Ouest des faciès évaporitiques dans un bassin peu profond et soumis à une subsidence différentielle. Stabilisée en Champagne à la fin de l'épisode halitique, cette dernière marque les premiers stades de l'individualisation du Bassin de Paris.

La prise en compte des caractéristiques lithologiques et géométriques des différents ensembles sédimentaires conduit à considérer ce bassin keupérien comme un domaine évaporitique original ne correspondant à aucun des modèles classiques existants et pour lequel un modèle particulier reste à mettre au point.

*The Keuper saliferous deposit in the Lorraine - Champagne
region and associated formations
Geometrical approach, genetic implications*

Drilling data, especially logging techniques, make up the only foundations for this study of Lower and Middle Keuper in the Lorraine and Champagne regions whose main interest lies in the presence of an important evaporitic deposit, in particular halite and to a lesser extent calcium sulphate.

The systematic comparison of sub-surface data allowed us to integrate the lithological characteristics peculiar to each of these two regions into single lithostratigraphic reference log. A spatial study of these sedimentary bodies as defined before,

especially halitic ones, brought out the continuity of the Salt between the Lorraine and Champagne districts as well as its diachrony inside the Lower Keuper marls. This disposition shows the East - West transgression of the evaporitic facies in a shallow basin submitted to a differential subsidence. Restricted to the Champagne area at the end of the halitic episode, this phenomenon represents the first stages of the individual growth of the Parisian basin.

Taking into account the lithological and geometrical characteristics of the different sedimentary units leads us to consider this Keuper basin as an original evaporitic area which does not correspond to any of the existing classical models and for which a special one must be built.

*Das Keupersalzlager in Lothringen und in der Champagne
und die damit verbundenen Formationen
Geometrische Forschung - genetische Zurfolgehaben*

Was die Bohrungsangaben und besonders die Diagraphischeprofile gegeben haben bilden die einzige Unterlage zu dieser Forschung der Unteren und Mittleren Gipskeuper in Lothringen und in der Champagne, dessen Hauptinteresse in dem Vorhandensein eines wichtigen Evaporitischelagers (Halit und Kalksulfat in einem mittleren Teil) liegt.

Die systematische Konfrontation der Tiefbohrungsergebnissen hat es erlaubt, die architekturellen Einzelheiten, die jedem dieser Gebiete angehörig sind, in eine lithostratigraphische Referenzserie zu integrieren. Die Raumergliederung dieser so bestimmten besonders halitischen Ablagerungen, hat die Kontinuität des Salzes in den Gebieten in Lothringen und in der Champagne so wie seine Diachronie in den Unteren Gipskeuper klargestellt. Dieser Zustand spiegelt die Überschreitung von Osten nach Westen den evaporitischen Faziesen in einem wenig tiefen Becken, der einer differentiellen Senkung unterworfen ist. Am Ende der salzhaltigen Episode in der Champagne stabilisiert zeigt diese letztere die ersten Stufen der Individualisierung des Pariser Beckens.

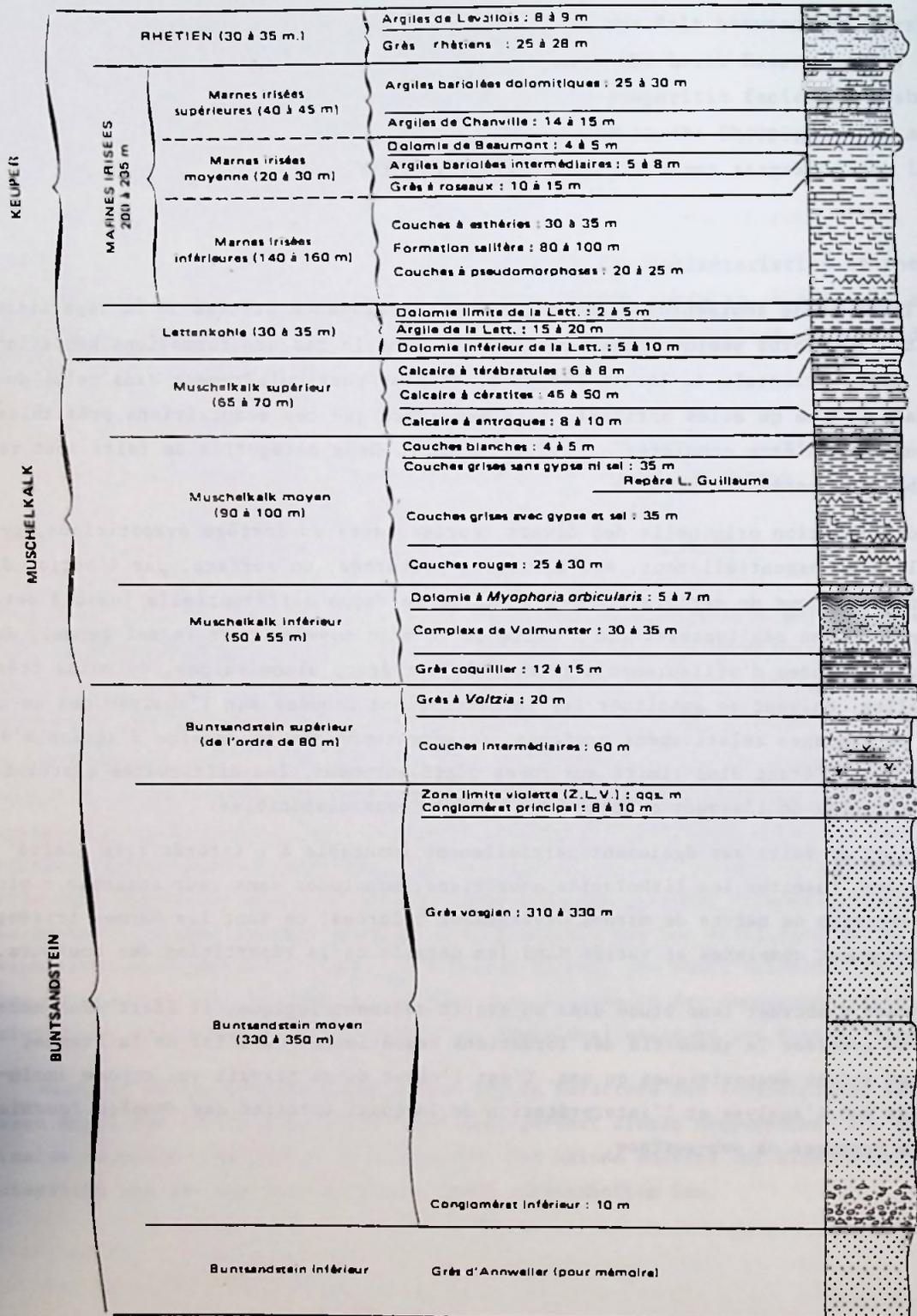
Wenn man die steinartigen und geometrischen Charaktere der verschiedenen sedimentären Komplexen in Erwägung zieht, wird dazu geführt diesen Keuperbecken als ein originales Evaporitischegebietes zu betrachten, das keinem anderen der klassischen Modelle entspricht und für das ein besonderes Model auszuarbeiten ist.

INTRODUCTION

Toute étude sédimentologique exige une connaissance précise de la répartition spatiale des corps sédimentaires considérés. Dans le cas des formations keupériennes de la marge orientale du Bassin Parisien, et plus particulièrement dans celui du gîte évaporitique qu'elles abritent, il s'est avéré que ces acquisitions préalables étaient loin d'être complètes et satisfaisantes. Deux catégories de faits sont responsables de cette situation :

- la distribution originelle des divers représentants du cortège évaporitique, gypse et sel gemme essentiellement, est largement perturbée, en surface, par l'action dissolvante des eaux de percolation qui s'exerce de façon différentielle jusqu'à des profondeurs non négligeables (de l'ordre de 70 m en moyenne pour le sel gemme). Aux classiques études d'affleurements rendues à leur égard sinon vaines, du moins très partielles, doivent se substituer les investigations fondées sur l'analyse des documents de sondages relativement profonds. En même temps que le domaine d'action s'élargit, car n'étant plus limité aux zones d'affleurement, les difficultés s'accroissent en raison de l'aspect ponctuel des informations disponibles.
- cet état de faits est également partiellement imputable à l'intérêt très limité que peuvent susciter les lithofaciès keupériens, monotones dans leur ensemble - plus d'une centaine de mètres de marnes diversement colorées, ce sont les Marnes irisées - et extrêmement complexes et variés dans les détails de la répartition des couleurs.

Avant d'aborder leur étude dans un esprit sédimentologique, il était donc nécessaire de préciser la géométrie des formations keupériennes de l'Est de la France, qu'elles soient évaporitiques ou non. C'est l'objet de ce travail qui repose exclusivement sur l'analyse et l'interprétation de la quasi totalité des données fournies par les ouvrages de sub-surface.



Première Partie

PRÉSENTATION ET TECHNIQUES D'ÉTUDE

I - DOMAINE D'ÉTUDE

Le vaste programme constitué par l'analyse des formations keupériennes de l'Est de la France a subi une double restriction :

- Cette étude est d'une part limitée à l'ensemble constitué par les Marnes irisées inférieures et les Marnes irisées moyennes (fig. 1), la partie terminale du Keuper (Marnes irisées supérieures + Rhétien) devant être envisagée ultérieurement. La justification de ce découpage, *a priori* arbitraire, réside dans la nécessité qu'il y a de pouvoir délimiter la tranche de terrains étudiés par des niveaux-repères aisément identifiables en sondage, la Dolomie limite de la Lettenkhole et la Dolomie moyenne (= Dolomie de Elie de Beaumont) étant à cet égard les seules formations valables. Sans pour autant négliger le gypse largement développé dans les Marnes irisées supérieures, c'est par ailleurs dans cet ensemble - dans les Marnes irisées inférieures plus précisément - que se trouve concentrée la grande majorité des dépôts évaporitiques keupériens, halitiques* essentiellement.

- D'un point de vue spatial d'autre part, cette étude ne déborde guère les territoires de Lorraine et de Champagne (Pl. I), les critères ayant servi à circonscrire ce champ d'action étant de nature diverse. Les limites nord et est, matérialisées approximativement par le parallèle de Luxembourg et le méridien de Saverne, correspondent respectivement aux limites d'extension et d'affleurement du Keuper. Afin d'exclure de ce travail le bassin de la Bresse et du Jura avec lequel les corrélations

* Dans le texte, *halite* sera utilisé comme synonyme de sel gemme et, pour dissiper l'équivoque, le terme "sel" sera employé avec une majuscule ou non selon qu'il s'adresse à une formation lithostratigraphique ou à un simple lithofaciès conformément aux conventions d'écriture traditionnellement adoptées pour les termes "marne", "dolomie" ou "grès".

← Fig. 1 (ci-contre) - Situation des formations keupériennes étudiées dans la série triasique à faciès germanique de Lorraine (d'après C. Maïaux, *in* Mégnien, 1980)

n'ont pas encore été tentées en raison du manque relatif d'informations dans la zone de transition, la limite sud a été placée à hauteur du parallèle Avallon - Montbéliard. Enfin, devant les difficultés rencontrées pour étendre à des régions plus centrales du Bassin de Paris les résultats obtenus dans le domaine de Lorraine - Champagne (disparition des niveaux repères pré-cités, homogénéisation des lithofaciès permo-triasiques...), la limite occidentale a été plus ou moins arbitrairement superposée au méridien passant par Soissons et Sens.

Ainsi défini, le domaine d'étude permet d'appréhender la totalité du gîte halitique keupérien de l'Est du Bassin de Paris, mais il convient de signaler que cette délimitation ne saurait être considérée comme définitive. C'est ainsi par exemple que l'étude du domaine alsacien actuellement en cours permettra peut-être, en dépit de l'interruption de la zone d'affleurement, de préciser l'extension orientale du domaine de Lorraine - Champagne et ses relations avec le domaine germanique franc.

II - ETAT DES CONNAISSANCES

Par référence au Sel présent dans les Marnes irisées inférieures, la série keupérienne considérée, telle qu'elle est présentée fig. 1, s'organise en trois grands ensembles d'inégale épaisseur : un ensemble inférieur représenté par les Couches à pseudomorphoses (25 à 30 m), un ensemble médian constitué par la Formation salifère (80 à 100 m), un ensemble supérieur enfin, totalisant entre 49 et 63 m, où se superposent les Couches à esthéries, le Grès à roseaux, les Argiles bariolées intermédiaires et la Dolomie de Elie de Beaumont au sommet.

Bien que plusieurs d'entre elles aient déjà fait l'objet d'études monographiques détaillées, mais essentiellement limitées au domaine lorrain, - c'est le cas de la Formation salifère, du Grès à roseaux et de la Dolomie de Elie de Beaumont par exemple - les connaissances actuelles relatives à ces différentes formations présentent un degré de précision très variable selon qu'elles intéressent la succession et le développement vertical des lithofaciès constitutifs ou qu'elles se rapportent à leur extension latérale.

L'essentiel en sera présenté dans le développement suivant qui n'a toutefois pas pour but d'être exhaustif. Seules seront rappelées les acquisitions fondamentales destinées à permettre la compréhension du texte et à mettre en évidence les imprécisions ou les lacunes qui demeurent.

A - LES COUCHES A PSEUDOMORPHOSES

Constituant la base de la série keupérienne et surmontant directement la Dolorie limite de la Lettenkhole prise comme niveau repère de base, cette formation est pratiquement dépourvue de sel mais riche en intercalations anhydritiques et dolomiques. Elle doit son nom à l'abondance des pseudomorphoses cubiques rapportées à la halite et visibles en relief à la face inférieure (?) de plaquettes silto-dolomiques qui soulignent la stratification.

Reconnues au mur de la Formation salifère en Lorraine où elles accusent une puissance de 20 à 25 mètres, les Couches à pseudomorphoses semblent sujettes à des variations latérales d'épaisseur non négligeables à l'échelle du domaine d'étude envisagé. Elles s'amenuisent ainsi considérablement vers le Sud-Ouest, en direction du Morvan alors que, dans la mesure où l'ensemble "sous le Sel" peut leur être assimilé, elles doublent sensiblement d'épaisseur vers l'Ouest, à l'aplomb de la Champagne (B.R.G.M., 1980, Pl. TR2).

B - LA FORMATION SALIFERE

Sous la dénomination globale de Formation salifère sont réunis les différents lithofaciès qui constituent le gisement salifère keupérien actuellement exploité en Lorraine.

Depuis 1819, date à laquelle il fut découvert en sondages dans la vallée de la Seille*, ce gisement a été largement exploré mais les publications relatives à sa constitution furent rares ou ne développèrent que des informations ponctuelles (Braconnier, 1872, 1883 ; Lebrun, 1899 ; Levallois, 1834, 1847 ; Nicklès, 1914 ; Van Wervecke, 1909 par exemple). Ce n'est que plus d'un siècle après sa reconnaissance dans la région comprise entre Lunéville et Nancy, où les principales exploitations devaient par la suite se concentrer - le premier sondage de Rosières-aux-Salines, 268-3-3, datant de 1822 - qu'une synthèse à l'échelle régionale fut publiée (Maubeuge, 1950). Nous lui devons l'essentiel des connaissances relatives au domaine

* Les premières recherches, tel le sondage de Vic-sur-Seille, 231-1-3, réalisé en 1818-1819, furent entreprises dans les secteurs de Maizières-les-Vic, Haboudange, Mulcey, Pettoncourt et Vic-sur-Seille à l'instigation de MM. de Gargan et Voltz, alors Ingénieurs du département de la Meurthe.

lorrain alors que la récente synthèse du Bassin de Paris (Mém. B.R.G.M., 1980) fait le point sur le développement latéral de la Formation salifère dans le cadre plus général de l'Est de la France.

En ce qui concerne l'agencement vertical des lithofaciès, les informations ne portent guère que sur la série lorraine et peuvent se résumer ainsi :

a - Au sein des Marnes irisées inférieures, le sel est présent sous forme de *couches* souvent qualifiées de *lenticulaires* ;

b - Ces couches de sel, alternant avec des marnes (ou argilites), sont groupées en *faisceaux* appelés "productifs" lorsque la halite y prédomine et "stériles" dans le cas contraire, la succession de ces deux types de faisceaux s'établissant ainsi, de haut en bas :

- un premier faisceau, productif, en tête du gisement,
- un second faisceau, stérile, parfois appelé 2ème faisceau, où marnes et sel alternent en proportions sensiblement équivalentes.
- un nouveau faisceau productif, siège des principales exploitations de sel en Lorraine (et homologue du 3ème faisceau ou "11ème couche"* ou encore "Grande couche" des exploitants),
- puis un faisceau stérile, dépourvu de sel (4ème faisceau),
- un dernier faisceau productif enfin, de qualité moindre d'ailleurs, parfois appelé 5ème faisceau (ou 3ème faisceau plus rarement, lorsque les ensembles stériles intermédiaires ne sont pas pris en compte).

Quant à l'extension latérale de la Formation salifère, les faits suivants doivent être retenus :

a - le Sel se développe largement en Lorraine et en Champagne en une vaste langue d'allongement sensiblement E-W (Dubois et Umbach, 1974, fig. 2) et s'inscrivant approximativement dans un triangle Sarreguemines - Sézanne - Vittel, (B.R.G.M., 1980, Pl. TR5).

b - les puissances cumulées maximales du sel s'observent dans la zone axiale de cette langue qui, elle-même, occupe une position centrale dans la vaste cuvette que

* Sur les coupes lithologiques d'ouvrages anciens, datant du début du siècle pour la plupart, ce corps halitique, considéré comme massif figurait toujours au 11ème rang dans la numérotation des couches de sel établie selon l'ordre de leur rencontre en sondage. Ce résultat était obtenu au prix de divers artifices tels que doublement ou regroupement de couches, prise en compte de veinules de sel ou de simples venues d'eau salée.

font apparaître les courbes isopaques du Keuper inférieur (Fourmentraux *et al.*, 1959).

c - la Dolomie moyenne étant prise comme formation repère, le complexe halitique pris dans son ensemble occupe en Champagne une position plus élevée dans la série qu'en Lorraine et sa continuité, au moins selon son grand axe E-W, semble localement interrompue à l'aplomb de certains "hauts fonds" du substratum (B.R.G.M., 1980, Pl. TR2).

d - c'est en Lorraine que l'architecture interne du complexe salifère est la mieux connue en raison de l'exploitation intense dont il est l'objet. Cependant :

- la continuité latérale des corps halitiques reste le problème majeur de ce gisement. Si elle est maintenant admise par tous les exploitants, au moins dans le champ restreint que constituent les concessions, il faut constater que la littérature classique demeure à cet égard peu explicite. En 1950, Maubeuge attribue aux couches de sel une allure lenticulaire et impute à cette particularité les difficultés, voire les impossibilités, rencontrées lors des tentatives de corrélations latérales entre sondages voisins. Cette idée a été rapidement nuancée (Maubeuge, 1953), les couches de sel n'étant plus alors considérées comme des lentilles que sur de longs profils. Mais, peut-être en raison d'une survivance de cette conception géométrique "lenticulaire" (Laugier, 1963, p. 57), aucun profil n'a jamais été publié pour établir de façon péremptoire la continuité latérale des bancs de sel au sein de ce gisement, sur quelque distance que ce soit.

- dans la zone d'affleurement du Keuper et particulièrement dans le secteur de Dombasle-sur-Meurthe (Sud-Est de Nancy), il a été constaté "...une disposition en biseau des tranches de sel qui sont en retrait les unes par rapport aux autres" et une extension des faisceaux salifères progressivement restreinte de la base vers le sommet de la série (Maubeuge, 1950). Cette particularité du gisement est interprétée comme résultant de la dissolution au voisinage de la surface par les eaux de percolation, dissolution attestée par l'existence de nombreuses émergences salées (vallée de la Seille essentiellement) et de nappes salées (région de Dombasle notamment). De la même façon (Maubeuge, 1953), l'existence de certains étangs que l'on peut observer dans la vallée du Sanon (Sommerviller) ainsi que dans le secteur Morhange - Sarralbe - Sarrebourg (= "région des étangs") serait liée à des affaissements ayant pour origine la dissolution naturelle du sel sous-jacent.

C - LES COUCHES A ESTHERIES

Définies par *Euestheria minuta* (Defretin-Lefranc, 1963), elles constituent une formation relativement moins bien connue en Lorraine qu'en Allemagne (= Estherien-schichten) en raison de l'absence d'affleurements naturels.

Individualisée de la Formation salifère sous-jacente par la disparition des teintes bariolées et l'apparition des carbonates, cette formation est constituée par des "... argiles dolomitiques gris verdâtre à noirâtre, souvent feuilletées, avec intercalations dolomitiques et gréseuses, et parfois des ovoïdes ferrugineux. A la base peuvent se rencontrer des cargneules, des nodules silicifiés et du gypse".

Ces lithofaciès semblent limités au domaine lorrain où ils se développent sur une épaisseur moyenne de 5 m, pouvant atteindre localement 20 m (Dieuze) ou au contraire s'annuler comme en Lorraine méridionale (Région de Vittel - Contrexéville).

Au delà des difficultés bien compréhensibles que pose leur détermination paléontologique en sondage, les Couches à esthéries soulèvent un problème majeur qui se trouve illustré par la contradiction manifeste existant entre leur puissance citée ci-dessus (0-5-20 m) et celle précisée sur la fig. 1 (30-35 m). Cette divergence tient aux différences de conception qui règnent au sujet de la définition de la Formation salifère et qui se répercutent directement sur celle des Couches à esthéries.

Il existe en effet, immédiatement au-dessus des derniers bancs de sel du premier faisceau, un ensemble marneux bariolé, dépourvu de sel mais riche en sulfates (gypse et/ou anhydrite). Selon qu'il est attribué à la Formation salifère ou non - cette seconde éventualité prévalant actuellement - les Couches à esthéries se présentent conformément à la définition qui vient d'en être donnée (puissance minimale), ou accusent au contraire un développement maximum par adjonction implicite de cet ensemble à leur base. Il y a là une certaine imprécision qu'il serait bon de lever.

Les informations concernant cette formation sont extraites du Lexique des noms de formations, *Mém. B.R.G.M.*, n° 103, 1980, article de M. DURAND.



D - LE GRES A ROSEAUX

En Lorraine, le Grès à roseaux constitue une unité lithostratigraphique d'une quinzaine de mètres d'épaisseur en moyenne où l'on distingue classiquement deux faciès majeurs (Palain, 1966) :

- l'un gréseux, c'est le Grès à roseaux *s. str.*, est constitué par un grès très fin, micacé, feldspathique (orthoclases), toujours plus ou moins argileux, riche en empreintes végétales (*Equisetum*) et à fréquentes microstratifications obliques. Il admet localement des lentilles de houille dont la puissance n'excède pas un mètre.
- l'autre, argileux ou argilo-dolomitique, constitue le "faciès latéral" qui peut, sur de courtes distances (moins de 2 km), envahir la totalité de la formation. Dans ce cas, et bien que toujours micacé (muscovite) et plus ou moins silteux, le Grès à roseaux est difficilement identifiable des formations encaissantes.

E - LES ARGILES BARIOLEES INTERMEDIARES

Cette formation est représentée par des marnes ou des argilites peu indurées, grises, vertes ou bariolées de vert ou de rouge-lie de vin. Elles forment une unité d'épaisseur variable mais toujours faible - quelques mètres - et difficile à établir avec précision, à l'affleurement comme en sondage, surtout lorsqu'elles surmontent le Grès à roseaux sous son faciès latéral.

F - LA DOLOMIE DE BEAUMONT

La Dolomie de Beaumont (= Dolomie de Elie de Beaumont plus exactement, = Dolomie moyenne) termine la série keupérienne prise en compte dans cette étude. Il s'agit d'une dolomicrite plus ou moins argileuse présentant toutes les caractéristiques d'une dolomie syngénétique (Baroz, 1967), dont la constance à travers toute la partie orientale du Bassin de Paris, reconnue dès 1828 par Elie de Beaumont, justifie son utilisation systématique comme niveau repère aussi bien en surface qu'en sondage.

Ainsi, et indépendamment des problèmes posés par la délimitation des unités stériles surmontant le Sel, cette rapide énumération des acquisitions essentielles met en évidence un certain nombre de lacunes relatives à la simple définition spa-

tiale du gisement salifère keupérien de l'Est de la France :

- Existe-t-il une réelle continuité latérale des corps halitiques ou doit-on continuer à les qualifier de lenticulaires ?

- Peut-on établir des corrélations fines et précises entre les domaines lorrain et champenois ?

- A quoi correspond l'apparent diachronisme manifesté par la série salifère au sein des formations keupériennes ?

Faute d'être comblées, elles interdisent toute compréhension de ce bassin sédimentaire, tant du point de vue géométrique que du point de vue dynamique.

Se surimposant à ces questions, cet aspect du problème étant d'ailleurs plus formel que fondamental, reste également la nécessité de mettre au point un nouveau découpage de la série salifère keupérienne en remplacement de l'actuelle nomenclature (faisceaux) qui, par son manque de logique - mais elle est directement héritée de la façon de faire des sondeurs - et surtout par son manque d'évolutivité, est en grande partie responsable de la méconnaissance relative de ce complexe évaporitique.

III - LES DOCUMENTS UTILISES, LEURS QUALITES, LEURS LIMITES

Comme il l'a déjà été signalé, ce travail a nécessité la prise en compte de la quasi totalité des sondages réalisés dans l'Est du Bassin de Paris. Ils l'ont été à des fins diverses, ce qui n'a pas manqué de poser des problèmes dans la collecte et l'interprétation des données : recherche ou exploitation d'hydrocarbures, reconnaissance stratigraphique ou structurale, recherche du prolongement du bassin houiller lorrain, exploitation de la nappe aquifère du Grès vosgien ainsi que, bien évidemment, exploitation du gisement salifère lorrain.

Parmi ces ouvrages, nombreux sont ceux qui, pour des raisons diverses, durent d'emblée être éliminés : coupes introuvables, données trop sommaires, coupes purement interprétatives (c'est-à-dire stratigraphiques) et non descriptives (c'est-à-dire lithologiques) par exemple. Et les documents utilisables, parfois fort anciens, - beaucoup datant du siècle dernier - se sont de surcroît révélés de qualité très inégale et loin de présenter tous le même degré de fiabilité. Cette inégalité relève de deux facteurs indépendants qui peuvent aussi parfois conjuguer leurs effets :

l'objectif du sondage et la technique mise en oeuvre pour sa réalisation.

Il est logique en effet que si le sel ne constitue pas l'objectif propre de la recherche, la description de la formation salifère traversée pour atteindre un niveau sous-jacent ne soit pas toujours très fine. Si les coupes géologiques qui en résultent mentionnent les grandes coupures, il est rare qu'elles fournissent une description précise des Marnes irisées. Même lorsque l'exécution du forage est motivée par la recherche du sel gemme, il arrive que les informations fournies soient sommaires. Bon nombre de sondages ont en effet été arrêtés au toit du Sel ou après n'avoir traversé le sel de tête que sur quelques mètres - il est dans ce cas très difficile de préciser quel faisceau a été atteint - et rares sont ceux qui ont traversé le gîte salifère dans sa totalité.

La technique de forage mise en oeuvre (forages destructifs ou carottés, suivis ou non d'enregistrements diagraphiques) est aussi source de disparité dans la qualité des informations fournies.

A - SONDAGES DESTRUCTIFS

Parmi les ouvrages dits conventionnels, ceux réalisés sur le mode destructif, que ce soit par battage ou par rotation, sont les plus nombreux. En raison même de la fréquence de prélèvements des déblais, métrique le plus souvent, des pollutions que peuvent occasionner les retombées en provenance de formations déjà traversées, du décalage dû au temps de remontée des débris et de l'incorporation à la boue de forage des formations les plus facilement délitables, la coupe lithologique qui en résulte ne peut prétendre à une grande finesse. Abstraction faite des erreurs dues à la disparition des formations totalement lavées - fins intercalaires argileux par exemple - le handicap majeur propre à ce type de forage réside dans l'impossibilité de placer les épontes des formations traversées avec une grande rigueur.

A ces imperfections inévitables, car inhérentes à la technique de forage, s'ajoutent les risques d'erreurs directement liés aux particularités de la série sédimentaire étudiée, riche en sel gemme et en sulfates. L'expérience a en effet montré que les déblais exagèrent ou minimisent l'importance du sel traversé selon que le forage est réalisé à la boue saturée ou non tandis qu'ils diminuent toujours l'importance de l'anhydrite.

L'explication de ces phénomènes est simple. Si la boue n'est pas saturée, le sel est dissous et peut, dans le cas de bancs minces, totalement disparaître des déblais. Lorsque la boue est saturée au départ, c'est-à-dire en surface, elle ne l'est

plus en profondeur en raison de l'augmentation de la pression et de la température. Elle peut alors exercer son action dissolvante en provoquant des élargissements du trou (= caves) au droit des bancs de sel. La cristallisation de cette charge dissoute supplémentaire au cours de la remontée, associée éventuellement à l'incorporation à la boue de la phase argileuse généralement liée à la halite, se traduit par un enrichissement relatif en sel des déblais. Quant à l'anhydrite, son comportement mécanique particulier lui vaut d'être partiellement éliminée à l'état pulvérulent avec la boue de forage.

Les causes d'erreurs ou d'incertitudes sont donc multiples mais les coupes établies d'après la seule analyse des déblais (= coupes cuttings) ne doivent pas être négligées pour autant. Bien souvent elles constituent les seules informations disponibles et, comme nous le verrons ultérieurement, les renseignements lithologiques qu'elles apportent sont toujours d'un grand secours dans l'interprétation des diagraphies.

B - SONDAGES CAROTTES

La technique idéale semble à première vue représentée par le carottage continu. Pour des raisons techniques et surtout financières, les ouvrages de ce type sont rares. De plus, les coupes lithologiques qui en résultent et qui constituent les seuls documents accessibles après destruction des échantillons ne sont pas, elles non plus, exemptes d'imperfections.

Dans le cas précis de cette étude, ces dernières se situent au niveau du dépouillement des sondages et sont partiellement imputables à l'apparente monotonie des formations keupériennes qui incite à procéder à des regroupements de faciès difficilement exploitables par la suite : "marnes versicolores" sans précision de couleur, ou "marnes salifères" sans indication de la nature ni de l'état de dispersion du sel par exemple. Elles relèvent également d'une certaine subjectivité dans la transcription des données d'observation. Ainsi, tel observateur décrira comme "sel argileux" ce qu'un autre pourra qualifier "d'argilite salifère". Cet état de fait matérialise la difficulté, voire l'impossibilité, qu'il y a à réaliser l'harmonie parfaite entre la finalité des sondages qui conditionne la "qualité" des coupes lithologiques et les exigences dues à la spécificité des études qu'elles sont susceptibles d'argumenter ultérieurement.

D'une façon générale enfin, la récupération n'étant que rarement totale, la coupe lithologique qui en résultera sera toujours entachée d'une certaine imprécision. Même en sachant que les formations peu indurées et/ou facilement délitables sont les plus affectées - passées argileuses au sein d'un ensemble consolidé par exemple -, la

localisation des "pertes" dans la série traversée sera en effet toujours plus ou moins aléatoire.

Les imperfections du sondage carotté, inévitables car dépendantes des particularités lithologiques du matériel soumis à l'investigation, des qualités d'appréciation de l'utilisateur et/ou de sa motivation, sont toutefois largement compensées par les possibilités d'observation directe et de prise d'échantillons qu'il offre et qui sont indispensables au sédimentologue par exemple. N'ayant pas été mis en pratique dans le cadre de ce travail, cet aspect de l'utilisation des sondages carottés ne sera pas développé davantage.

C - DIAGRAPHIES

Depuis plusieurs dizaines d'années, pour les ouvrages importants et destructifs dans la majorité des cas, les opérations traditionnelles de forage sont complétées par des mesures électriques, acoustiques et/ou nucléaires qui enregistrent les divers paramètres caractéristiques des formations traversées (polarisation spontanée, résistivité, vitesse de propagation du son, radioactivité naturelle ou provoquée, etc...). En raison de leur parfaite objectivité, de la possibilité qu'elles offrent de déterminer les lithofaciès traversés et surtout de placer leurs épontes avec précision, ces diagraphies différées ont été utilisées dans toute la mesure du possible (Serra, 1979, 1980).

Compte tenu de l'apport irremplaçable que ces documents ont constitué dans la conduite de ce travail, et en dépit d'un allongement du texte de ce mémoire dont l'objectif n'est pas une étude exhaustive des diagraphies, il est apparu nécessaire d'accorder un développement privilégié à la question de l'utilisation des diagraphies différées dans les études lithostratigraphiques. A travers l'analyse détaillée de quelques enregistrements effectués dans un sondage, les aspects qualitatif et quantitatif de leur interprétation seront abordés successivement afin de montrer tout le parti qu'il est possible de tirer de l'outil diagraphique, en particulier dans le cadre de l'étude d'une série évaporitique.

1 - ETUDE D'UN CAS CONCRET : LE SONDAGE DE VAUDEVILLE (fig. 2)

Le sondage de Vaudeville (Meurthe et Moselle) a été choisi pour deux raisons. C'est d'une part un ouvrage récent - il date de mars 1981 - qui a fait l'objet de nombreux enregistrements diagraphiques intéressant toute la série keupérienne étudiée. C'est d'autre part un ouvrage dont le "log habillé", document qui intègre, outre les

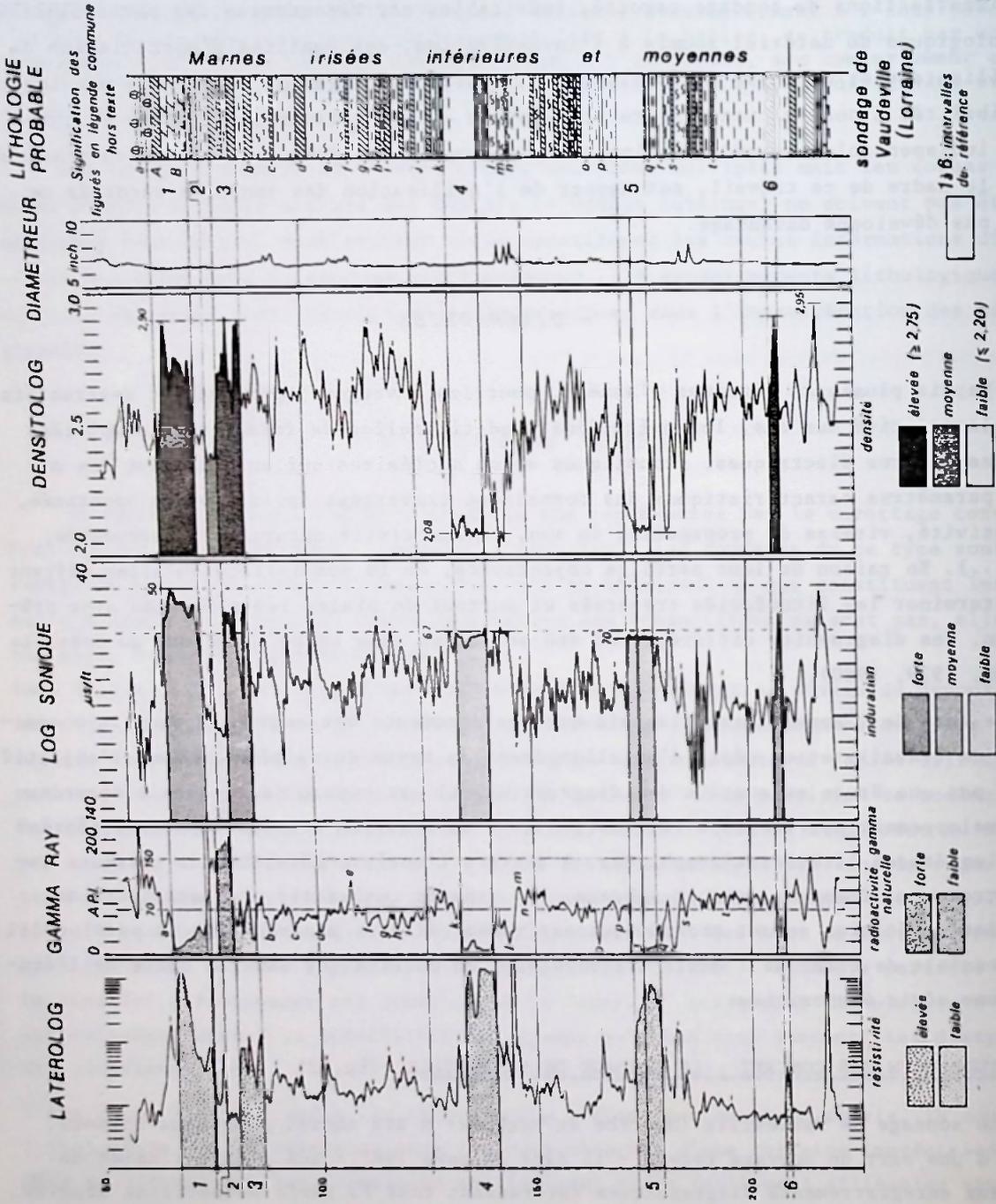


Fig. 2 - Sondage de Vaudeville. Exemple d'interprétation des principaux logs diagrammiques.

résultats des diagraphies différées, toutes les données fournies par les diagraphies instantanées (pression sur l'outil, vitesse d'avancement, etc...) et par l'examen des cuttings, n'était pas encore disponible au moment de la rédaction de ce texte. Dans ces conditions, l'analyse des enregistrements les plus couramment effectués, à savoir Latérolog, Gamma ray, Log sonique, Densitolog et diamètreur, a permis la restitution des formations traversées matérialisée par une coupe lithologique continue.

Le commentaire relatif à l'analyse des enregistrements, tant qualitative que quantitative, fera référence à six intervalles numérotés de 1 à 6, et individualisés sur les logs de la figure 2 par une surcharge tramée. Ils ont été choisis pour l'aspect démonstratif des figures diagraphiques enregistrées par les différents outils à leur niveau : ample déflexion associée à une épaisseur importante des formations correspondantes (de 2 à 9 mètres environ). Vingt pics d'amplitude moindre ont en outre été repérés sur les logs et désignés par les lettres *a* à *t*.

a - Interprétation qualitative

Pour ce travail qui porte sur une série argilo-évaporitique où il convenait d'individualiser en particulier sel gemme, anhydrite (ou gypse), dolomie, grès (plus ou moins argileux) et argilites, les mesures de résistivité (Latérolog) et de radioactivité γ naturelle (Gamma ray) se sont révélées très efficaces. Toutes deux renseignent en effet sur l'argilosité des formations traversées.

Les premières permettent d'individualiser les formations conductrices (intervalle 2), et les argilites le sont en raison de leur teneur en eau, des formations à forte résistivité car massives et anhydres, dolomie, sulfates et halite (intervalles 1, 3, 4, 5 et 6).

Les secondes rendent compte de la teneur en éléments radioactifs (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U ou leurs descendants) et font apparaître par de fortes déflexions vers la droite (intervalle 2) les lithofaciès les plus fortement radioactifs tels que :

- les argilites, en raison de la richesse en Th et K des minéraux argileux ;
- les niveaux riches en matière organique par leur teneur en U ;
- les grès dans la mesure où ils sont argileux, riches en micas, en feldspaths alcalins et/ou en matière organique ;
- les sels de potasse, absents de la série étudiée, sont cités ici pour mémoire.

Inversement, les sulfates (gypse et anhydrite), le sel gemme et la dolomie, dépourvus ou très pauvres en éléments radioactifs, n'occasionnent que de très faibles déflexions (intervalles 1, 3, 4, 5 et 6). Si ces lithofaciès se distinguent ainsi nettement des précédents, ils présentent entre eux des figures diagraphiques très semblables et s'individualisent de ce fait difficilement les uns des autres. Leur discrimination peut néanmoins se faire par la prise en compte de diagraphies complémentaires.

res. Ainsi, le log sonique - *borehole compensated sonic log* - individualise nettement, et cela par une plus grande déflexion, les formations indurées (intervalles 1, 3 et 6), telles la dolomie, l'anhydrite et d'une façon moins franche le sel gemme (intervalles 4 et 5), des formations à dominante argileuse, peu indurées ou plastiques (intervalles 2). Le densitolog - *compensated formation density log* - sépare de façon irréfutable la halite (intervalle 4 et 5) de l'anhydrite (intervalle 1 *pro parte* - 1A -, 3 et 6) par la différence de densité notable qui existe entre ces deux sels de façon moins nette, quoique perceptible, l'anhydrite de la dolomie (intervalle 2). Le diamètreur enfin apporte des informations non négligeables. Les élargissements du trou (= caves) peuvent en effet correspondre à des formations facilement délitables ou solubles (sel gemme), même si le forage a été réalisé à la boue saturée en sel. Inversement, les rétrécissements dus à la présence d'un mud-cake attestent un matériel poreux facilement envahi par la boue et l'absence de défaut de calibrage du trou indique un matériel induré non poreux (bancs d'anhydrite par exemple). Dans le cas présent, les seules variations du diamètre du trou consistent en des élargissements de faible développement vertical (un mètre environ) et indépendants des bancs de sel. Ils ont été interprétés comme correspondant à des argilites rouges.

L'absence de caves au droit du sel peut s'expliquer par le fait que le forage a été réalisé à la boue saturée en sel et que ce dernier a été atteint à une profondeur trop faible (132 m) pour que les conditions de saturation de la boue soient modifiées de façon sensible.

Si la reconnaissance des intervalles épais ne pose guère de problèmes, celle des bancs minces est plus délicate en raison de l'atténuation des déflexions enregistrées à leur niveau.

En ce qui concerne le Gamma ray, seuls les pics *e*, *j* et *m* peuvent être attribués avec certitude à des passées argileuses minces (1 m environ), attribution d'ailleurs confirmée et précisée par les caves enregistrées par le diamètreur (argilites rouges). Compte tenu de leur similitude de forme, les autres déflexions qui correspondent à des couches peu émissives peuvent être attribuées, en première analyse, à la dolomie, aux sulfates ou à la halite indifféremment.

Parallèlement, le log sonique fait apparaître de multiples pics vers la gauche, c'est-à-dire dans le sens d'une faible vitesse de propagation du son - ou d'une faible induration - qui doivent être interprétés comme autant d'intercalaires argileux dont la puissance n'excède guère le mètre. Les autres déflexions, vers la droite, et qui correspondent aux pics de faible radioactivité du gamma ray, sont elles aussi peu différenciées et peuvent également être interprétées comme dolomie, anhydrite ou

sel gemme. Ce n'est que par le densitolog que certains de ces pics (*k*, *o*, *p*, *q* et *r*) pourront être attribués à des bancs de sel gemme minces (0,5 m pour *p* et *q* par exemple), les autres correspondant soit à de l'anhydrite soit de la dolomie. Ils ont toutefois été considérés comme anhydritiques en raison de l'importance de leur amplitude égale ou supérieure pour la plupart à celle enregistrée au droit de l'intervalle 1B beaucoup plus épais (6 m) mais également par analogie à ce qui a pu être constaté dans d'autres ouvrages de la même région dont la lithologie était mieux connue au départ.

En tête de cet ensemble, le banc *a* constitue un cas particulier. Par sa faible radioactivité γ naturelle, sa bonne induration et aussi par l'allure générale du pic correspondant sur ces enregistrements, tout à fait comparable à celle des bancs *b*, *c* et *d*, il pourrait, comme ces derniers, être interprétés comme anhydritique. Toutefois, l'ampleur de son pic sur le densitolog, intermédiaire entre celle constatée pour les bancs de halite et d'anhydrite, oblige à le considérer comme formé de gypse. Par analogie, cette détermination a été également appliquée à la partie sommitale de l'ensemble anhydritique 1A immédiatement sous-jacent.

Indépendamment de son intérêt purement lithologique, la reconnaissance de gypse en continuité directe avec une couche d'anhydrite est primordiale car elle permet de placer, au moins localement, le "front d'hydratation" de l'anhydrite par les eaux de surface (= *profondeur - limite*, Bonte, 1963) à une profondeur de l'ordre de 68 mètres.

L'analyse qualitative des principales diagraphies différées permet ainsi de préciser bon nombre des caractéristiques de la série keupérienne étudiée. Formée par l'alternance finement répétée de passées argileuses et de couches indurées - anhydritiques et/ou dolomitiques -, elle abrite quelques formations halitiques relativement réduites dans le cas présent puisque les plus développées n'excèdent pas 7 mètres d'épaisseur. Cette approche met également en évidence les difficultés rencontrées lors de l'interprétation des déflexions atténuées qui peuvent être attribuées à des bancs soit minces - dolomie ou anhydrite essentiellement - soit de composition hétérogène - dolomie argileuse par exemple -. En l'absence des informations fournies par les diagraphies instantanées et surtout par l'examen des cuttings, ces ambiguïtés ne peuvent être immédiatement levées. Toutefois, elles ont pu être sensiblement atténuées par la prise en compte des mêmes enregistrements d'un point de vue quantitatif.

b - Interprétation quantitative

Le tableau 1 rassemble les valeurs des paramètres $GR_{a.p.i.}$, t et ρ mesurés sur les logs reproduits figure 2 au droit des repères choisis (intervalles 1 à 6, couches *a* à *t*).

La comparaison de ces résultats avec les valeurs diagraphiques caractéristiques des constituants du cortège évaporitique classique (tableau 2, Serra, 1980) permet d'emblée de grouper ces formations en deux catégories :

Repères	GR a.p.i.	us/ft <i>t</i>	g/cm^3 ρ	Epaisseur (en m)	Lithologie correspondante
1A	8 - 10	51	2,89	3,5	Anhydrite
1B	20 - 30	53 - 55	2,75	5,5	Dolomie
2	160 - 180	105 - 108	2,35 - 2,37	2,5	Arg. silteuse
3	23 - 35	56 - 59	2,78 - 2,91	6	Anhydrite
4	8 - 10	67 - 70	2,08	7	Halite
5	5 - 12	69 - 71	2,08 - 2,10	6	Halite
6	20	60	2,90	2,5	Anhydrite
a	40	68	2,38	1	Gypse
b	38	69	2,74	1,5	Anhydrite
c	36	67	2,81	0,5	Anhydrite
d	34	62	2,83	2	Anhydrite
e	120	100	2,43	1	Argilite
f	42	85	2,65	0,5	Anhydrite
g	40	64	2,87	2	Anhydrite
h	40	67	2,85	1	Anhydrite
i	40	73	2,78	1,5	Anhydrite
j	95	96	2,49	1	Argilite
k	54	67	2,33	0,5	Halite
l	16	67	2,03	2	Halite
m	103	108	2,40	1	Argilite
n	77	80	2,52	0,5	Anhydrite
o	15	71	2,13	1,5	Halite
p	51	83	2,26	0,5	Halite
q	20	73	2,16	0,5	Halite
r	10	69	2,08	1,5	Halite
s	58	83	2,66	0,5	Anhydrite
t	69	86	2,65	0,5	Anhydrite

Tableau 1 - Valeurs diagraphiques (radioactivité γ naturelle, temps de parcours et densité) repérées sur les enregistrements de la figure 2. Interprétation lithologique correspondante.

- les unes sont caractérisées par des valeurs qui approchent de très près, et par défaut, les valeurs théoriques pour les trois paramètres pris en compte, 8 à 10 a.p.i., 51 us/ft, 2,89 g/cm³ pour 1A, ou 8 à 10 a.p.i., 67 à 70 us/ft et 2,08 g/cm³ pour 4 par exemple. Leur détermination est de ce fait immédiate : 1A, 3 et 6 sont anhydritiques, 4 et 5 halitiques. Par ailleurs, ce sont les plus épaisses, 2,5 m pour 6 à 7 m pour 4. Ce fait autorise à conclure que les déflexions enregistrées à leur niveau sont représentatives de la lithologie et que le minéral constitutif correspondant y est présent, sinon à l'état pur, du moins d'une façon très largement majoritaire.

- les autres accusent, généralement pour les trois paramètres considérés, des valeurs qui s'éloignent plus ou moins des valeurs caractéristiques et qui deviennent

NOM	FORMULE	Masse Molec.	Masse Volum. g/cm ³	P FDC [*] g/cm ³	P _e (LDT) ^{**}	Z	GR _X API ^{**}	Σ TDT ^{**} c.u.	δ SNP [†] p.u.	δ CNL [†] p.u.	z us/ft	R m ² /m
Halite	NaCl	58.44	2.17	2.04	4.65	15.33	-	754.2	-2.	-3.	67	10 ⁴ -10 ¹⁴
Anhydrite	CaSO ₄	136.14	2.96	2.98	5.05	15.68	-	12.45	-1.	-2.	50	10 ⁴ -10 ¹⁰
Gypse	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂	172.17	2.32	2.35	3.99	14.68	-	18.5	50 ⁺	60 ⁺	52	10 ³
Trona	Na ₂ CO ₃ NaHCO ₃ H ₂ O	208.02	2.12	2.08	0.71	9.08	-	15.92	24.	35.	65	
Tachydrite	CaCl ₂ (MgCl ₂) ₂ (H ₂ O) ₁₂	517.60	1.68	1.66	3.84	14.53	-	406.02	50 ⁺	60 ⁺	94	
Kieserite	MgSO ₄ H ₂ O	138.38	2.57	2.59	1.83	11.82	-	13.96	38.	43.		
Epsomite	MgSO ₄ (H ₂ O) ₇	246.48	1.68	1.71	1.15	10.39	-	21.48	50 ⁺	60 ⁺		
Bischofite	MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	203.31	1.55	1.54	2.59	13.02	-	323.44	50 ⁺	60 ⁺	100	
Sylvite	KCl	74.55	1.98	1.86	8.51	18.13	500	564.57	-2.	-3.	74	10 ¹⁴ -10 ¹⁵
Carnallite	KClMgCl ₂ (H ₂ O) ₆	277.86	1.61	1.57	4.09	14.79	200	368.99	41.	60 ⁺	78	
Langbeinite	K ₂ SO ₄ (MgSO ₄) ₂	414.99	2.83	2.82	3.56	14.23	270	24.19	-1.	-2.	52	
Polyhalite	K ₂ SO ₄ MgSO ₄ (CaSO ₄) ₂ (H ₂ O) ₂	602.94	2.78	2.79	4.32	15.01	190	23.70	14.	25.	57.5	
Kainite	MgSO ₄ KCl(H ₂ O) ₃	248.97	2.13	2.12	3.50	14.17	230	195.14	40.	60 ⁺		
Calcite	CaCO ₃	100.09	2.71	2.71	5.08	15.71		7.08	0	-1.	48 ^{**}	
Dolomite	CaCO ₃ MgCO ₃	184.41	2.87	2.88	3.14	13.74		4.70	2.	1.	44 ^{**}	
Globérite	MgCO ₃	84.32	3	3.01	0.83	9.49		1.44				
Ankerite	Ca(Mg,Fe)(CO ₃) ₂	240.25	2.9	2.86	9.32	18.59		22.18	0.	1.		
Siderite	FeCO ₃	115.86	3.94	3.89	14.69	21.09		52.31	5.	12.		
Quartz	SiO ₂	60.09	2.65	2.64	1.81	11.78		4.26	-1.	-2.	52 ^{**}	
Argilla		-	-	2 à 2.75	-	-	80 à 140	11 à 25	10 à 40	15 à 52	70 à 150	-

* moyenne

* Marque Schlumberger

Tableau 2 - Caractéristiques diagraphiques des principaux sels constituant les évaporites.

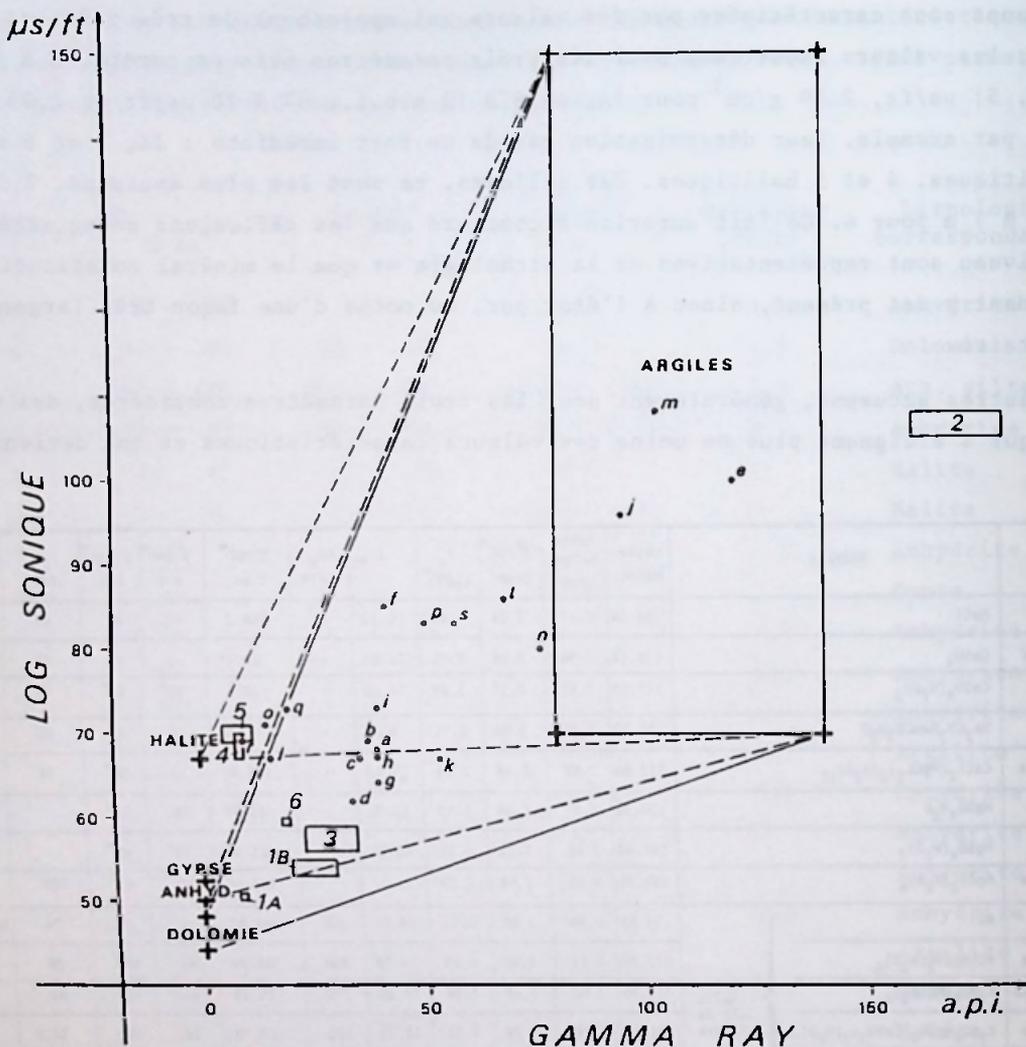


Fig. 3 - Report graphique Gamma ray - Log sonique.

Le faible étalement des valeurs du temps de parcours du son ne permet pas une individualisation franche des divers lithofaciès évaporitiques. Seuls les intervalles 4 et 5 et les bancs *l*, *o*, *q* et *r*, dont les représentations sont très proches du pôle "halite", peuvent, sans ambiguïté, être rapportés à ce minéral.

moins significatives d'une composition minéralogique précise. Ce sont les intervalles épais 1B (5,5 m), 2 (2,5 m) et les couches minces *a* à *t* pour lesquelles l'épaisseur oscille entre 0,5 et 2 mètres environ (ces valeurs étant estimées à partir des déflexions du gamma ray). Quoique plus délicate, leur reconnaissance a néanmoins été possible avec un degré de confiance satisfaisant.

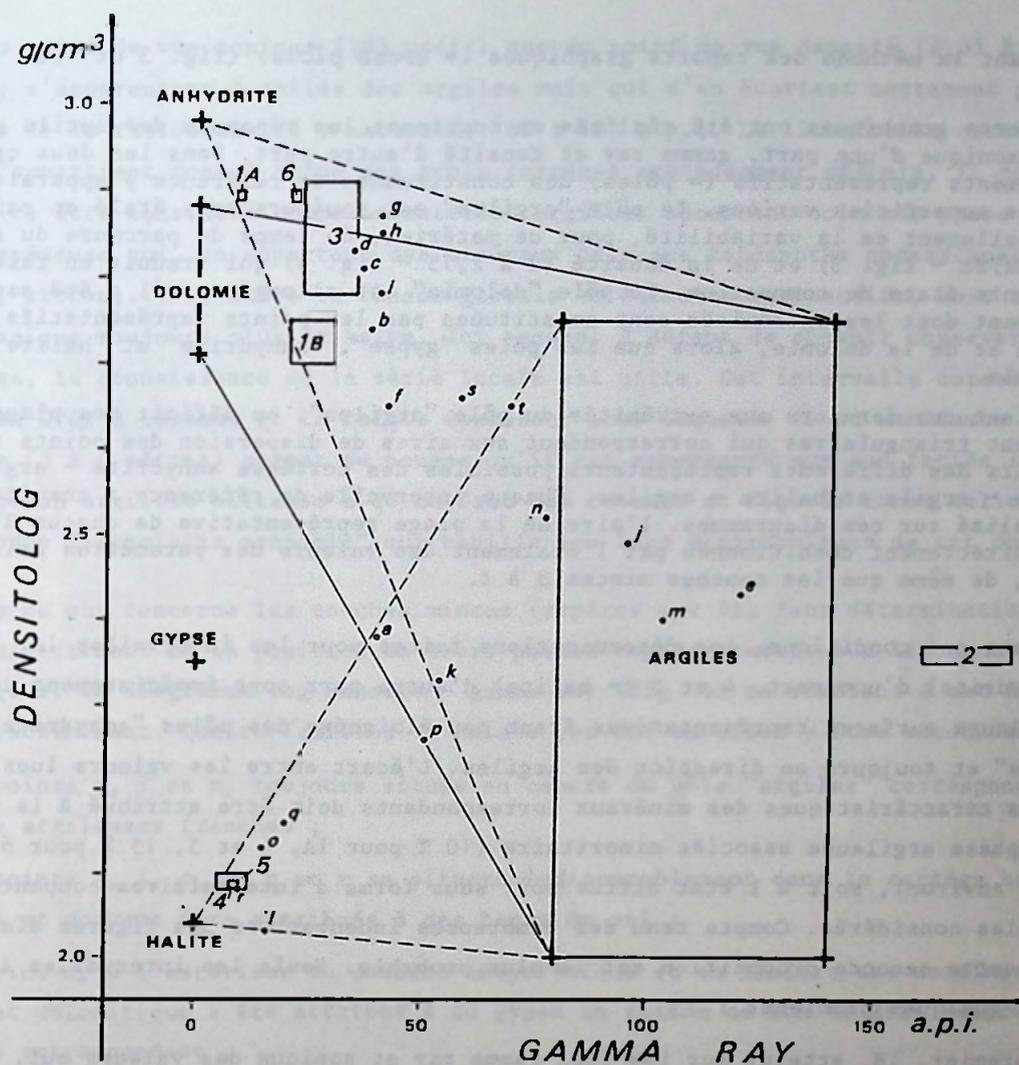


Fig. 4 - Report graphique Gamma ray - Densitolog

A l'exception de *a*, les points représentatifs des repères choisis (*b* à *t*) se localisent dans les zones halite - argiles d'une part, anhydrite - argiles d'autre part. L'allongement des enveloppes de ces deux nuages de points en direction du pôle "argiles", qui traduit une atténuation des déflexions diagraphiques, peut-être attribué à un enrichissement du matériel évaporitique en minéraux argileux et/ou à la faible épaisseur des bancs correspondants. La position de l'intervalle 1B, en dehors du nuage anhydritique, autorise son attribution à la dolomie.

Dans tous les cas, la confrontation des résultats obtenus avec les valeurs caractéristiques des principaux composants de cet ensemble détritique-chimique, à savoir argiles, dolomie, anhydrite, gypse et halite, a été conduite de façon systématique en

appliquant la méthode des reports graphiques (= *cross plots*) (fig. 3 et 4).

Les reports graphiques ont été réalisés en combinant les réponses des outils gamma ray et sonique d'une part, gamma ray et densité d'autre part. Dans les deux cas, les emplacements représentatifs (= pôles) des constituants de référence y apparaissent avec des superficies variées. Le pôle "argiles" est toujours très étalé en raison essentiellement de la variabilité, pour ce matériel, du temps de parcours du son (70 à 150 $\mu\text{s}/\text{ft}$ - fig. 3) et de la densité (2 à 2,75 - fig. 4) qui traduit en fait ses différents états de compaction. Le pôle "dolomie" est allongé car il a été assimilé au segment dont les extrémités sont constituées par les points représentatifs de la calcite et de la dolomie, alors que les pôles "gypse", "anhydrite" et "halite" sont ponctuels.

En reliant ces derniers aux extrémités du pôle "argiles", on définit des plages sensiblement triangulaires qui correspondent aux aires de dispersion des points représentatifs des différents représentants possibles des cortèges anhydrite - argiles, dolomie - argile et halite - argiles. Chaque intervalle de référence a ensuite été matérialisé sur ces diagrammes, l'aire de la plage représentative de chacun d'eux étant directement conditionnée par l'étalement des valeurs des paramètres pris en compte, de même que les couches minces a à t .

Dans ces conditions, les déterminations faites pour les intervalles 1A, 3 et 6 (= anhydrite) d'une part, 4 et 5 (= halite) d'autre part sont immédiatement confirmées, leurs surfaces représentatives étant peu éloignées des pôles "anhydrite" et "halite" et toujours en direction des argiles. L'écart entre les valeurs lues et les valeurs caractéristiques des minéraux correspondants doit être attribué à la présence d'une phase argileuse associée minoritaire (10 % pour 1A, 4 et 5, 15 % pour 6 et 25 % pour 3 environ), soit à l'état diffus soit sous forme d'intercalaires coupant les ensembles considérés. Compte tenu des nombreuses indentations des figures diagraphiques, cette seconde proposition est la plus probable. Seuls les intervalles 1B et 2 posent quelques problèmes :

- le premier, 1B, atteint sur les logs gamma ray et sonique des valeurs qui, tout en permettant d'exclure la halite, restent peu discriminantes entre la dolomie et l'anhydrite (20 à 20 a.p.i. et 53 à 55 $\mu\text{s}/\text{ft}$). Seule la densité lue (2,75) autorise à le rapporter à la dolomie en considérant que sa plage représentative (fig. 4) est en limite du domaine anhydrite - argiles et débordé légèrement sur le domaine dolomie - argiles qui lui est partiellement superposé. Ce rapide commentaire montre clairement que la reconnaissance de la dolomie, qui ne saurait ici être mise en doute car elle correspond à la Dolomie moyenne particulièrement constante en Lorraine, reste délicate à partir des seuls résultats des outils diagraphiques et qu'elle peut-être aisément confondue avec une anhydrite argileuse par exemple. Les renseignements fournis par les diagraphies instantanées et l'examen des cuttings seront à cet égard toujours déterminants.

- le second, 2, est matérialisé sur les deux reports graphiques par des plages qui,

tant du point de vue sonique (105 μ s/ft) que du point de vue densité (2,35 à 2,37 g/cm³), s'apparentent à celles des argiles mais qui s'en écartent nettement par les valeurs de la radioactivité γ naturelle 160 à 180 a.p.i. Le lithofaciès correspondant n'appartient donc à aucun des trois cortèges précédemment définis. Il doit au contraire être considéré comme un matériel argileux admettant soit une phase silteuse ou gréseuse qui, en apportant des minéraux tels que feldspaths potassiques, muscovite, zircon,....., élève la teneur globale en éléments radioactifs, soit une phase organique toujours plus émissive. Ici encore, à défaut de pouvoir observer les cuttings, la connaissance de la série locale est utile. Cet intervalle correspond en effet au Grès à roseaux et la faible épaisseur sous laquelle il se manifeste dans ce sondage (3 à 4 mètres) permet de penser qu'il est représenté par son faciès latéral. La solution argilite silteuse a de ce fait été retenue et figurée comme telle dans la colonne "lithologie probable" qui habille les logs graphiques de cet ouvrage.

En ce qui concerne les couches minces (repères *a* à *t*), leur détermination découle directement de la position de leurs points représentatifs sur les deux reports graphiques, le diagramme log densité - gamma ray (fig. 4) se révélant à cet égard le plus discriminant. Quatre familles de points peuvent en effet y être reconnues :

- les points *e*, *f* et *m*, toujours situés au centre du pôle "argiles" correspondent à des passées argileuses franches ;
- les points *k*, *l*, *o*, *p*, *q* et *r* se situent indiscutablement dans le cortège halite - argiles et doivent être attribués à des bancs de sel ;
- le point *a*, à l'extérieur du domaine anhydritique et en lisière des domaines halitique et dolomitique a été attribué à du gypse en raison de son relatif rapprochement du pôle correspondant ;
- les autres s'inscrivent dans une zone oblongue reliant les pôles "anhydrite" et "argiles". Bien que se superposant partiellement au domaine dolomitique, cette zone a été considérée comme anhydritique en raison de sa situation exactement médiane au sein du domaine anhydrite - argiles.

Si la détermination globale des couches minces s'avère ainsi possible, encore qu'une certaine incertitude demeure dans la différenciation de l'anhydrite et de la dolomie, il est difficile de préciser la signification de la "dérive" des points représentatifs en direction des "argiles" constatée au sein des aires halitiques et anhydritiques. Dans le cadre de cette série essentiellement argileuse, elle est due à une atténuation des déflexions imputable soit à la minceur des couches, soit à une minéralogie "polluée" par une phase argileuse, ces deux particularités pouvant également

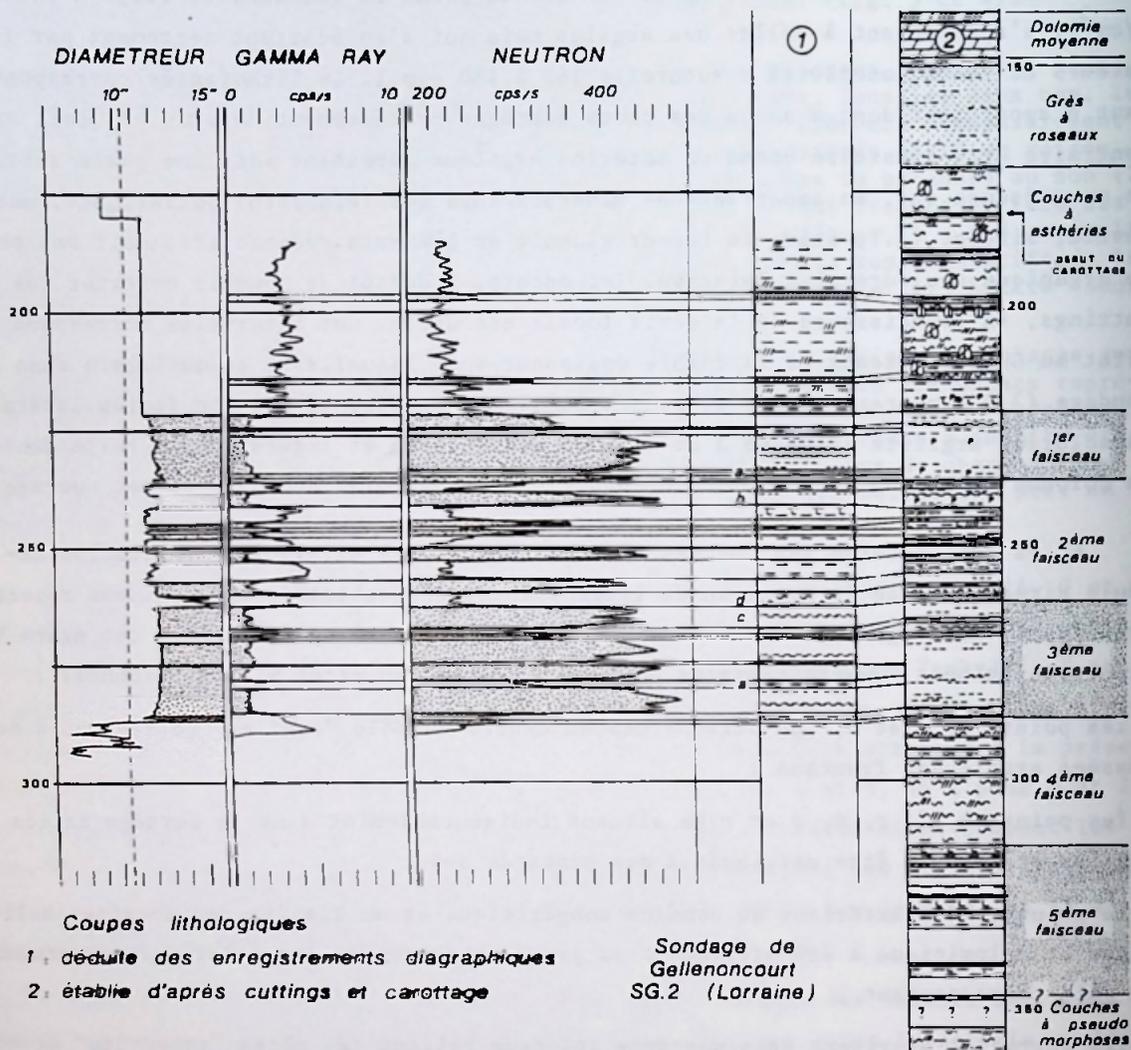


Fig. 5 - Contrôle de la coupe lithologique obtenue à partir de l'interprétation des enregistrements diagaphiques par la coupe établie d'après carottage.

La confrontation de la coupe lithologique établie d'après les diagaphies (coupe 1) avec celle obtenue par report des résultats d'observation des carottes (rapport fin de sondage établi en 1966 par R. Laugier pour le compte de la C.S.M.S.E. et communiqué par cette société, = coupe 2) montre une bonne correspondance globale des résultats. Quelques différences portant sur les détails suivants doivent toutefois être notés :

- Au sein des masses de sel, la coupe "diagaphies" fait apparaître des lits argileux signalés comme simples passées argileuses non individualisées sur la coupe "carottage" (repères a).
- D'une coupe à l'autre, certains bancs de sel (repères b et c) accusent des variations d'épaisseur légères - de l'ordre du mètre - mais non systématiques puisqu'une certaine compensation s'opère à l'échelle de la Formation salifère.

conjuguer leurs effets. Aucun argument ne permet de trancher, tout au plus faut-il noter que les points les plus proches du pôle "argiles", qu'ils soient halitiques (k et p) ou anhydritiques (n et t) semblent correspondre aux couches les plus minces (0,50 m) parmi celles qui ont été individualisées.

2 - CONCLUSION

En dépit de quelques incertitudes portant essentiellement sur la reconnaissance de la dolomie, aussi bien en couche mince qu'en formation épaisse, la reconstitution d'une coupe lithologique à partir des seules diagraphies différées paraît ainsi possible. L'individualisation halite - anhydrite en particulier semble pouvoir être faite aisément. Mais il faut signaler que, pour intéressantes qu'elles soient, de telles coupes ne sauraient remplacer les observations de terrain ou les études de carottes de sondage. En effet, hormis les cas flagrants de caves enregistrés par le diamètreur au droit de certains intervalles interprétés comme des argilites rouges (repère d, fig. 5), les diagraphies ne permettent pas de préciser la couleur des argilites (grises, vertes ou noires). Elles ne renseignent pas davantage que la cristallinité ou l'état de dispersion des évaporites qui leur sont associées (diffus, en filonnets ou en nodules par exemple pour la halite comme pour les sulfates). Elles n'apportent en outre que des informations très subjectives, car déduites de la pente des courbes, sur la nature des passages entre lithofaciès différents et restent muettes à l'égard des structures sédimentaires fines que les formations traversées pourraient présenter.

← Ces divergences ne sont en réalité que des artefacts inévitables relevant de l'appréciation de l'observateur d'une part qui peut définir comme sel argileux ce que les diagraphies font apparaître comme argilites plus ou moins salifères et d'autre part d'une localisation plus ou moins adéquate des pertes qui ont atteint localement 25 % (4,26 m de récupération pour un carottage de 5,65 m entre 260,60 m et 266,25 m par exemple). Les échantillons de sondage n'ayant pu être directement observés, il n'est pas possible de pousser plus loin l'analyse.

REMARQUES - 1 - Les intervalles attribués au sel, ainsi que leurs prolongements latéraux destinés à matérialiser les corrélations entre coupes, ont seuls été surchargés sur les logs diagraphiques de la figure 5 alors qu'ils ont été laissés en blanc sur les coupes lithologiques correspondantes 1 et 2. Cette convention, déjà appliquée sur la coupe lithologique fig. 2 a été adoptée afin de ne pas préjuger des figurations qui seront attribuées aux bancs de sel en fonction de leur appartenance à tel(le) ou tel(le) faisceau (ou unité) sur les planches présentées en annexe.

2 - Sur ces mêmes planches de corrélation, l'habillage lithologique des logs Gamma ray a été placé à droite de la courbe d'enregistrement. Cet artifice a pour simple objet de mettre davantage "en relief" les bancs à dominante évaporitique (sel gemme, gypse et/ou anhydrite et même dolomie) par rapport à l'encaissant détritique.

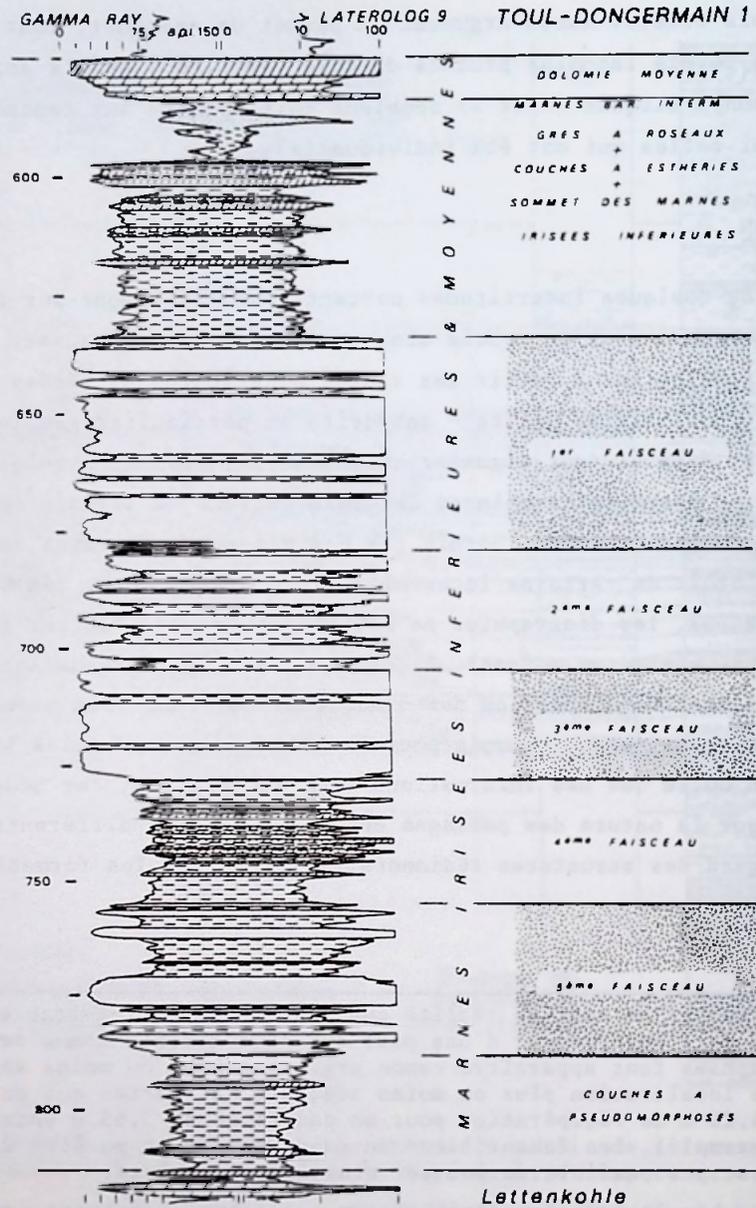


Fig. 6 - Sondage de Toul - Dongermain. Comparaison des coupes lithologiques établies d'après le log gamma ray et le latérolog.

Dans les deux cas, la restitution de la lithologie s'appuie sur les informations fournies par le log habillé (vitesse d'avancement, examen des déblais de forage, calcimétrie). Il faut noter que la parfaite correspondance des résultats est en grande partie conditionnée par la singularité de la série sédimentaire, constituée essentiellement ici par l'alternance des lithofaciès halite ou anhydrite et argilites.

Par ailleurs, le développement apporté à cet exemple et destiné à montrer l'utilisation qui a été faite des diagraphies dans ce travail ne doit pas faire oublier sa double particularité : absence du "log habillé" et gamme de diagraphies disponibles relativement complète.

- Dans la pratique d'une part, cette éventualité où les diagraphies différées sont seules disponibles n'a été que rarement rencontrée. Le log habillé est la plupart du temps disponible et les incertitudes signalées, déjà considérablement réduites par la connaissance de la série étudiée, peuvent être aisément levées par les informations qu'il apporte.

- Même lorsque le log habillé est disponible, il est rare d'autre part que toute la gamme des diagraphies ait été réalisée ou qu'elle couvre précisément la tranche de terrains étudiée. Ainsi, les premiers sondages pétroliers du Bassin de Paris ne fournissent que les enregistrements de la polarisation spontanée (P.S.) ou de la résistivité des formations traversées. La coupe lithologique du log habillé, fondée pour une large part sur l'analyse des déblais de forage, est dans ce cas indispensable, l'enregistrement diagraphique n'étant alors guère utilisé que pour préciser les limites lithologiques.

Ces considérations mettent ainsi en lumière les possibilités de l'outil diagraphique dans les études lithostratigraphiques mais également ses limites. Irremplaçable en particulier pour ce qui concerne l'individualisation des unités lithologiques traversées, il demeure lors de leur détermination, largement tributaire des données fournies par l'analyse des déblais de forage.

D - CONCLUSION

Les documents utilisés pour cette étude apparaissent ainsi très variés : coupes lithologiques établies soit d'après cuttings soit d'après carottes, coupes lithologiques résultant de l'analyse de diagraphies, seules ou non, qu'elles soient électriques, nucléaires ou autres. La logique voudrait que, pour les comparaisons qui consistent les corrélations latérales, ne soient utilisées que des documents de même valeur c'est-à-dire de même nature. L'expérience a en fait montré que cette exigence n'était pas fondée et qu'à l'exception des "coupes-cuttings" sommaires, les coupes lithologiques obtenues par des voies différentes pouvaient être raisonnablement confrontées.

Ainsi, l'exemple présenté figure 5 montre qu'en dépit d'une légère exagération des

passées argileuses associées au Sel et de quelques imprécisions dans la détermination de la nature des argilites (couleur), la coupe déduite des logs gamma ray, neutron et diamètreur est tout à fait comparable à celle qui a été établie par ailleurs d'après carottage.

De même, figure 6, la coupe lithologique établie d'après le log gamma ray est, à quelques détails près concernant essentiellement l'individualisation de fins intercalaires argileux, superposable à celle obtenue à partir du latérolog. Il apparaît ainsi que l'une ou l'autre de ces diagraphies permet une reconstitution valable de la coupe lithologique qui sera, de toute évidence, d'autant plus précise que les informations de cuttings seront connues.

Il faut souligner toutefois que cette concordance des résultats est en grande partie due à l'originalité de la série keupérienne envisagée, caractérisée par l'alternance répétée anhydrite ou halite - argilites. Dans ces conditions, cette particularité ne peut donc pas, *a priori*, être étendue et appliquée à d'autres séries sédimentaires.

Pour ces différentes raisons, auxquelles s'ajoutent aussi des impératifs graphiques, un seul log diagraphique a été reproduit pour étayer la lithologie figurant dans les exemples de corrélation proposés ; c'est généralement le gamma ray en raison de sa généralisation actuelle, ou le latérolog pour les ouvrages un peu plus anciens. De plus, dans le cas où l'homogénéité des documents n'a matériellement pas pu être réalisée, les profils présentés montreront des corrélations établies à partir de coupes d'origine variée.

DEUXIEME PARTIE

DÉFINITION LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET VARIATIONS LATÉRALES DE LA SÉRIE KEUPÉRIENNE ENVISAGÉE

I - PRESENTATION DU BASSIN

1 - LIMITES ET PARTICULARITES ARCHITECTURALES D'ENSEMBLE

En dépit des incertitudes qui demeurent et de l'aspect subjectif de certaines extrapolations nécessaires à sa construction, la carte d'isopaques présentée Planche II constitue la première approche indispensable à l'étude du bassin de sédimentation des Marnes irisées inférieures et moyennes. Elle a toutefois été réalisée de la façon la plus "géométrique" possible, ce qui explique en partie la différence manifeste entre la complexité de la moitié orientale et l'apparente régularité de la partie occidentale. L'abondance, relative, des informations disponibles pour le domaine lorrain (recherches d'hydrocarbures, d'eau, de houille, de sel gemme, etc....) autorise en effet une cartographie détaillée que ne permettent pas les seuls sondages pétroliers du domaine champenois.

Envisagée dans ses grandes lignes, cette représentation s'écarte peu des cartographies antérieures (Keuper inférieur, Fourmentraux *et al.*, 1959 ; Trias anté-Keuper supérieur, Buboïs et Umbach, 1974) mais la comparaison ne peut être poussée très loin en raison de la singularité de la tranche de terrains considérée ici.

Ainsi matérialisé, ce bassin sédimentaire se présente comme une vaste gouttière d'allongement général W-E, se développant largement de part et d'autre d'une zone axiale Saint-Dizier - Nancy jusqu'aux Ardennes vers le Nord (ligne Reims - Luxembourg) et, vers le Sud, jusqu'aux premiers contreforts du Morvan (Montbard - Châtillon-sur-Seine). Dans le détail son axe est légèrement arqué. A l'Est de la Muese sa direction est sensiblement ENE - WSW, à hauteur de la Marne elle est E - W et elle semble devenir WNW - ESE à son extrémité occidentale. Il n'est pas sans intérêt de noter que cette virgation présente quelques similitudes avec celle de l'"accident médio - parisien qui traverse tout ce domaine (Le Roux, 1975 a) et que l'architecture de ce

bassin se superpose assez étroitement aux grands traits de la structure actuelle connue dans cette partie orientale du Bassin de Paris (Le Roux, 1980) :

- le synclinal de Sarreguemines à l'Est de Nancy, dédoublé dans sa partie orientale (5 et 5') par l'ondulation médiane correspondant à l'anticlinal de Morhange (2), et le synclinal de Savonnières (4) qui le prolonge vers l'Ouest, jalonnent l'axe du bassin ;
- vers le Nord, les inflexions des courbes isopaques font apparaître une zone de sur-épaisseur correspondant au synclinal de Luxembourg (3 et 3') ;
- entre ces deux domaines, la zone de moindre épaisseur allongée entre Pont-à-Mousson et Commercy se superpose assez étroitement aux deux branches de l'anticlinal de Lorraine (1 et 1') ;
- quant à la bordure méridionale, mal définie en raison de la rareté des sondages, elle paraît liée à la persistance de l'"éperon bourguignon" (Courel *et al.*, 1973) qui n'isole plus qu'imparfaitement le bassin lorrain du bassin de Bresse - Jura.

Par ailleurs, et malgré les incertitudes qui règnent pour toute la zone s'étendant à l'Ouest d'une ligne Reims - Epernay - Troyes, l'allure et l'emboîtement des courbes isopaques indiquent que le bassin se ferme vers l'Ouest alors qu'il demeure ouvert en direction de l'Est. Sa terminaison orientale à hauteur de Sarreguemines correspond en effet à la limite d'affleurement des Marnes irisées inférieures et ne saurait préjuger de l'extension originelle de ce domaine dans cette direction.

De même, la distribution du Sel dans le bassin épouse plus ou moins fidèlement les grands traits de structure. La coïncidence de sa limite d'extension maximale avec les courbes isopaques globalement comprises entre 125 et 200 m indique clairement qu'il est strictement localisé dans la zone axiale du bassin et justifie son absence sur le sommet de l'anticlinal de Lorraine (région de Pont-à-Mousson). Dans le détail toutefois, cette coïncidence n'est pas parfaite et certaines disharmonies entre les courbes isopaques et la limite d'extension du Sel s'observent localement, au Sud de Châlons-sur-Marne, au Nord-Ouest de Vittelet ou au Sud-Est de Nancy notamment.

Pour les deux premiers domaines cités, l'absence d'informations n'a pas permis une cartographie plus précise et c'est volontairement que le parallélisme des tracés n'a pas été arbitrairement accentué.

En ce qui concerne le secteur situé au Sud-Est de Nancy par contre, la disharmonie est indiscutable, la limite du Sel passant rapidement de l'isopaque 125 m à proximité de Vittelet à l'isopaque 200 m à hauteur de Lunéville. Compte tenu de la proximité de

la limite d'affleurement des Marnes irisées inférieures, peut-être ne faut-il voir en cette limite d'extension du Sel que la situation actuelle du front de dissolution du gîte halitique originellement plus étalé ? Encore qu'elle soit discutable dans ce secteur, cette éventualité devait être évoquée dans la mesure où elle contrôle l'extension du Sel dans la partie tout à fait orientale du gisement.

2 - RAPPORTS AVEC LE DOMAINE GERMANIQUE

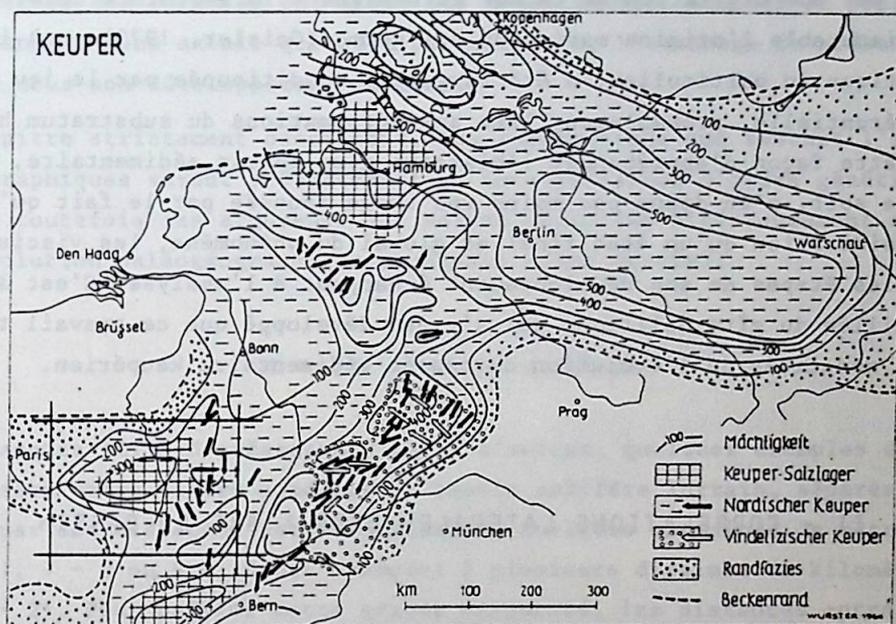


Fig. 7 - Paléogéographie du domaine germanique au Keuper (in Wurster, 1964, fig. 54) et situation du domaine étudié.

Au Keuper, le domaine germanique (fig. 7, in Wurster, 1964, fig. 54) est occupé par une vaste étendue d'eau pour laquelle le très large développement de la sédimentation évaporitique (Gipskeuper), et tout particulièrement la présence de sel gemme dans la partie centrale (Hambourg - Berlin, Trusheim, 1967, fig. 1), attestent un confinement poussé. La Mer germanique* ne constitue plus en fait qu'une vaste lagune

* En dépit de l'absence de fossiles marins dans la série keupérienne d'Allemagne, le terme de Mer germanique sera conservé (au même titre que Mer morte par exemple) en lui réservant une signification purement géographique qui n'implique aucunement l'existence dans ce milieu particulier d'une quelconque activité biologique.

sursalée dont les communications avec la mer alpine semblent hypothétiquement réduites à son extrémité orientale (Silésie). Dans ce contexte paléogéographique, le bassin de Lorraine - Champagne (ainsi que le bassin salifère de Jura - Bresse) ne représente qu'une apophyse limitée de la bordure occidentale du bassin germanique dont il se trouve actuellement isolé par le jeu de l'érosion.

Le bassin keupérien de Lorraine - Champagne apparaît ainsi comme un vaste domaine occupé par une digitation de la Mer germanique - la géochimie du brome montrant de façon indiscutable l'origine marine du sel gemme (Geisler, 1979) - où la sédimentation, halitique en particulier, a été largement conditionnée par le jeu d'une subsidence différentielle, probablement liée aux déformations du substratum hercynien. Toutefois, cette façon d'appréhender l'histoire d'un bassin sédimentaire, pour classique qu'elle soit, n'en donne pas moins une image faussée par le fait qu'elle ne prend en considération qu'un état final et global du phénomène, les vicissitudes et les éventuelles étapes de son développement échappant à l'analyse. C'est à travers l'étude détaillée du gîte halitique qui s'y est développé que ce travail tentera de préciser les modalités de l'évolution du bassin sédimentaire keupérien.

II - CORRELATIONS LATÉRALES DANS L'AXE DU BASSIN

Afin de matérialiser au mieux les résultats de cette recherche visant à établir la continuité latérale des formations constituant la série keupérienne, une large part a été attribuée aux représentations graphiques. Ces dernières présentent les sondages sous la forme de logs lithologiques calés à partir d'un niveau de référence choisi au toit de la Dolomie moyenne considéré comme plan et horizontal, qu'il s'agisse du toit de la formation dolomitique proprement dite ou du toit de son "chapeau d'anhydrite" lorsque ce dernier a été reconnu en sondage. Il importe de préciser que cette disposition ne doit pas être considérée comme un artifice de présentation. Compte tenu des conditions de formation de la dolomie, elle doit au contraire apparaître comme la restitution de l'attitude plane et horizontale qui était vraisemblablement celle de la Dolomie moyenne au moment de sa formation. Cette façon de faire présente pour avantages essentiels, en faisant abstraction des déformations ayant pu se développer ultérieurement, de fournir pour les Marnes irisées inférieures et moyennes une image fidèle de leur architecture "fini - Keuper moyen" et de matérialiser la sommation des phénomènes de subsidence différentielle.

qui ont accompagné leur dépôt.

Ce travail a d'abord été réalisé pour le domaine lorrain où le nombre élevé des sondages disponibles est essentiellement lié à la recherche et à l'exploitation du sel gemme, encore activement menée sur la rive droite de la Meurthe à l'Est de Nancy, puis ensuite étendu au domaine champenois. Dans les deux cas, le choix des sondages a été essentiellement guidé par le souci de ne prendre en considération que des ouvrages présentant des situations aussi semblables que possible dans le bassin. Les sondages proches des bordures ont ainsi été momentanément écartés au profit de ceux implantés dans la zone axiale qui ont, par ailleurs, l'avantage de présenter la série keupérienne sous son développement maximum.

Dans ce chapitre strictement descriptif, les informations que fournit l'analyse des documents graphiques seront présentées sans interprétation d'ordre génétique. Elles constituent toutefois les arguments qui seront exploités ultérieurement dans le cadre de l'évolution paléogéographique du bassin (3ème partie).

A - LE DOMAINE LORRAIN

Les planches III A-B présentent, parmi d'autres, quelques exemples de corrélations réalisées entre divers sondages du bassin salifère lorrain, séparés les uns des autres par des distances variées allant de quelques centaines de mètres (intervalles 6 - 7, 7 - 8 ou 9 - 10 par exemple) à plusieurs dizaines de kilomètres (intervalle 1 - 2). Pour pallier cette grande disparité, les distances entre ouvrages ont été représentées selon une échelle logarithmique.

Objectivement, ce procédé est critiquable dans la mesure où il modifie les pendages de façon sensible et surtout différentielle au sein des intervalles inter-sondages. Il a néanmoins été appliqué à la planche III A-B, uniquement, pour des impératifs techniques évidents d'une part (format et lisibilité des documents), et en considérant d'autre part que ces profils, destinés avant tout à matérialiser la continuité des différentes formations, sont déjà considérablement déformés par l'exagération de l'échelle des hauteurs et ne sauraient de ce fait être assimilés à des coupes géologiques classiques.

Les planches IV et V illustrent ensuite les problèmes que soulèvent les corrélations à grandes distances (intervalles 1 - 2 et 15 - 16).

L'observation des profils ainsi réalisés permet les constatations suivantes (Pl. III A-B) :

1 - D'un sondage à l'autre, et quelle que soit la distance qui les sépare, les coupes lithologiques présentent une bonne correspondance. Les similitudes se constatent aussi

bien à l'échelle des grands ensembles, halitiques entre autres, qu'au niveau des couches qui les constituent. C'est ainsi que la "Grande couche" des exploitants s'observe dans tous les sondages - pourvu qu'ils soient suffisamment profonds - avec une épaisseur moyenne de l'ordre de 23 m, les épaisseurs extrêmes étant de 20,5 m sur la coupe 9 (puits de mine Saint-Maximilien de la saline de Varangéville) et de 25 m sur la coupe 2 (sondage Nancy-thermal 3).

De même, les bancs de sel sus-jacents - repères a et b -, beaucoup plus minces (4 m

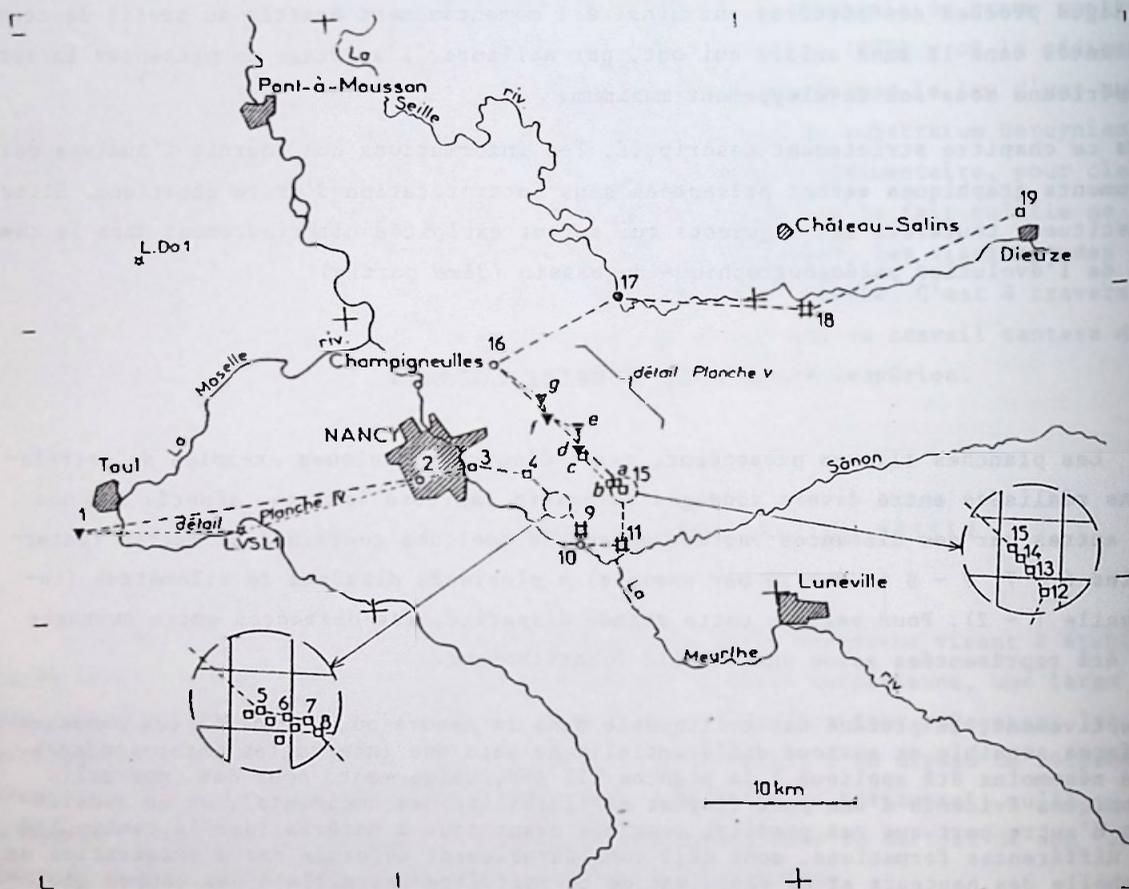


Fig. 8 - Implantation des sondages et tracés des profils présentés planches III A-B, IV et V.

Le cadre de la figure, déjà apparent sur la planche II, couvre approximativement les cartes géologiques à 1/50 000 suivantes, citées d'Ouest en Est et du Nord au Sud : Pont-à-Mousson (n° 193), Nomeny (n° 194), Château-Salins (n° 195) au Nord, Toul (n° 229), Nancy (n° 230), Parroy (n° 231) au centre, Vézelize (n° 267), Bayon (n° 268) et Lunéville (n° 269) au Sud. La symbolisation des ouvrages y est conforme à celle explicitée en légende commune, hors texte, et leurs références sont précisées dans les tableaux A et B (en Annexe).

au maximum pour a en 1 et 8, 2 m seulement pour b au sondage 4), se suivent d'une extrémité à l'autre du profil, soit sur une distance développée de 91,6 km (en ligne droite les sondages 1 - Toul Domgermain - et 19 - Dieuze - sont distants de 65 km) sans subir de variations notables d'épaisseur.

La constance des intercalaires argileux enfin - repères c et c' par exemple - dont la puissance n'excède guère le mètre, ainsi que celle des minces bancs d'anhydrite - repères d et d' - atteste une continuité latérale de ces formations tout à fait remarquable.

2 - Les divers ensembles constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes, et tout particulièrement les différents faisceaux salifères classiquement connus en Lorraine, se retrouvent systématiquement dans tous les sondages où, de plus, ils peuvent être reconnus par leur architecture caractéristique propre.

Sur les simples coupes lithologiques (coupes 4 - Saulxures -, 8 - Lenoncourt - ou 9 - Varangéville - entre autres), ils s'individualisent par leurs seules particularités lithologiques ou structurales : large prédominance du sel, position et importance des intercalaires argileux, par exemple, définissent les premier et troisième faisceaux, alors que le rythme de l'alternance argilite - sel caractérise les deuxième et cinquième faisceaux. Sur les coupes établies d'après diagraphies (Gamma ray ou Latérolog), l'originalité architecturale de chaque faisceau est encore renforcée par la similitude des figures diagraphiques à leur niveau de sorte que chacun devient identifiable, même considéré individuellement.

Pour élémentaire qu'elle soit, cette constatation n'en est pas moins fondamentale. Elle a en effet rendu possibles les corrélations entre coupes parfois très différentes (couples 3-4 ou 7-8 par exemple) dont certaines étaient jusqu'alors réputées impossibles ou très aléatoires. Elle permet également d'affirmer qu'il n'a pas été rencontré de cas, dans le domaine lorrain du moins, où le toit de la Lettenkhole ait été atteint sans que le cinquième faisceau n'ait été traversé au préalable.

3 - D'une façon globale, la série sédimentaire considérée accuse de légères variations d'épaisseur : 226 m à Tomblaine, sondage 3 ; 221 m à Saulxures, sondage 4 (le niveau atteint dans cet ouvrage autorisant une extrapolation relativement précise) ; 244 m à Agincourt, sondage 16. Les valeurs obtenues à Vic-sur-Seille et Dieuze, sondages 18 et 19, respectivement 273 et 270 m, ne peuvent être prises en considération en raison de leur extrapolation incertaine, le premier ouvrage ayant été arrêté peu après le mur du troisième faisceau alors que le second, implanté au delà de la limite d'affleurement de la Dolomie moyenne, ne peut être calé avec précision. Dans ces conditions, la différence n'est que de 23 mètres, ce qui correspond à un écart de

l'ordre de 10 % seulement.

Dans ce contexte, et pour autant que les quelques sondages ayant atteint la Lettenkohle permettent d'en juger, ces fluctuations sont en grande partie imputables à des variations d'épaisseur du premier faisceau salifère qui manifeste ainsi une certaine originalité. En effet, du toit de la Lettenkohle au toit du deuxième faisceau, les grands ensembles, halitiques ou non, gardent une puissance sensiblement constante dans le secteur considéré. De même, l'ensemble stérile qui se développe au dessus du Sel jusqu'au toit de la Dolomie moyenne varie relativement peu d'épaisseur.

Graphiquement, et abstraction faite du cas du sondage 4, cela se traduit par une régularisation du sommet de la formation halitique. Par rapport au mur de la Dolomie moyenne, il s'établit à une profondeur qui peut localement être considérée comme constante (56 m dans le secteur central de Varangéville - sondages 9, 10 et 11) et qui diminue progressivement d'Est en Ouest (75 m à Dieuze, sondage 19 ; 50 m à Toul, sondage 1).

En quelques endroits du domaine étudié, cette particularité étant illustrée par la coupe du sondage 4, l'ensemble stérile terminal évoqué ci-dessus enregistre une augmentation d'épaisseur notable : 63 m et 62 m respectivement en 3, Tomblaine, et 5, Art-sur-Meurthe, pour 83 m en 4, Saulxures. Elle apparaît comme plus ou moins complémentaire d'un amincissement du premier faisceau salifère immédiatement sous-jacent (26 m et 42 m en 3 et 5, 7 m seulement en 4) et se trouve matérialisée à cet endroit par un "approfondissement" du sommet du Sel.

Compte tenu de la régularité de la formation argileuse (ou marneuse) riche en sulfates qui surmonte directement le Sel (45 m en 3, 4 et 5, où gypse et/ou anhydrite apparaissent en bancs nettement individualisés par les diagraphies) d'une part, et de la remarquable constance de la Dolomie moyenne qui termine la série (9,5 ± 1,5 m) d'autre part, cette anomalie est due à l'épaississement local de l'ensemble particulier que ces deux formations encadrent. Pratiquement dépourvu d'évaporites, il englobe les Argiles bariolées intermédiaires et le Grès à roseaux de la série lorraine traditionnelle et, par le jeu de ses variations d'épaisseur (10 m en moyenne, 30 m au sondage 4), il compense plus ou moins les irrégularités du toit de l'unité sous-jacente. L'étude de cette formation sera reprise plus en détail ultérieurement mais, en première approximation, une certaine relation semble s'établir entre ses surépaisseurs et des engraisements localisés du Grès à roseaux, encore que ce dernier ne soit la plupart du temps reconnu en sondage que sous son faciès gréseux. On notera par ailleurs que, dans l'axe du bassin et à cette échelle de travail du moins, les épaississements de ce dernier ne correspondent pas à des réductions d'épaisseur de la Dolomie moyenne comme cela a été constaté en Lorraine méridionale (Ricour, 1962).

4 - Il convient de signaler, pour clore cette simple énumération de faits d'observation relatifs au domaine lorrain, que les corrélations paraissent d'autant plus fines et plus régulières que les sondages sont plus éloignés (couples 1-2 : 23 km et 15-16 : 11,5 km par exemple). Cela tient au fait que les corrélations à longue distance font abstraction des éventuels "accidents" locaux intermédiaires.

Les profils détaillés de ces intervalles (Pl. IV et V) mettent en évidence que les particularités précédemment citées demeurent intégralement transposables et, en montrant que le toit du gîte halitique demeure pratiquement parallèle à la Dolomie moyenne, quelle que soit l'attitude des unités sous-jacentes, attirent tout spécialement l'attention sur la signification particulière des corps halitiques supérieurs au sein de ce complexe évaporitique.

B - LE DOMAINE CHAMPENOIS

La recherche des corrélations latérales a été conduite en Champagne de la même manière qu'en Lorraine. Le profil de la planche VI, dont le tracé est indiqué sur la planche II, matérialise, par sa partie comprise entre Bazincourt et Mailly-le-Camp, l'architecture des Marnes irisées inférieures et moyennes dans la zone axiale du domaine champenois - l'extrémité occidentale Soudron - Corfélix pouvant être considérée comme une zone de bordure - ainsi que les rapports qu'elles peuvent présenter avec le domaine lorrain.

Un certain nombre de faits se dégagent de l'observation de ce profil :

1 - Comme en Lorraine, la série keupérienne champenoise, et tout particulièrement sa fraction halitique, est caractérisée par un aspect régulièrement stratifié et par la répétitivité de la succession argilite - évaporite. Cette rythmicité, perceptible à toutes les échelles d'observation, constitue certainement un de ses caractères majeurs. Elle est en effet suggérée, au sein même des bancs individualisés de sel, par l'allure en "dents de scie" des figures diagraphiques et elle se retrouve à l'échelle de la distribution séquentielle d'ordre décimétrique de la halite sur les échantillons prélevés dans la mine de Varangéville (Geisler, 1976).

2 - La constance des particularités architecturales des différents faisceaux salifères, largement étayée par la similitude de leur "physionomie" diagraphique et déjà mise à profit en Lorraine pour leur identification, est également manifeste en Champagne. La parfaite correspondance des corps halitiques qu'il a ainsi été possible de matérialiser, en Champagne comme en Lorraine d'une part, et entre ces deux domaines

d'autre part, atteste une bonne continuité latérale de ces formations de long de l'axe du bassin.

3 - Cette continuité n'est toutefois pas parfaite :

- les faisceaux salifères inférieurs disparaissent progressivement d'Est en Ouest : le cinquième faisceau - généralisé en Lorraine - n'atteint pas Bazincourt ; le troisième, qui présente un développement maximum à Champigneulles - particularité à mettre en rapport avec la situation de ce sondage exactement dans l'axe du bassin -, s'amenuise progressivement et disparaît entre Der et Lhuitre : le deuxième, semblable à lui-même sur toute son étendue, disparaît aux environs de Mailly-le-Camp ; le premier, en tête de la série halitique lorraine, constitue la base de la série salifère dans les sondages les plus occidentaux.

En contrepartie, alors que l'ensemble de la série subit une diminution globale d'épaisseur (260 m à Champigneulles, 220 m à Lhuitre), l'importance de l'ensemble stérile "sous le Sel" apparaît plus grande en Champagne (79 m à Lhuitre) qu'en Lorraine où il est représenté par les Couches à pseudomorphoses (31 m à Champigneulles). Doit-on pour autant considérer que cet ensemble stérile basal champenois englobe tout ou partie de ces dernières ? Il est permis de le penser mais, en l'absence du cinquième faisceau salifère en Champagne ou de tout autre niveau repère, rien n'autorise à le dire avec certitude. Tout au plus peut-on noter qu'à Lhuitre sa puissance totale (79 m) est du même ordre de grandeur que celle qui peut être obtenue à Champigneulles (85 m) par le cumul des corps stériles situés sous la couche halitique correspondante (Couches à pseudomorphoses, quatrième faisceau, intercalaires argileux des cinquième, troisième et deuxième faisceaux).

- Parallèlement, de nouvelles unités halitiques, absentes ou à peine esquissées en Lorraine, apparaissent progressivement vers l'Ouest au sommet de la formation pour atteindre un développement maximum en Champagne (Ancerville, Mailly-le-Camp) et y constituer l'essentiel de la série halitique.

D'une façon plus ou moins symétrique de ce qui se passe à la base de la série, la formation marneuse à anhydrite, largement développée en Lorraine, se retrouve en Champagne avec une épaisseur plus faible. Cet amincissement se réalise, semble-t-il, par une disparition graduelle de ses assises basales qui ne laisse persister en Champagne - où ils surmontent alors directement le Sel - que les bancs d'anhydrite terminaux de Lorraine. Les formations sus-jacentes, Dolomie moyenne comprise, se retrouvent en Champagne avec des épaisseurs comparables et relativement constantes.

4 - Le passage de la série de type lorrain - Champigneulles par exemple - à une série de type champenois - Mailly-le-Camp - se fait de façon progressive, de Toul Domgermain à Lhuitre pour la base, jusqu'à Ancerville pour le sommet. C'est au niveau de l'intervalle Toul Domgermain - Bazincourt que se réalisent les variations les plus importantes. Il n'est toutefois pas question d'y placer une quelconque "barrière" susceptible d'individualiser deux sous-bassins. En effet, même en sachant que dans un intervalle d'une telle amplitude (plus de 50 km) des discontinuités peuvent perturber l'apparente régularité de la série, l'identité parfaite des premier, deuxième et troisième faisceaux de part et d'autre de cet intervalle implique des communications aisées entre les deux domaines pendant les périodes correspondantes. C'est donc sur près de 200 km (185 km en ligne droite entre Mailly-le-Camp et Dieuze) que la continuité de la série keupérienne envisagée peut être constatée.

C - CONTINUITÉ ET DIACHRONISME DU GITE SALIFÈRE

Cette première étape de l'étude du bassin keupérien de l'Est de la France, visant à établir les corrélations latérales au sein des Marnes irisées inférieures et moyennes, a, jusqu'à présent, été limitée à la zone axiale des domaines lorrain et champenois. Mais, d'ores et déjà, elle fournit une réponse aux questions essentielles posées en introduction. Deux mots en effet résument les caractéristiques de la série étudiée : continuité et diachronisme.

Les différentes unités lithostratigraphiques, et tout particulièrement les corps halitiques, montrent une continuité latérale ou une extension tout à fait remarquable. Elle est perceptible à l'échelle des bancs, parfois minces - de l'ordre du mètre - qui se suivent sur des distances pouvant atteindre ou dépasser la centaine de kilomètres. Elle se constate également à l'échelon des groupements de bancs - les actuels faisceaux - qui gardent une architecture semblable sur la totalité de leur étendue et qui se révèlent de ce fait aisément identifiables. La formation salifère elle-même, par l'absence probable d'interruption entre la Lorraine et la Champagne, peut être qualifiée de continue.

Le gîte halitique est formé par l'empilement de couches de sel progressivement décalées d'Est en Ouest. Dans la double hypothèse où la Dolomie moyenne d'une part, dont le toit a été utilisé en tant que niveau repère originellement plan et horizontal, et la Dolomie limite de la Lettenkohle d'autre part, sont considérées respectivement comme des formations correspondant à des épisodes synchrones à l'échelle du bassin, le sel basal de Lorraine se révèle plus récent que les premiers bancs de sel de Champagne de même que le sel terminal de Champagne apparaît comme plus récent que les derniers bancs de sel de Lorraine. La formation salifère, dont le toit et le mur sont sensiblement parallèles, constitue ainsi un ensemble oblique dans la série keupérienne, c'est-à-dire diachrone.

Le long de l'axe du bassin, et pourvu que les coupes lithologiques précises en soient connues, les corrélations latérales entre sondages sont ainsi relativement aisées. Les corrélations tentées perpendiculairement, c'est-à-dire selon la direction axe - bordure, se révèlent par contre plus délicates, chaque unité pouvant en effet s'écarter de sa structure type telle qu'elle apparaît au centre du bassin. Afin de pouvoir appréhender ces variations latérales, il importe donc de définir dès maintenant, sous la forme d'une série lithostratigraphique type générale, les caractéristiques de chaque unité.

III - SERIE LITHOSTRATIGRAPHIQUE TYPE

Le découpage de la série keupérienne inférieure et moyenne actuellement en usage s'est révélé fort mal adapté aux études de sub-surface en général et aux interprétations diagaphiques en particulier d'une part, ainsi qu'aux recherches qui sortent du cadre strict de la Lorraine d'autre part.

Plusieurs unités, les Couches à pseudomorphoses ou les Couches à esthéries par exemple, sont en effet définies par des caractères, peut-être très utiles "sur le terrain", mais difficilement accessibles en sondage, même carotté. En deçà de leur zone d'affleurement, celles-ci ne sont donc reconnues que par référence à des formations repères voisines : Dolomie limite de la Lettenkhole, Dolomie moyenne ou Grès à roseaux même, lorsque ce dernier est exprimé sous son faciès gréseux.

La Formation salifère, par ailleurs, est divisée en faisceaux, productifs ou stériles, dont l'indexation définie en Lorraine est conforme à l'ordre de leur rencontre en sondage, le premier faisceau se trouvant en tête du gisement, le cinquième en formant le mur. Or, l'étude de la zone axiale champenoise vient de montrer qu'une masse considérable de sel pouvait exister au-dessus de premier faisceau "lorrain" et quelques exemples développés ultérieurement à propos des marges du bassin lorrain illustreront le fait que le faisceau de tête n'est pas toujours le "premier".

Afin de rendre compte des particularités architecturales de la série constatées en Lorraine et en Champagne d'une part et d'harmoniser au mieux ses caractéristiques lithologiques avec l'outil maintenant généralisé que constituent les diagaphies d'autre part, il est apparu nécessaire de compléter la série lithostratigraphique traditionnelle, d'en modifier légèrement le découpage et d'y appliquer une nomenclature nouvelle, l'essentiel de ces dispositions étant schématisé fig. 9.

Avant d'aborder la description de cette nouvelle série lithostratigraphique type, trois remarques s'imposent :

- Le fait qu'elle soit qualifiée de "typique" sous-entend que cette série a été définie dans la zone centrale du bassin où il a été constaté que ses différents composants se présentent sous leur développement le plus complet.
- Le découpage proposé suit d'aussi près que possible les divisions traditionnelles et, en l'absence actuelle de données suffisantes de nature paléontologique et/ou sédimentologique, n'a qu'une valeur lithostratigraphique.

- Avec le souci de ne pas introduire une nouvelle numérotation qui ne manquerait pas de créer des confusions avec le système actuellement utilisé, les subdivisions de l'ensemble halitique s'intègrent dans une "échelle - lettres" continue, de L à la base en Lorraine à S au sommet en Champagne. Cette nomenclature est, certes, arbitraire mais elle offre toutes possibilités d'adaptation, vers le bas comme vers le haut, à l'éventuelle mise en évidence d'unités halitiques nouvelles, soit à l'intérieur même du bassin de Lorraine - Champagne, soit dans un bassin voisin avec lequel les corrélations pourraient être établies (Jura - Bresse).

Les Marnes irisées inférieures et moyennes apparaissent ainsi formées de trois grands ensembles d'importance inégale et variable latéralement :

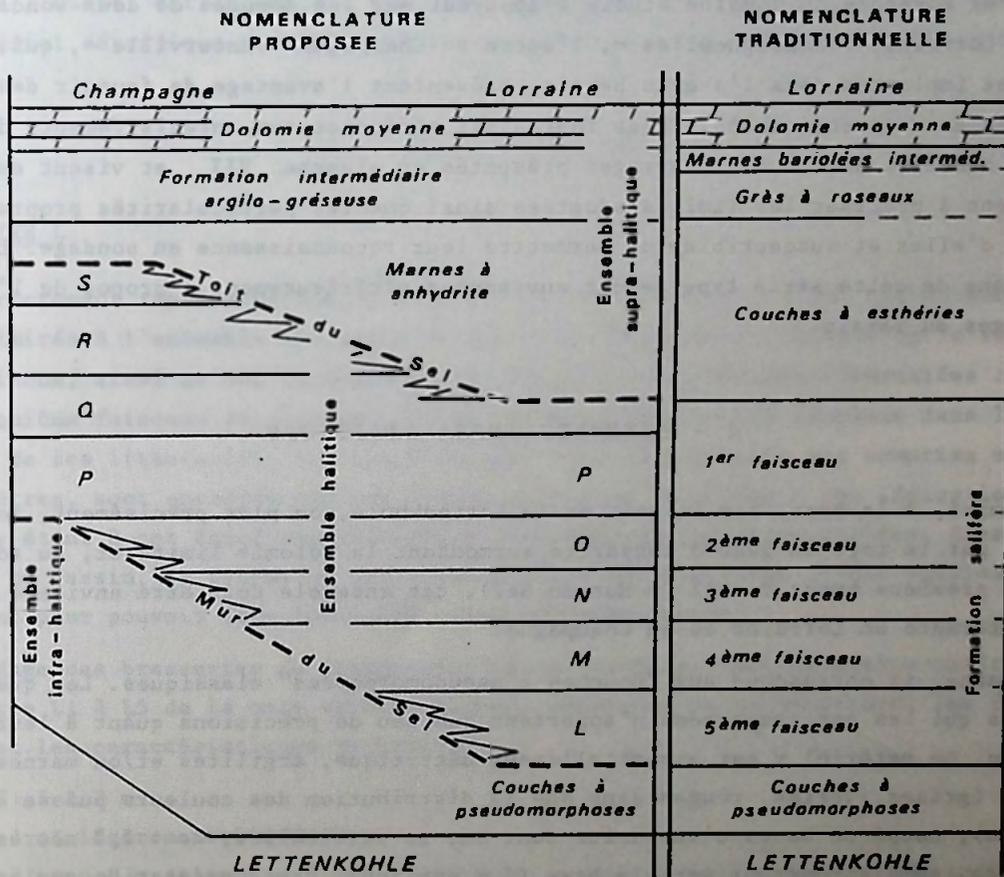


Fig. 9 - Découpage et nomenclature proposés pour les différentes formations constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes du bassin de Lorraine - Champagne.

- l'ensemble halitique, diachrone et en situation médiane, enveloppe les diverses couches de sel qui font l'originalité de cette série. Il est limité à la base et au sommet respectivement par le Mur du Sel et le Toit du Sel qui doivent être considérés comme de simples coupures faciologiques représentant l'interface entre les formations admettant du sel gemme et les formations voisines qui en sont dépourvues.
- l'ensemble infra - halitique à la base regroupe les lithofaciès stériles situés entre la Lettenkhole et le Mur du Sel.
- l'ensemble supra - halitique se développe au-dessus du Toit du Sel jusqu'au toit de la Dolomie moyenne.

NOTA : Les descriptions des différentes unités constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes du domaine étudié s'appuient sur les données de deux sondages, l'un en Lorraine - Champigneulle -, l'autre en Champagne - Ancerville -, qui, étant tous deux implantés dans l'axe du bassin, présentent l'avantage de fournir des coupes complètes et compréhensibles. Elles font ainsi référence aux enregistrements diagrammés habillés de ces deux ouvrages présentés en planche VII et visent essentiellement à préciser les limites adoptées ainsi que les particularités propres à chacune d'elles et susceptibles de permettre leur reconnaissance en sondage. Les évolutions de cette série type seront envisagées ultérieurement à propos de l'étude des marges du bassin.

A - ENSEMBLE INFRA-HALITIQUE

Limité, à la base, par le toit de la Lettenkhole, ou plus précisément, lorsqu'il existe, par le toit du banc d'anhydrite surmontant la Dolomie limite et, au sommet, par les premiers bancs de sel (= Mur du Sel), cet ensemble doit être envisagé de façon différente en Lorraine et en Champagne.

En Lorraine, il correspond aux "Couches à pseudomorphoses" classiques. Les quelques sondages qui les ont traversées n'apportent que peu de précisions quant à leur constitution. Le matériel y est essentiellement détritique, argilites et/ou marnes bariolées (grises, vertes, rouges sans que la distribution des couleurs puisse être précisée), coupé de bancs d'anhydrite dont un, en particulier, de 1 à 2 mètres de puissance, semble constant vers la base (5 m environ). Une constatation analogue a été faite en Alsace (Ricour, 1962) où un banc d'anhydrite de 1,1 m d'épaisseur est constant 5 mètres au-dessus de la Lettenkhole. Pour probable qu'elle soit, la continuité de ce banc d'anhydrite entre l'Alsace et la Lorraine n'a pas pu être établie

en raison de l'interruption des affleurements keupériens à hauteur des Vosges septentrionales. Il faut noter par ailleurs qu'il n'a pas été observé en Champagne, le sondage de Toul Domgermain étant le jalon le plus occidental où il a pu être reconnu. L'épaisseur totale de cette unité est voisine de 30 mètres.

En Champagne, où sa signification est *a priori* toute autre, l'ensemble infra - halitique est nettement plus épais (67 m à Ancerville). La faible différenciation des enregistrements diagraphiques analysés, à mettre en rapport avec une certaine monotonie des lithofaciès, n'a pas encore permis d'établir des subdivisions ou de réaliser des corrélations latérales valables. Au sein de ce complexe essentiellement argileux (ou marneux) et sulfaté, seuls quelques intervalles, plus argileux semble-t-il (repère *l*) ou anhydritique (repère *m*), peuvent être suivis localement. En direction de l'Ouest, cet ensemble s'épaissit légèrement (79 m à Lhuitre) et s'enrichit en matériel détritique terrigène plus grossier (silts ou sables à Mailly-le-Camp).

B - ENSEMBLE HALITIQUE

I - UNITE L

Strictement représentative du domaine lorrain, l'unité L a été conventionnellement limitée à l'ensemble des bancs de sel qui s'observent à la base de la série keupérienne, ainsi qu'aux formations argileuses et/ou marneuses intercalées : c'est le cinquième faisceau des auteurs. Cette unité se révèle très complexe dans l'agencement de ses lithofaciès. Les bancs de sel, dont la puissance est comprise entre 0,5 et 7 mètres, sont encadrés par des marnes grises ou bariolées - les indications de sondage étant à cet égard peu précises - d'épaisseurs également variées. Dans la zone axiale du bassin, le rythme de ces alternances s'est toutefois révélé suffisamment constant pour pouvoir être considéré comme caractéristique.

Au sondage des brasseries de Champigneulle par exemple, cinq ensembles halitiques, numérotés L1 à L5 de la base vers le sommet, peuvent être reconnus avec les épaisseurs et les caractéristiques suivantes :

- L1 : 1,5 à 2 m
- L2 : 3 m, légèrement bifide
- L3 : 7 m ou 8 m selon que l'on y incorpore ou non un petit banc de sel individualisé à la base
- L4 : 2 m
- L5 : 3 m, scindé en son milieu par un intercalaire argileux de 1 m d'épaisseur environ.

A condition de ne pas s'écarter de la zone centrale du bassin, les variations de cette architecture type sont peu importantes. Elles consistent essentiellement en une disparition des bancs minces extrêmes (L1 et/ou L5, sondage 17, Pl. III B par exemple) qui peut, bien souvent, dans le cas de sondages effectués sur le mode destructif surtout, être imputée à leur non reconnaissance en cuttings. Il faut également noter l'existence locale de un ou deux bancs minces supplémentaires de sel (0,5 m environ) entre les ensembles L3 et L4 (sondages 1, 2, 3 et 8, Pl. III A).

Dans le sondage de référence choisi, la puissance cumulée des bancs halitiques est de 16 m environ pour une épaisseur totale de l'unité de 33 mètres. A quelques mètres près, ces valeurs peuvent être considérées comme représentatives de l'unité L.

2 - UNITE M

L'unité M, ou quatrième faisceau - stérile - de la série, est représentée par un ensemble détritique hétérogène de marnes grises, vertes, brunes ou bariolées. Les sulfates imprègnent la masse, contribuant vraisemblablement pour une large part, en association très probable avec la dolomie, à l'induration du matériel argileux. Ils constituent également des bancs susceptibles d'être suivis latéralement sur des distances non négligeables. Tel est le cas par exemple de celui qui s'observe à Champigneulle à 11 mètres de la base (repère *m'*) et qui existe aussi à Toul Domgermain (sondage n° 1, Pl. III A ou n° 8, Pl. VI), Nancy et Tomblaine (respectivement sondages n° 2 et 3, Pl. III A). En tout état de cause cependant, les corrélations latérales des sulfates paraissent moins rigoureuses que celles des corps halitiques.

Par définition, cette unité est limitée à la base par le dernier niveau de sel de l'unité L et, au sommet, par le premier banc de sel de l'Unité suivante. Simple et surtout pratique dans l'étude de cas isolés, ce mode d'individualisation met en outre en évidence des variations d'épaisseur sensibles de l'unité M d'un sondage à un autre lors des tentatives de corrélations latérales : 21 m à Champigneulle, 31 m à Varangéville par exemple. Sans entrer dans les détails de ce problème qui sera développé à propos de l'étude des variations latérales de faciès, il faut noter que les variations d'épaisseurs de l'unité M sont liées à l'importance du développement du sel de l'unité N.

En Champagne, l'absence de l'unité L ne permet plus de reconnaître l'unité M. Peut-être est-elle incluse dans le complexe argileux et anhydritique situé sous le Sel, l'ensemble infra-halitique englobant alors, en plus de M, tout ou partie des Couches à pseudomorphoses, ou leur prolongement occidental, ainsi qu'un éventuel équivalent latéral stérile de l'unité L ? Aucun argument ne permet pour l'instant de conclure.

3 - UNITE N

Constituée par une suite de bancs épais de sel (désignés, de la base vers le sommet, N1, N2, N3 et N4) séparés par de minces intercalaires argileux (Na, Nb et Nc), l'unité N s'individualise nettement de l'unité sous-jacente stérile et de l'unité sus-jacente où les bancs de sel ne sont plus majoritaires. Rappelons que cette unité représente le 3ème faisceau (= "11ème couche" des exploitants lorrains).

A Champigneulle l'unité N accuse une épaisseur de 33 mètres. Cette valeur ne saurait toutefois constituer un critère de reconnaissance ou d'individualisation valable. En effet, d'après les données des sondages actuellement disponibles, sa puissance varie latéralement de façon sensible (20 mètres seulement à Varangéville par exemple) et la valeur relevée à Champigneulle semble devoir être considérée comme un maximum. Ces variations d'épaisseur se réalisent par disparition des corps salifères inférieurs et se font en sens inverse - ou de façon complémentaire - de celles déjà notées pour l'unité M, de sorte que l'épaisseur cumulée des unités M et N se révèle relativement constante et comprise entre 50 et 55 mètres. Ainsi, dans la zone d'extraction du sel, est-il possible de dire que la "11ème couche" ne correspond qu'aux corps halitiques N2, N3 et N4 et que les galeries de la mine de Varangéville, pourtant situées à la base du 3ème faisceau (Pl. III A-B), sont creusées dans N2.

Le paramètre "épaisseur" étant exclu, l'unité N sera néanmoins toujours aisément identifiable, sous l'unité O, par l'architecture de sa partie sommitale caractérisée par la présence d'intercalaires argileux à des emplacements constants au sein de la masse halitique.

Il est à noter à cet égard une certaine disparité entre les coupes lithologiques conventionnelles et les coupes établies d'après diagraphies. Les premières ne signalent que quelques intercalaires argileux, parfois un seul - le dernier, Nc -, parfois pas du tout, alors que les enregistrements diagraphiques révèlent la présence régulière et systématique de trois ou quatre interruptions dans la série halitique. Cela tient à deux faits :

- en cuttings, ces niveaux ne sont pas toujours repérés en raison de leur faible épaisseur,
- l'interprétation des diagraphies fait apparaître sous forme de passées argileuses des formations qui ne sont en fait que des niveaux de sel un peu plus argileux que les autres et qui peuvent ainsi passer inaperçus, même en sondage carotté.

4 - UNITE O

Quatre bancs, ou groupes de bancs, de sel gemme, constants en Lorraine et à travers une grande partie du domaine champenois et alternent avec des couches argileuses

en proportion sensiblement équivalente, caractérisent l'unité 0 qui s'individualise ainsi nettement au sein de l'ensemble halitique keupérien.

La limite supérieure a été placée au sommet du 4ème banc (= 04). Sa position peut *a priori* surprendre par le fait qu'elle correspond au mur d'un intervalle stérile d'importance modeste et non à celui des importantes masses de sel qui le surmontent immédiatement. La solution retenue répond en fait à un double objectif :

- en suivant de très près le découpage traditionnel, elle attribue à l'unité 0 un développement vertical peu différent de celui du classique 2ème faisceau,
- en plaçant la coupure à la base d'un lithofaciès argileux et non à son sommet comme cela était fait précédemment, sans doute avec la volonté de ranger le maximum de matériel détritique dans une unité habituellement qualifiée de stérile, cette façon de faire évite de dissocier deux termes, argilite et sel gemme, qui peuvent apparaître comme successifs dans une séquence détritico-chimique.

Ainsi définie, l'unité 0 accuse une épaisseur qui varie peu autour d'une valeur moyenne de 25 mètres.

Toujours aisément reconnaissable de façon globale par l'alternance marnes - sel, cette unité l'est également dans le détail par les caractères particuliers de ses composants. Ainsi, les bancs de sel gemme 01 et 02 sont toujours massifs - encore que les figures diagraphiques laissent prévoir l'existence de discontinuités constituées par des passées soit faiblement argileuses soit trop minces pour être franchement apparentes - alors que l'ensemble 03 est toujours nettement subdivisé en deux bancs, plus rarement en trois (Ancerville). De même, les intercalations 0a, 0b et 0c sont souvent représentées par des marnes rouges alors que les intercalaires des autres unités sont gris dans la grande majorité des cas. Peut-être ces lithofaciès détritiques n'ont-ils pas la même signification, c'est ce que tenteront de définir les études sédimentologiques ultérieures.

5 - UNITE P

Dans le domaine lorrain, les bancs massifs de sel gemme formant le sommet du gisement constituent un ensemble relativement homogène où toute subdivision semble à première vue difficile à établir. Toutefois, l'étude de son prolongement occidental (Pl. VI) montre que les derniers bancs de sel de Lorraine sont surmontés en Champagne par des formations halitiques considérables dont on ne trouve trace en Lorraine que de façon sporadique et sur des épaisseurs toujours modestes. La nécessité d'un fractionnement de ce Sel terminal s'est ainsi fait sentir et le choix d'une coupure a été orienté par la présence systématique, dans les sondages ayant traversé le gîte sali-

fère champenois, d'un banc de sel de 1 à 2 m d'épaisseur environ, encadré par deux couches de marnes n'excédant guère 1 m de puissance chacune, La limite supérieure de l'unité P a ainsi été placée à la base de la couche de marne supportant ce banc repère de sel gemme.

Ainsi délimitée, l'unité P se présente à Champigneulle sous une épaisseur de 35 mètres. Abstraction faite des amincissements qui seront discutés ultérieurement - et qui se manifestent dans le domaine lorrain essentiellement lorsque cette unité constitue le toit du gisement - la puissance de l'unité P ne varie guère que de 1 à 2 m autour de cette valeur qui peut être considérée comme représentative. Sept intercalations argileuses notées Pa à Pg et dont les puissances cumulées n'excèdent guère 5 m, coupent la masse de sel qui est ici nettement majoritaire (plus de 85 %). L'extension latérale de ces discontinuités ainsi que la constance de leur distribution verticale confèrent à cette unité une architecture tout à fait particulière la rendant facilement reconnaissable aussi bien en sondage conventionnel que sur seul enregistrement diagraphique. Ceci est particulièrement net pour Pf qui peut être suivi de Dieuze à Mailly-le-Camp (soit 180 km) à une vingtaine de mètres de la base de l'unité.

A noter enfin que l'unité P, ainsi que beaucoup plus rarement les derniers bancs de l'unité O, sont caractérisés par la présence de polyhalite en amas plus ou moins développés dans le sel.

6 - UNITE Q

A peine esquissée en Lorraine, cette unité prend tout son développement en Champagne. Aussi, sa définition, comme celle des unités halitiques suivantes, sera-t-elle argumentée par la coupe du sondage d'Ancerville implanté au coeur du domaine champenois.

Pour des raisons analogues à celles invoquées pour justifier la limite supérieure de l'unité P, le toit de l'unité Q a été placé à la base d'un intervalle stérile relativement important (6 m environ) et constant.

Quatre intercalations argileuse majeures (Qa à Qd) alternent avec quatre corps halitiques (Q1 à Q4) sur une épaisseur totale de 25 mètres. Tant du point de vue puissance globale que du point de vue agencement, cette unité se montre très constante en Champagne (Pl. VI). Tout au plus faut-il noter la disparition de Q1 à l'Ouest de Lhuitre et, au sein de Q3, l'individualisation plus nette à Soudron d'un intercalaire argileux supplémentaire qui n'était qu'ébauché ailleurs. Ces quelques variations qui

tendent à faire diminuer l'importance relative de la phase halitique ne doivent toutefois pas surprendre. En effet, aux modifications de la série type imputables à la situation du sondage de Soudron légèrement à l'écart de la zone axiale, s'ajoutent probablement celles qui sont dues à la proximité de la terminaison occidentale du domaine halitique.

En Lorraine, cette unité n'apparaît que localement et sous des épaisseurs réduites. La distribution du sel et la reconnaissance des intercalaires définis en Champagne permettent cependant d'affirmer que seule sa partie basale y est représentée et que les variations d'épaisseur constatées ne sont pas dues à une condensation globale de la série halitique mais à une absence des corps halitiques supérieurs. A noter enfin la présence fréquente de polyhalite dans les rares bancs rapportés à l'unité Q en Lorraine. Peut-être son absence en Champagne ne doit-elle être attribuée qu'à une analyse plus sommaire des cuttings ?

7 - UNITES R ET S

La série halitique de Champagne se termine par une importante masse de Sel pouvant dépasser 50 mètres de puissance et qu'il a été possible de subdiviser en deux unités par la présence, à son tiers supérieur, d'un intervalle stérile constant et relativement épais (3,5 m à Ancerville) : l'unité R (35 m) regroupe le Sel qui se développe jusqu'au mur de cet intervalle alors que l'unité S (22 m) correspond aux corps halitiques ultimes qui le surmontent.

C - ENSEMBLE SUPRA-HALITIQUE

Cette dénomination regroupe les différentes formations qui surmontent le Sel - à quelque unité qu'il appartienne - et terminent la série des Marnes irisées inférieures et moyennes. La limite inférieure en est représentée par le Toit du Sel. La diversité lithologique de cet ensemble qui associe marnes, anhydrite, grès et dolomie n'exclut pas pour autant une continuité latérale des différents constituants telle qu'il a été possible d'y individualiser trois unités toujours distinctes : les *Marnes à anhydrite* à la base, puis la *Formation intermédiaire argilo-gréseuse* et enfin la *Dolomie moyenne* au sommet. La logique d'une nomenclature homogène voudrait que l'indexation de ces formations par des lettres soit poursuivie ; afin de laisser aux corps halitiques toute leur singularité mais surtout, comme on le verra plus tard, en raison de la signification variable des Marnes à anhydrite selon leur situation dans le bassin, cette manière de faire n'a pas été retenue.

1 - LES MARNES A ANHYDRITE

Sur de nombreuses coupes lithologiques établies d'après cuttings, l'individualisation de cette unité peut paraître arbitraire en raison du brassage inévitable des débris de forage. Elle prend par contre toute sa signification sur les enregistrements diagraphiques où cette unité se signale toujours de façon évidente. Les diagraphies Gamma ray - Neutron du sondage de Champigneulle pris comme référence font ainsi apparaître, au dessus du Sel de l'unité Q, un ensemble se développant sur près de 45 mètres, constitué de marnes - que les cuttings révèlent diversement colorés, grises, rouges, vertes ou globalement bariolées - et coupé de niveaux sulfatés, anhydritiques à cette profondeur. L'alternance marnes - anhydrite, suggérée par les figures diagraphiques, y est si finement répétitive que la numérotation en vue d'un repérage des niveaux sulfatés semble ici illusoire et seul les bancs majeurs ont été individualisés. Tout au plus, faut-il noter que l'anhydrite est sensiblement plus fréquente dans la moitié supérieure de l'unité et que cette dernière se termine, sur les cinq derniers mètres environ, par une série de bancs d'anhydrite suffisamment serrés pour paraître à première vue contigus.

En Lorraine, dans la zone axiale du bassin du moins, les Marnes à anhydrite se suivent d'un sondage à l'autre sans variation de puissance notable. La continuité latérale s'observe également à l'échelon des bancs anhydritiques majeurs, qui n'excèdent pourtant pas quelques mètres de puissance, sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres (intervalles 1 - 2 : Toul Domgermain - Nancy, et 2 - 3 : Nancy - Tomblaine, Pl. III A ; 8 - 9 : Toul Domgermain - Champigneulle, et 9 - 10 : Champigneulle - Agincourt, Pl. VI par exemple). En Champagne par contre, toujours dans la zone axiale du bassin, cette unité est réduite à 5 ou 10 m d'une formation où l'anhydrite prédomine largement et qui peut-être considérée comme le prolongement du complexe anhydritique terminal reconnu en Lorraine.

2 - LA FORMATION INTERMEDIAIRE ARGIL-GRÉSEUSE

Comme son nom l'indique cette unité regroupe essentiellement le Grès à roseaux et les Marnes bariolées intermédiaires*. Elle est caractérisée par l'absence de forma-

* Cette nomenclature ne vise absolument pas à supprimer l'appellation "Grès à roseaux" qui garde toute sa valeur et sera toujours utilisée lorsque la formation gréseuse - ou son équivalent latéral - pourra être reconnue. Elle n'a pour objet que d'individualiser une unité qui, lithologiquement, est nettement différenciée des formations encaissantes et qui, d'un point de vue génétique, correspond à un changement profond dans les conditions de sédimentation.

tions évaporitiques et, encadrée par des bancs d'anhydrite de l'unité sous-jacente et la Dolomie moyenne qui lui fait suite, elle est en principe aisément reconnaissable en sondage.

Ceci est particulièrement vrai pour les enregistrements diagraphiques qui révèlent une forte argilosité, matérialisée par une faible résistivité (Latéolog) et une forte radioactivité naturelle (Gamma ray), encore accentuée au niveau des formations gréseuses (K, Zi...) et des passées de matières organiques (U) du Grès à roseaux. Sur les coupes établies d'après la seule analyse de cuttings, plusieurs facteurs font que son individualisation est souvent moins franche. Le Grès à roseaux peut se réduire latéralement à des argilites faiblement silteuses ou même simplement micacées (muscovite) pouvant passer inaperçues dans les déblais (= faciès latéral). Le développement diagénétique du gypse, fibreux ou lamellaire mais pas toujours signalé comme tel dans les coupes de sondages, oblitère parfois le contraste naturel existant entre les lithofaciès de cette unité et ceux de l'unité anhydritique sous-jacente. En sondage destructif enfin, les lithofaciès de la base de la Dolomie moyenne ne sont pas toujours très bien reconnus en raison de leur faible induration due à une argilosité importante.

Dans l'axe du bassin, en Lorraine comme en Champagne, la Formation intermédiaire argilo-gréseuse accuse une puissance de l'ordre de 10 à 15 m pouvant être considérée comme minimale. Dans ces conditions, le Grès à roseaux sous son faciès gréseux est réduit à quelques mètres ou même absent.

3 - LA DOLOMIE MOYENNE

Cette formation, dont la valeur en tant qu'horizon - repère dans toute la partie orientale du Bassin parisien n'est plus à démontrer, ne justifie pas un long développement dans le cadre de ce travail.

Seul lithofaciès carbonaté et bien induré dans un contexte essentiellement argileux, la Dolomie moyenne est toujours bien repérée dans les coupes des sondages conventionnels, avec son "chapeau d'anhydrite" lorsque le recouvrement est suffisant pour éviter sa dissolution par les eaux de percolation. Elle est également facilement identifiable sur les enregistrements diagraphiques, tant électriques que nucléaires, par les figures tout à fait caractéristiques qu'elle y provoque et qui attestent la présence fréquente d'un intercalaire argileux à son tiers inférieur.

L'épaisseur moyenne de cette unité est de l'ordre de 8 à 10 m, pouvant se réduire à 5 ou 7 m au voisinage des zones d'affleurement par disparition de l'anhydrite terminale.

D - CONCLUSION

La série type qui vient d'être définie propose un nouveau découpage des Marnes irisées keupériennes, inférieures et moyennes, en unités d'importance sensiblement équivalente et assorties d'une nomenclature simple, conforme à la chronologie des dépôts et utilisable à l'échelle du bassin tout entier.

Les unités inférieures, indexées de la base vers le sommet par les lettres L à S, correspondent à la formation salifère proprement dite - sel gemme - qui se développe de façon diachrone à travers le domaine de Lorraine - Champagne. Les unités suivantes, Marnes à anhydrite, formation intermédiaire argilo-gréseuse et Dolomie moyenne enfin, représentent la couverture stérile du gîte halitique.

L'individualisation de ces différentes unités repose uniquement sur des critères lithologiques, chacune étant caractérisée - pour les unités halitiques surtout - plus par l'agencement particulier de ses lithofaciès que par sa lithologie globale. Dans le cas de la série sédimentaire étudiée, ces caractéristiques architecturales sont fidèlement restituées par les divers enregistrements diagrapiques actuellement réalisés de façon courante dans les ouvrages d'une certaine importance.

Les applications pratiques de cette particularité sont de plusieurs ordres :

- chaque unité apparaît caractérisée par un "profil diagrapique" propre, présentant suffisamment de signes particuliers pour qu'elle soit identifiable, même prise isolément. Bien entendu, la diagnose sera d'autant plus facile et fiable que l'unité considérée sera replacée dans son contexte sédimentaire global et/ou qu'elle se présentera sous son développement maximum.

C'est ainsi par exemple qu'il est possible d'affirmer que, sur la figure 2, le Sel reconnu appartient aux unités L et N, laquelle est tronquée à son sommet essentiellement et directement surmontée par les Marnes à anhydrite.

- Dans un domaine d'étude limité dont la série lithostratigraphique est connue, à la faveur d'un sondage carotté par exemple, il est possible de mener des études, lithostratigraphiques et structurales essentiellement, en se fondant uniquement sur des documents diagrapiques. C'est ainsi qu'ont été conduites les analyses présentées dans les chapitres suivants et qui visent à préciser les modalités de l'évolution latérale de cette série type.

D'un point de vue plus concret, concernant par exemple la définition de zones d'exploitabilité maximale du gisement salifère lorrain ou l'explication d'anomalies

sismiques constatées au cours de campagne de reconnaissance structurale, cette façon de faire devrait avantageusement permettre de réduire au minimum le nombre des sondages carottés dits "de référence".

IV - EVOLUTION LATÉRALE DE LA SÉRIE TYPE

La série lithostratigraphique ainsi définie ne constitue qu'une série type de référence. Certes elle se retrouve presque intégralement dans bon nombre de coupes de sondages effectués dans la partie centrale du bassin, mais elle accuse aussi de larges variations au niveau des bordures et de certains "accidents" intérieurs au bassin. Ces divers aspects ont été analysés en Lorraine d'abord, en raison du nombre élevé de sondages disponibles, en Champagne ensuite.

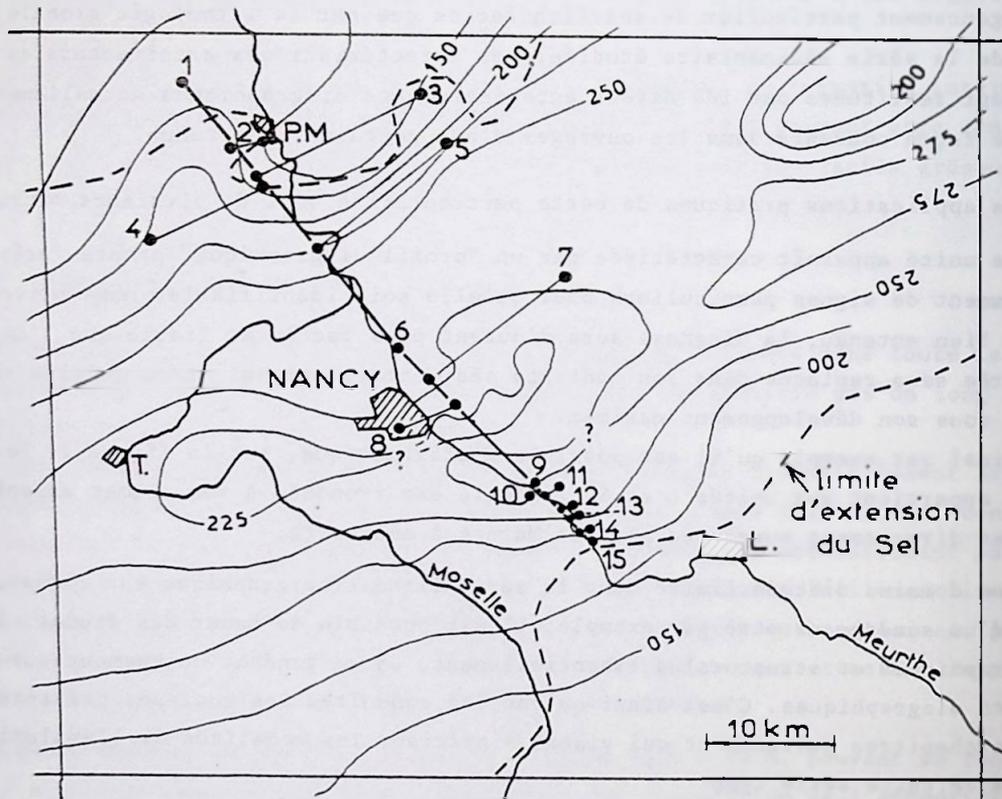


Fig. 10 - Le bassin salifère lorrain.
Localisation du profil présenté Planche VIII.

A - LE DOMAINE LORRAIN

1 - ASPECT GEOMETRIQUE GLOBAL

Considéré dans son ensemble, le bassin salifère lorrain présente un allongement de direction sensiblement NE - SW, les limites d'extension du Sel se superposant approximativement aux courbes isopaques 175 m des Marnes irisées inférieures et moyennes qui passent par Pont-à-Mousson au Nord et Lunéville au Sud (fig. 10 et localisation Pl. II). Le profil planche VIII, orienté NW - SE, restitue approximativement* la géométrie de ce bassin en coupe transversale.

Toujours en considérant la Dolomie moyenne comme une formation originellement horizontale, l'ensemble halitique keupérien affecte la forme d'une très large "lentille" à base légèrement concave vers le haut, à sommet quasiment horizontal et brutalement amincie sur les bords.

Si, dans la partie centrale du profil, entre les sondages 4 (Domèvre-en-Haye) et 10 (Saint-Nicolas - Varangéville) inclus, les corrélations ont pu être facilement réalisées, l'intervalle considéré correspondant à la zone centrale du bassin où les différentes unités sont bien développées et aisément reconnaissables, certaines difficultés ont été rencontrées à ses extrémités pour établir les modalités de cette réduction d'épaisseur marginale. A hauteur de la bordure septentrionale, elles tiennent au nombre réduit des sondages dont les coupes sont de surcroît souvent sommaires. L'imprécision qui en résulte ne pourra être levée que par la réalisation d'ouvrages nouveaux. Sur la bordure méridionale, les problèmes sont d'un autre ordre et sont liés à l'érosion de la Dolomie moyenne qui rend le calage des coupes difficile. C'est par extrapolation à partir des courbes isohypses du toit de cette formation portées sur les cartes à 1/50 000 NANCY (Le Roux *et al.* 1978) et BAYON (Marchal et Allouc, 1977) que le positionnement des coupes au delà de sa zone d'affleurement a pu être réalisé.

Dans ces conditions, l'amincissement du Sel sur les marges du bassin, qui se fait conjointement à une diminution globale d'épaisseur de la série, semble résulter de deux phénomènes concomitants : redressement du Mur du Sel (ou de l'unité L) d'une part,

* Le non alignement des sondages a, en effet, nécessité le rabattement de leurs points d'implantation sur le tracé rectiligne du profil présenté. Bien que cette opération ait été réalisée parallèlement à la structure générale, il est possible qu'elle ait provoqué certaines distorsions.

abaissement rapide du Toit du Sel d'autre part.

Ce dernier point constitue un fait capital qu'il a paru nécessaire de préciser et c'est tout naturellement la marge méridionale largement explorée par sondages qui a été retenue pour une étude de détail.

2 - MARGE MERIDIONALE DU GISEMENT HALITIQUE

Huit sondages, tous exécutés pour la recherche ou l'exploitation du sel gemme (fig. 11 et tableau D), ont été utilisés pour la réalisation d'un profil transversal de la marge sud du gisement. Parmi ces ouvrages, dont le choix a été principalement guidé par la qualité des coupes fournies (carottage et/ou diagraphies), deux seulement ont atteint l'unité L. Cet état de fait est hélas fréquent dans une région où l'unité N constitue le siège essentiel de l'exploitation du Sel. Eu égard à la constance de l'unité L constatée en Lorraine - même à proximité des marges - et à celle des formations qui l'encadrent, le Mur du Sel a été tracé de façon à limiter, ne serait-ce qu'approximativement, l'ensemble halitique dans ce secteur. De la même manière, c'est-à-dire en attribuant aux Couches à pseudomorphoses une épaisseur sensiblement constante, le Toit de la Lettenkohle a été représenté afin de matérialiser les variations de puissance globales de la série des Marnes irisées inférieures et moyennes.

Plusieurs faits ressortent de l'analyse de ce profil réalisé à peu près perpendiculairement à la structure d'ensemble (Pl. IX) :

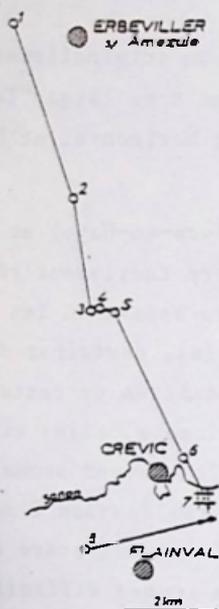


Fig. 11 - Implantation des sondages du profil présenté Planche IX.

1 - Du Nord vers le Sud, c'est-à-dire au fur et à

Sur la coupe 4 (sondage SG.2 de Gellenoncourt), l'absence d'informations pour la tranche de terrains comprise entre les profondeurs 348 m et 353,90 m (destruction de la carotte n° 32 pendant le transport avant son dépouillement) ne permet pas de savoir si le banc L1 existe réellement ou non. De la même façon, peut-être l'absence de L1 sur la coupe 8 (sondage de Dombasle effectué par battage) n'est-elle qu'apparente, soit qu'il ait été intégré dans les 2,85 m de "gypse gris salé" signalés à la base, soit que le sondage ait été arrêté avant de l'avoir atteint ? Devant ces incertitudes, le Mur du Sel a été placé à la base de L2 et extrapolé dans cette position pour l'ensemble du profil.

mesure que l'on s'approche de la bordure, la série étudiée subit globalement une diminution d'épaisseur qui s'accélère au delà du sondage de Crévic (6) et plus encore, semble-t-il, au Sud de la coupe 7. Dans l'état actuel du profil, elle atteint 57 m environ sur l'intervalle total considéré, soit une douzaine de kilomètres. Compte tenu du mode de représentation adopté (Toit de la Dolomie moyenne horizontal), cela se traduit par un redressement du Toit de la Lettenkohle associé à une remontée du Mur du Sel à l'extrémité sud du profil.

L'accentuation des pendages à l'extrémité sud du profil qui conduit à des valeurs de 4 % entre les coupes 7 et 8, alors que la valeur moyenne pour l'ensemble de l'intervalle 1 - 8 n'est que de 0,46 %, est peut-être un artéfact dû à un positionnement erroné de la coupe 8. Il est en effet possible d'invoquer :

- un calage imparfait de la coupe 8 consécutif à une extrapolation "trop haute" du Toit de la Dolomie moyenne disparue par érosion à cet endroit et/ou
- un rabattement inexact du point d'implantation de ce sondage sur l'axe du profil ayant minimisé la distance 7 - 8.

Quoi qu'il en soit, ces imprécisions n'altèrent que très peu la configuration générale du Mur du Sel - ni celle du Toit de la Lettenkohle -, cette dernière matérialisant les manifestations d'une subsidence restée faiblement différentielle au cours du dépôt des Marnes irisées inférieures et moyennes.

2 - D'une façon opposée, toujours du Nord vers le Sud, le Toit du Sel s'abaisse, d'abord faiblement et régulièrement (intervalle 1 - 6), puis plus brutalement entre les sondages 6 et 8. Dans le détail, cette attitude résulte de la disparition progressive, du centre vers le bord du bassin, des couches de sel sommitales. Les enregistrements diagraphiques sont à cet égard très significatifs :

- l'unité L existe seule à l'aplomb de Dombasle (coupe 8) où, par rapport à la coupe 4, elle est amputée de ses bancs de sel sommitaux L5 ;
- l'unité N, semblable à elle-même dans les 7 premiers sondages où elle est privée de l'assise N1, disparaît brutalement entre les coupes 7 et 8, soit sur une distance (virtuelle) de 500 mètres ;
- De la même façon, l'unité O, également toujours semblable à elle-même, disparaît rapidement, c'est-à-dire sur 1 km, entre les coupes 6 et 7 ;
- la coupe 5 montre une unité P réduite à sa partie basale alors qu'elle est limitée à sa moitié inférieure sur la coupe 4 distance de 300 m, et seulement légèrement tronquée à son sommet sur la coupe 3 à 200 m plus loin. Cette même unité apparaît plus au Nord, dans son intégralité sur les coupes 2 et 1 où elle est alors surmontée par la base de l'unité Q.

Les unités halitiques successives L, N, O, P et Q présentent ainsi une extension progressivement réduite des marges vers le centre du bassin et s'emboîtent à la manière

d'assiettes de tailles décroissantes empilées les unes sur les autres. Cette image doit être précisée par le fait capital suivant : lorsqu'une unité s'amenuise progressivement, cela étant particulièrement net pour l'unité P, elle le fait par disparition des bancs de sel du sommet sans que le reste de l'unité subisse une quelconque modification de son architecture. Ce sont, en fait, non pas les unités halitiques mais les bancs de sel qui les constituent qui devraient être comparés à des assiettes empilées.

3 - Les Marnes à anhydrite subissent, elles aussi, des modifications qui, pour moins spectaculaires qu'elles soient, n'en sont pas moins fondamentales. Exception faite pour la coupe 1 où leur toit n'est peut-être pas placé avec précision, ces Marnes augmentent régulièrement d'épaisseur du Nord vers le Sud en subissant des modifications lithologiques sensibles :

- entre les coupes 2 - où elle accuse une épaisseur de 37 m - et 5 - où elle atteint 41,5 m - la formation s'épaissit progressivement avec un enrichissement de la base en sulfates sous forme de nouvelles couches anhydritiques. Il faut noter que cette évolution latérale se développe parallèlement à la disparition de l'unité Q et à un amincissement de Sel de l'unité P, ceci étant particulièrement visible sur les coupes 2, 3 et 4.

- Au niveau des coupes 6, 7 et 8, c'est-à-dire davantage vers la marge du bassin, l'anhydrite semble diminuer d'importance. En admettant même que leur distribution ait été légèrement exagérée dans l'interprétation des diagraphies sur les coupes précédentes, les bancs d'anhydrite sont plus rares. Inversement les lithofaciès argileux se développent davantage et peuvent présenter localement des intercalations détritiques plus grossières (grès gypseux et argileux entre 51 et 57 m de profondeur sur la coupe 8).

Parallèlement à cette diminution de l'anhydrite, il faut signaler l'augmentation du gypse dans la transcription des coupes lithologiques des sondages 5 et surtout 6, 7 et 8. Peut-être s'agit-il d'un remplacement sous l'effet d'une hydratation ? Il ne serait alors pas total car quelques bancs anhydritiques demeurent. Peut-être aussi correspond-elle à une mobilisation des sulfates et au développement de gypse secondaire ? Les coupes consultées ne le précisent pas.

Dans ces deux éventualités, les eaux de percolation seraient à l'origine de ces modifications, leur action sur les sulfates étant facilitée par la plus grande proximité de la surface topographique pour les ouvrages 6, 7 et 8.

- Notons enfin que la polyhalite (P), assez systématiquement présente dans la partie supérieure de la série halitique lorraine (unités P et Q) est associée au Sel terminal sur la coupe 3, aux couches tout à fait inférieures des Marnes à anhydrite sur la coupe 4 et occupe une position apparemment plus élevée dans ces mêmes Marnes sur la coupe 5.

4 - Parallèlement et de façon plus sensible, la puissance de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse augmente du Nord vers le Sud. En se fondant sur les coupes lithologiques établies d'après cuttings (2, 4 et 5) ou carottage (1 et 6), cet épaissement correspond à un engraissement du faciès gréseux du Grès à roseaux.

5 - Quant à la Dolomie moyenne, elle ne subit pas de variations notables. Tout au plus faut-il remarquer que sous un recouvrement faible (11 m au sondage 7 par exemple), elle est dépourvue de son "chapeau" d'anhydrite, vraisemblablement disparu par dissolution. Sur cette bordure sud du gisement halitique, de même que dans la zone axiale du bassin, il n'existe donc pas de relation entre la puissance de la Dolomie moyenne et celle du Grès à roseaux sous-jacent.

3 - LES "ACCIDENTS" INTRA-BASSIN

Une des grandes caractéristiques du gîte halitique lorrain est de présenter un Toit plan et sensiblement parallèle à la Dolomie moyenne, tout au moins dans la zone centrale du bassin, quel que soit le développement des unités sous-jacentes (Pl. III A-B). Cette disposition admet cependant des exceptions - coupe 4, planche III A par exemple - où le Toit du Sel enregistre un approfondissement relatif consécutif à une réduction des unités halitiques terminales (P et Q) doublée d'un épaissement de l'ensemble supra-halitique et associée à une diminution globale de puissance de la série considérée. Cette particularité a été observée de façon particulièrement nette dans la région de Cerville (Est de Nancy) et se trouve illustrée par le profil présenté planche X (implantation des sondages fig. 12 et Pl. XI).

La région de Cerville est connue pour sa structure en dôme, ce qui a motivé, dès 1955, sa prospection pour la recherche d'hydrocarbures (sondage de Cercueil - ancienne dénomination de Cerville -, L.C.L., S.N.P.A.). Depuis une vingtaine d'années, l'étude de cette structure a été reprise par Gaz de France en vue de la réalisation d'un réservoir souterrain de stockage de gaz dans les formations poreuses du Grès à Voltzia. Les nombreux sondages exécutés à cet effet, doublés d'enregistrements diagraphiques, ont permis de préciser la structure profonde tout en apportant des informations précises sur la série keupérienne. L'analyse de 15 de ces sondages, ainsi que de la quasi-totalité des autres ouvrages réalisés dans la région (eau et sel gemme surtout) permet de constater que l'extension des unités halitiques ne présente pas la régularité que pouvait laisser supposer la situation de ce secteur à proximité de la zone axiale du bassin.

En dépit de l'absence d'information sur la bordure nord, entre Agincourt et Champenoux essentiellement, la cartographie des zones d'extension des différentes unités

halitiques formant le toit du gisement salifère a été tentée (fig. 12). Le domaine de Cerville apparaît ainsi comme une sorte "d'îlot" où l'unité P forme le toit du gisement - ce qui est normal en Lorraine -, cerné par une bandelette d'unité Q et percé dans sa région centrale par une "fenêtre" montrant les unités O et même N. Le profil planche X, orienté globalement W - E et qui joint les sondages VA 9, VA 16, VA 1, VA 11 et Erbéviller 230 - 3 - 102 (= ERB.) illustre les particularités de la série salifère à l'aplomb de cette fenêtre.

Les enseignements qu'il apporte sont multiples et seront repris ultérieurement lors de la discussion des questions relatives aux équivalents latéraux du Sel et dans le

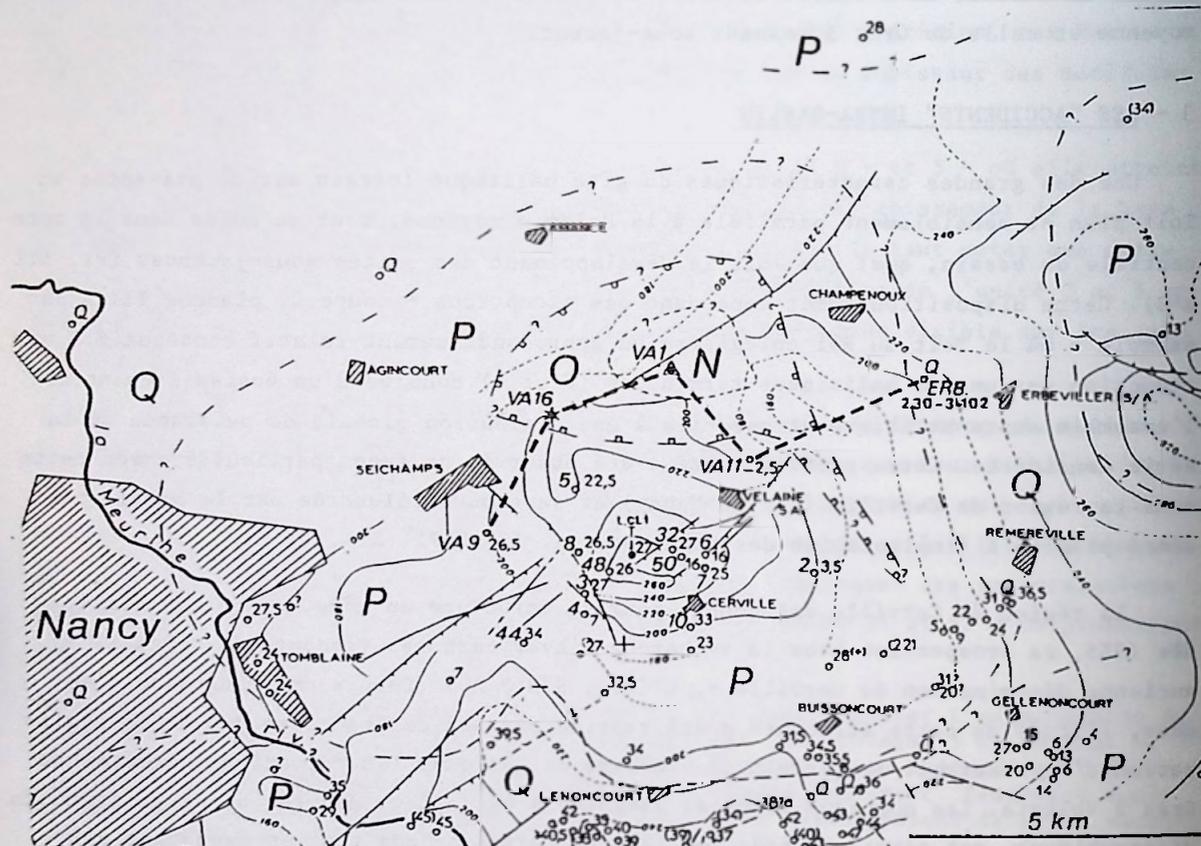


Fig. 12 - Site de Cerville et tracé du profil présenté Planche X.

Les contours portés sur cette figure représentent les limites d'extension des différentes unités halitiques (N - O - P ou Q) présentes au toit de la formation salifère. Les valeurs en regard des points de sondages précisent l'épaisseur cumulée des unités halitiques surmontant l'unité O. Les valeurs entre parenthèses sont extrapolées, les sondages n'ayant pas traversé la totalité de ces unités. Parfois, lorsque l'appartenance du Sel terminal à l'unité Q est certaine, seule la lettre Q a été indiquée.

chapitre "Evolution paléogéographique". Pour ne retenir que ceux ayant trait à la simple géométrie des corps sédimentaires, il faut noter les faits essentiels suivants :

- d'une façon générale, les différentes unités, stériles et halitiques, s'écartent peu de leur architecture type précédemment définie et sont de ce fait reconnaissables sans difficulté.

- les corrélations qui ont pu être établies entre ces cinq puits mettent en évidence une bonne continuité latérale des formations au sein de la partie basale de la série - jusqu'à l'unité N incluse - alors que la partie sommitale est caractérisée par une attitude sécante du Toit du Sel qui accuse une dépression maximale en VA 1.

Dans le détail, l'architecture des Marnes irisées inférieures et moyennes, qui ne subissent d'ailleurs pas de variations d'épaisseur réellement significatives, peut se décomposer ainsi :

- les Couches à pseudomorphoses, où le banc anhydritique basal est toujours présent, sont amincies en VA 9 (24 m seulement) par rapport en VA 1 (36 m).

- l'unité L est partout privée de ses bancs de sel extrêmes (L1 et L5) et encore diminuée en VA 9 par réduction de L2.

- l'unité stérile M, à l'intérieur de laquelle les bancs d'anhydrite semblent pouvoir être corrélés, accuse une puissance minimale en VA 1, soit 24,5 m (30,5 en VA 9, 32 m en VA 16, 35 m en VA 11).

- l'unité N est systématiquement dépourvue de sa base N1 sauf en VA 1 où les deux bancs de sel inférieurs peuvent en être considérés comme l'équivalent. Dans ce même puits, où le Toit du Sel correspond au sommet de N3, elle est à l'inverse amputée de son assise terminale N4.

- les unités halitiques supérieures, O et P, constantes et conformes à leur définition par ailleurs, disparaissent successivement à l'approche de VA 1.

- les Marnes à anhydrite gardent une épaisseur sensiblement constante, légèrement plus forte toutefois au voisinage de VA 1, et une de leurs caractéristiques essentielles réside dans la possibilité d'y établir des corrélations latérales satisfaisantes entre les bancs d'anhydrite.

- la Formation intermédiaire argilo-gréseuse présente un développement compensateur de la dépression du Toit du Sel, maximum en VA 1. Bien que les enregistrements diagraphiques traduisent encore une argilosité importante, les lithofaciès gréseux s'y développent davantage, en VA 1 surtout, et rappellent l'organisation particulière

constatée précédemment au niveau de la bordure du domaine halitique.

Ainsi, de VA 9 ou de ERB. vers VA 1, ce profil reproduit en première approximation les variations de la série halitique constatées à l'approche des marges du bassin, c'est-à-dire disparition des couches de sel sommitales sans que la base de la série soit notablement perturbée. Ici encore, il s'agit d'une simple troncature du sommet de la série salifère et non d'une condensation globale. Toutefois, le développement sensiblement moindre des lithofaciès gréseux au sein de la Formation intermédiaire d'une part, et surtout le fait que le sondage VA 1 soit environné de toutes parts par des sondages montrant une série halitique "lorraine" complète d'autre part, interdisent d'assimiler le site de Cerville à une véritable zone bordière.

Il demeure que la ressemblance entre ces deux séries, série de bordure du domaine halitique d'une part et série de type Cerville d'autre part, est étonnante. Aussi, est-il logique d'envisager *a priori* pour de tels sites intérieurs au domaine halitique une paléogéographie circonscrite reproduisant à sa périphérie un faciès marginal et évoquant, sinon une île, du moins une élévation du fond du bassin où le dépôt du sel n'aurait pas eu lieu. Dans cette hypothèse, la réalisation de ce "haut-fond" se serait faite progressivement, débutant en VA 1 à la fin du dépôt de N_3 et s'étendant ensuite latéralement pour atteindre VA 16 à la fin de O et VA 11 pendant la formation de la partie tout à fait basale de P.

Pour tentante qu'elle soit, cette conception ne saurait être immédiatement retenue. Elle est en effet dangereuse pour les deux raisons essentielles suivantes :

- le terme "bordure" appliqué au domaine halitique ne signifie pas marge du bassin de sédimentation car entre ces deux frontières existait un domaine où se sont déposés les détritiques qui cernent le Sel. Et en l'absence d'arguments bathymétriques valables, il n'est pas permis de dire qu'à hauteur de la bordure d'un corps halitique, la profondeur était moindre qu'en son centre.

- elle incite par ailleurs à admettre que l'extension actuelle du Sel est le reflet fidèle de sa distribution originelle en éliminant d'emblée la possibilité de sa modification par l'effet d'une dissolution plus ou moins tardive par exemple. Cette éventualité est en effet envisageable et sera discutée ultérieurement dans le chapitre "Signification de Toit du Sel".

Aussi, pour ne pas utiliser une terminologie trop génétiquement évocatrice, ces "accidents" intra-bassin ont-ils été simplement qualifiés de "fenêtres" halitiques.

Une géométrie du Sel assez semblable a été mise en évidence dans le secteur de Villey-le-Sec (Pl. IV) : au sondage L.VS.L1, l'unité halitique Q est en effet absente

et l'unité P sous-jacente, elle-même réduite à sa partie basale, constitue le sommet de la série halitique. Cette disposition s'écarte toutefois sensiblement du cas précédent par le fait que la diminution d'épaisseur de l'ensemble halitique, consécutive à la troncature de son sommet, n'est pas compensée par un épaissement de l'ensemble supra-halitique. Les Marnes à anhydrite gardent une épaisseur constante ainsi que la Formation intermédiaire argilo-gréseuse pour laquelle, de surcroît, aucun enrichissement de la phase silteuse ou gréseuse ne peut être noté. Toujours par rapport à la Dolomie moyenne prise comme *datum* horizontal, cela se traduit par une attitude plane et horizontale du Toit du Sel et par une élévation du toit de la Lettenkohle.

En raison des similitudes qui l'apparentent au domaine de Cerville et toujours avec le souci de ne pas préjuger des modalités de réalisation de sa géométrie particulière (distribution du sel originelle ou non en particulier), le site de Villey-le-Sec a également été qualifié de "fenêtre". La morphologie du Toit du Sel propre à chacun de ces deux cas impose cependant une discrimination et dans ce but le premier (Cerville) a été qualifié de "*fenêtre à Toit du Sel déprimé*", le second (Villey-le-Sec) de "*fenêtre à Toit du Sel plan*".

4 - GENERALISATION

Les corrélations présentées pour argumenter les modalités de l'évolution de la série keupérienne en Lorraine ne constituent que quelques exemples ponctuels des multiples confrontations de coupes effectuées par ailleurs et les constatations qui ont pu y être faites se sont révélées généralisables. Elles sont de trois ordres :

1 - En quelque endroit du domaine salifère lorrain que soit implanté un sondage, les différentes unités halitiques se rencontrent avec un nombre suffisamment important de caractéristiques pour être aisément identifiables. Les variations latérales de la série type ne résident donc pas, pour l'essentiel, en une modification de l'architecture de ses unités constitutives. Tout au plus peut-on constater l'absence de certains bancs de sel extrêmes, L1, L5 et N1 le plus souvent.

2 - A l'approche des bordures du gîte salifère ou de certains "accidents" intérieurs qualifiés de "fenêtres", les différentes unités halitiques diminuent progressivement d'épaisseur jusqu'à leur effacement total. Ce phénomène se réalise toujours par disparition successive des bancs de sel les plus récents de la dernière unité halitique du gisement. Ainsi, dans le domaine lorrain, les variations latérales que peut subir la série type consistent en une troncature affectant le sommet de la série halitique à un niveau d'autant plus bas que l'on se trouve proche des marges du gisement, sans que soit modifiée notablement l'architecture de la fraction basale restante.

3 - A de rares exceptions près - Villey-le-Sec par exemple - les augmentations de puissance enregistrées par les lithofaciès stériles qui surmontent le Sel et qui constituent les Marnes à anhydrite et la Formation intermédiaire argilo-gréseuse correspondent à des réductions d'épaisseur du Sel sous-jacent, elles-mêmes consécutives à l'absence des bancs ou des unités halitiques les plus élevés. D'une façon pratique, ceci peut se traduire par la formule : *plus le Sel est profond par rapport à la Dolomie moyenne, plus il appartient à une unité basse de la série keupérienne.* Sans avoir pour autant la rigueur d'une loi mathématique, cette constatation offre cependant la possibilité d'une interprétation meilleure des coupes d'un certain nombre de sondages de reconnaissance arrêtés au Toit du Sel et, par référence à des sondages voisins compréhensibles utilisés comme étalons locaux, il devient possible de préciser la situation lithostratigraphique du Sel atteint. C'est ainsi que la cartographie de l'extension des différentes unités halitiques a été possible. La planche XI qui couvre la feuille à 1/50 000 NANCY montre ainsi clairement l'effacement progressif du Sel terminal à l'approche des bordures du gisement. Cette technique a été étendue à l'ensemble du domaine lorrain dont les particularités géométriques d'ensemble seront analysées dans le cadre général du bassin de Lorraine - Champagne (Pl. XIII).

B - LE DOMAINE CHAMPENOIS

Remarque préliminaire : Les informations relatives à ce domaine sont exclusivement fournies par les coupes des sondages effectués en Champagne pour la recherche d'hydrocarbures. Si les données sont de meilleure qualité - ces ouvrages profonds ayant fait l'objet d'enregistrements diagaphiques - et plus complètes - les sondages ayant atteint le Sel l'ont traversé en totalité -, elles présentent malheureusement une densité beaucoup plus faible qu'en Lorraine. Les enseignements qui en ont été tirés sont donc perfectibles et pourront être affinés dans l'avenir à la lumière des renseignements apportés par tout nouvel ouvrage.

La série keupérienne de Champagne diffère de la série lorraine par les points essentiels suivants (Pl. VI et VII) :

- absence systématique de l'unité halitique basale (= 5ème faisceau) ;
- disparition progressive des unités N et O (3ème et 2ème faisceaux) ;
- développement supplémentaire des unités Q (uniquement représentée en Lorraine par ses assises de base), R et S ;
- réduction sensible enfin des Marnes à anhydrite qui ne sont représentées que par quelques mètres assimilables au sommet de la formation de type lorrain.

1 - EXTREMITE OCCIDENTALE

Déjà abordée lors de l'étude des corrélations "Lorraine - Champagne" (Pl. VI), l'évolution de la série keupérienne en direction de l'Ouest peut être complétée par la prise en considération de l'intervalle Mailly-le-Camp - Corfélix. La rareté des données de sondage dans ce secteur, traduite par les distances considérables entre les puits, ne permet pas d'établir avec précision la géométrie des corps halitiques au voisinage de cette extrémité distale du gîte et les enseignements qu'apportent les quelques coupes disponibles doivent tout au plus être considérés comme les indicateurs d'une tendance évolutive. Nous en retiendrons toutefois les faits suivants :

- d'Est en Ouest, les unités N, O puis P sont successivement présentes au Mur du Sel et chacune semble s'effacer progressivement par disparition graduelle de ses assises basales.

Ce processus est certes discutable pour les unités N et O qui disparaissent totalement entre Der et Lhuitre (40 km) sans qu'il soit possible d'appréhender les modalités de leur réduction. Il est par contre indubitable pour l'unité P dont l'importante masse de sel basale passe de 6 mètres d'épaisseur au puits Mailly-le-Camp 1 à 1,50 mètre au puits Soudron 1. Une évolution similaire a été constatée au sondage de Marsangis (MSG 1, Pl. I et II), situé sensiblement plus à l'Ouest encore, où cette même assise basale est totalement absente, la suite du complexe halitique ne subissant pas de variations notables.

L'évolution de la série halitique champenoise à l'approche de sa terminaison occidentale paraît ainsi caractérisée par une réduction de Sel "par la base". En cela, elle s'oppose fondamentalement à celle qui a été mise en évidence en Lorraine où l'amincissement marginal se réalise par disparition centripète des corps halitiques sommitaux (= réduction du Sel "par le sommet").

- Toujours sur ce même profil (Pl. VI), l'unité S enregistre en direction de l'Ouest une diminution d'épaisseur sensible (26 m à Mailly-le-Camp, 11 m à Soudron) associée à un épaissement de la Formation intermédiaire (10 m à Mailly-le-Camp, 15 m à Soudron). Ces deux faits rappellent les modalités de l'évolution latérale de la série lorraine mais ils ne sauraient cependant être considérés comme caractéristiques. A l'Ouest de Soudron en effet, au puits MSG 1 déjà cité en particulier, l'unité S accuse encore une puissance de 19,5 mètres. La réduction de Sel "par le sommet" constatée à Soudron ne peut donc pas être considérée comme révélatrice du type d'évolution de l'ensemble halitique à hauteur de son extrémité occidentale. Compte tenu des observations faites par ailleurs, cette particularité constatée à Soudron semble au contraire devoir être rapportée à la situation de cet ouvrage à proximité de la marge

septentrionale du domaine halitique.

- Notons enfin que la série halitique s'interrompt brutalement entre Soudron 1 et Corfélix 1. Cette terminaison du domaine salifère est à mettre en relation avec la fermeture du bassin keupérien déjà suggérée par l'analyse des courbes isopaques de la série keupérienne. Toutefois, l'absence de sondages intermédiaires dans cet intervalle de près de 40 km d'amplitude ne permet pas de savoir si la tendance constatée entre Mailly-le-Camp et Soudron, à savoir réduction de Sel "par la base" s'affirme réellement au delà de ce dernier puits. Lorsque l'on considère qu'au Sud - Est de Nancy - secteur de Dombasle - la disparition totale de la série halitique lorraine complète s'effectue sur moins de 5 km, on comprendra que toutes les hypothèses demeurent permises en ce domaine.

2 - BORDURE NORD

Le profil transversal présenté planche XII (localisation Pl. II) précise quelque peu les modalités de l'évolution latérale de la série champenoise.

A partir du sondage Der 101, vers le Nord, la série halitique diminue progressivement d'importance selon deux processus :

- à la base, les bancs terminaux de l'unité N, N3 et N4 seuls exprimés dans cette région, disparaissent entre Trois-Fontaine 101 et Auzécourt 1 après une légère diminution d'épaisseur ; puis O1 et O2. Cette évolution, accompagnée d'une diminution globale d'épaisseur des Marnes irisées inférieures et moyennes, reproduit les variations déjà constatées à l'extrémité ouest du domaine.

- le sommet de la série est marqué par l'absence de l'unité S qu'il faut mettre en rapport avec un léger épaissement des Marnes à anhydrite (moins de 5 m à Der 101, 12 m environ à Auzécourt 1). Quant à la Formation intermédiaire argilo-gréseuse, elle s'accroît sensiblement, passant de 11 m à Der 101 à 18 m à Auzécourt. Par ces particularités, les modifications du sommet de cette série à l'approche de la bordure nord s'apparentent assez nettement au type d'évolution décrit en Lorraine.

Comme au voisinage de la marge occidentale, le reste de la série demeuré inchangé (sommet de O, P, Q et R) disparaît rapidement entre Auzécourt 1 et Sainte-Ménéould 101 (27 km) sans que les modalités de cette disparition puissent être précisées. Il est juste possible de signaler que cette lacune du Sel dans ce dernier sondage semble être * accompagnée d'une réduction importante et brutale d'épaisseur des Marnes irisées inférieures et moyennes où seuls les ensembles stériles supérieurs peuvent être reconnus avec certitude (Dolomie moyenne, Formation intermédiaire et sommet des

Marnes à anhydrite). Il est en outre à noter que dans ce sondage, c'est-à-dire au delà de la limite d'extension du Sel, la Formation intermédiaire argilo-gréseuse a tendance à retrouver une épaisseur "normale" tout en admettant des lithofaciès sableux à débris végétaux considérés comme les équivalents du Grès à roseaux.

Une mention spéciale doit être faite pour le sondage des Quatre-Bras 1 (=LQB 1). La coupe de cet ouvrage se signale immédiatement à l'attention par l'épaisseur réduite de la série keupérienne (180 m contre 236 à Der 101 distant de 20 km) et par l'absence des unités halitiques supérieures propres au domaine champenois (Q, R et S). Avec plus de 33 m, les Marnes à anhydrite sont par contre beaucoup plus développées qu'elles ne le sont normalement en Champagne (10 m environ) et la Formation intermédiaire accuse également une augmentation d'épaisseur sensible associée à la présence de lithofaciès argilo-sableux. Elle y atteint en effet près de 25 m alors que sa puissance moyenne en Champagne est de l'ordre d'une douzaine de mètres seulement. Hormis l'absence du Sel de base (L, N1 et N2), la coupe de ce sondage est assez semblable à celle décrite pour l'ouvrage VA 1 (Pl. X) et matérialise une "fenêtre à Toit du Sel déprimé" analogue à celle décrite à Cerville. Le sondage voisin, Trois-Fontaines 101, avec des anomalies moins accusées, se situerait alors sur le flanc nord de cet accident.

Le profil de la planche XII matérialise en particulier les corrélations latérales qui ont pu être établies entre le puits LQB 1 et ses voisins immédiats, De 101 au Sud et TF 101 au Nord (logs gamma ray). Au niveau de l'ensemble infra-halitique dont l'épaisseur reste très voisine de 58 m, elles portent sur les principaux bancs d'anhydrite et quelques intervalles particulièrement émissifs et interprétés comme franchement argileux qui se révèlent constants dans ces trois puits en des situations identiques.

En ce qui concerne l'ensemble halitique, elles mettent en évidence la parfaite correspondance, d'un puits à l'autre, des divers bancs de sel constituant les unités N, O et P, seules représentées en LQB 1. Une homologie remarquable se dégage ainsi de la comparaison des coupes de ces trois ouvrages, au moins en ce qui concerne les formations antérieures à l'unité Q.

Comme pour le site de Cerville, les différentes possibilités de réalisation de cette "fenêtre" seront discutées ultérieurement (Chap. "Signification du Toit du Sel").

* Au sein d'un complexe argilo-sableux peu différencié, la base de la série keupérienne a été placée au toit d'une formation argileuse à débris végétaux qui a été rapportée à la Lettenkohle par simple analogie avec les Marnes à plantes. Dans ces conditions, les Marnes irisées inférieures et moyennes passent de 190 m à Auzécourt 1 à 96 m à Sainte-Menehould 101.

3 - BORDURE SUD

De Der 101 vers le Sud, les variations de la série champenoise sont beaucoup plus brutales (Pl. XII). Le sondage le plus proche, Arrentières 1, n'a en effet rencontré aucun indice de sel et la puissance des Marnes irisées inférieures et moyennes est parallèlement réduite de moitié (236 m à Der 101, 118 m à Arrentières 1) alors que leur envahissement par l'anhydrite est quasi général. Seules la Formation intermédiaire argilo-gréseuse, d'ailleurs réduite à moins de 5 m, et la Dolomie moyenne y sont reconnaissables.

L'explication des particularités de cette bordure méridionale du domaine halitique champenois réside dans la présence de l'accident médio-parisien - d'ailleurs vraisemblablement dédoublé de part et d'autre d'Arrentières - qui a sans doute joué comme faille synsédimentaire pendant le dépôt du Sel keupérien. Il est en effet significatif à cet égard de noter que la surépaisseur des Marnes irisées inférieures et moyennes constatée dans le compartiment nord (sondage de Der) par rapport au compartiment sud (sondage d'Arrentières) et qui s'élève à 118 m, correspond étonnamment au cumul des épaisseurs des bancs de Sel traversés au sondage de Der, soit 114 m.

Au delà, toujours vers le Sud, la série s'amincit encore en devenant de moins en moins facilement analysable pour disparaître totalement à Chaume. Quelques corrélations latérales peuvent encore être réalisées à partir des bancs d'anhydrite mais aucune correspondance avec la série halitique n'a pu être établie.

4 - CONCLUSION

Les constatations qui peuvent être faites en Champagne au sujet de l'évolution latérale de la série type des Marnes irisées inférieures et moyennes sont de plusieurs ordres

- en tous points du domaine salifère étudié, l'ordonnement des corps halitiques est compréhensible et la reconnaissance des unités de référence ne pose guère de problèmes.
- du centre vers les bords du bassin, l'ensemble halitique s'amincit par disparition de bancs de sel à sa base et à son sommet. En toute rigueur, il n'est pas possible de préciser l'importance relative de ces deux éventualités, les informations de sondages faisant défaut au niveau des bordures mêmes du gîte. Abstraction faite de l'interruption brutale de la série halitique champenoise totale à hauteur de l'accident médio-parisien qui ne permet pas de connaître la géométrie de sa marge méridionale, il semble toutefois que les modalités de la réduction du Sel soient différentes selon que

l'on envisage l'évolution dans le sens de l'allongement du bassin ou dans une direction perpendiculaire.

Vers l'Ouest en effet, c'est-à-dire en direction de l'extrémité distale du bassin, l'amincissement du Sel semble se réaliser *uniquement* par effacement graduel des corps halitiques de base. Vers le Nord au contraire, il se réalise par les *effets conjugués* d'une "réduction par la base", qui semble ainsi générale en Champagne, et d'une troncature du sommet similaire à celle qui se développe systématiquement en Lorraine (= "réduction par le sommet"). Par cette particularité, l'extrémité tout à fait occidentale du domaine halitique acquiert une certaine originalité par rapport aux bordures nord et sud, tant champenoises que lorraines.

- localement (puits LQB 1 par exemple), la série halitique est anormalement réduite par l'absence des unités terminales (Q, R et S) et révèle une "fenêtre à Toit du Sel déprimé" tout à fait comparable à celle décrite en Lorraine à Cerville.

- l'ensemble supra-halitique champenois enfin ne se distingue guère de son homologue lorrain : les Marnes à anhydrite, certes moins développées, s'épaississent lorsque les unités halitiques terminales s'amenuisent, que ce soit à l'approche des bordures ou au voisinage d'accidents intra-bassin ; la Formation intermédiaire argilo-gréseuse accuse simultanément des variations de même sens avec développement de lithofaciès silteux ou sableux ; la Dolomie moyenne, qui n'évolue pas de façon significative à l'aplomb du Sel, semble s'amincir (4,5 m seulement à Sainte-Ménéhould) et disparaître même (Silvarouvres) dans les zones tout à fait marginales du bassin.

V - RAPPORTS ENTRE LE SEL ET SON ENCAISSANT

Les multiples confrontations de coupes de sondages effectuées en Lorraine et en Champagne, et dont plusieurs ont été matérialisées sur les profils des diverses planches présentées, ont conduit à un certain nombre de conclusions d'ordre géométrique portant sur l'architecture de la série étudiée. Il a ainsi été possible de définir un *ensemble halitique*, à l'intérieur duquel la continuité des bancs de sel et de leur association - les unités halitiques - est remarquable, *diachrone* dans un *encaissant* au sein duquel les corrélations latérales fondées en particulier sur les bancs d'anhydrite sont également possibles.

L'analyse géométrique de cette série keupérienne n'aurait pas été complète si les corrélations entre le Sel et ses formations encaissantes n'avaient pas été tentées.

Ainsi se pose le problème de la reconnaissance des équivalents latéraux de la halite, ce qui conduira à préciser la signification des épontes du Sel, le Toit essentiellement.

A - EQUIVALENTS LATÉRAUX DU SEL

La méthode utilisée pour la définition des équivalents latéraux du sel étant uniquement fondée sur la comparaison de coupes lithologiques, deux précisions s'imposent d'emblée :

- en toute rigueur, les équivalences proposées seront seulement d'ordre spatial, sans qu'il soit possible de préciser s'il s'agit d'une *équivalence latérale vraie*, éventualité impliquant le dépôt parfaitement synchrone de divers lithofaciès en des points différents du bassin, ou d'une simple *équivalence latérale apparente*, la halite étant par exemple postérieure au dépôt des sulfates (Busson, 1980).

- elles seront par ailleurs uniquement "actuelles", ce qui signifie qu'elles ne sont pas sensées refléter nécessairement la véritable distribution originelle des lithofaciès. Cette restriction vise essentiellement la halite et à un degré moindre les sulfates car il est difficile de faire totalement abstraction de la dissolution, qu'elle soit ancienne, et s'étant réalisée plus ou moins précocement après le dépôt, ou actuelle comme peuvent le laisser penser certaines manifestations de surface dans les régions où le gisement salifère se trouve à faible profondeur.

Pour évidents qu'ils soient, ces deux points devaient être précisés.

1 - LES FAITS

Ne seront retenus ici à titre d'"arguments" que quelques exemples puisés dans les divers profils déjà présentés.

a - Les Marnes à anhydrite, largement développées en Lorraine (de l'ordre de 35 à 40 m en moyenne), diminuent d'épaisseur vers l'Ouest (Pl. VI) et se réduisent à quelques mètres dans la région centrale du domaine champenois (4 à 5 m seulement à Der et Mailly-le-Camp). Inversement, le Sel des unités Q, R et S, absent ou réduit à la base de l'unité Q en Lorraine, présente en Champagne un développement maximum. L'équivalence géométrique de ces ensembles, limités tous deux par l'unité P à la base et la Formation intermédiaire argilo-gréseuse au sommet, paraît ainsi évidente et les Marnes à anhydrite lorraine représentent globalement l'équivalent latéral des unités halitiques terminales de Champagne.



Le parallélisme établi entre le sondage de Champigneulles et celui d'Ancerville (Pl. VII) montre clairement que les Marnes à anhydrite de Lorraine, avec un développement global de 45 m, correspondent en Champagne à la série constituée par le sommet de l'unité Q (soit Qa et Q4), les unités R et S totales et les Marnes à anhydrite champenoises réduites (épaisseur totale : 72 m). Dans ces deux ensembles, les détritiques (argilites) présentent un développement de même ordre de grandeur. Ils totalisent en effet 32 m à Champigneulles, desquels il faut soustraire la phase anhydritique associée et qui n'est pas exprimée sur les logs lithologiques, et représentent encore, par cumul des passées argileuses individualisées, 18 m à Ancerville, auxquels il faut ajouter les intercalaires argileux trop fins pour être représentés et que suggèrent néanmoins les indentations du Gamma ray et du Latérológ. Ceci conduit à penser que c'est au niveau des bancs anhydritiques lorrains qu'il faut rechercher l'essentiel des équivalents latéraux des bancs halitiques champenois.

b - A un échelon plus local, il a été précisé, lors de l'étude de la marge méridionale du bassin lorrain et de ses "accidents" intérieurs, que l'effacement des bancs de sel terminaux s'accompagnait d'un épaissement des Marnes à anhydrite sus-jacentes par l'individualisation de bancs d'anhydrite supplémentaires à leur base. Cette évolution est particulièrement nette entre les sondages VA 9 et VA 16 de la planche X où l'ensemble constitué par les deux premiers bancs d'anhydrite et les marnes intercalées en VA 16 doit être considéré comme l'équivalent latéral de P en VA 9, l'ensemble halitique demeurant par ailleurs identique dans les deux ouvrages. L'équivalence latérale entre les corps halitiques et anhydritiques ne semble faire ici aucun doute.

c - Sur cette même planche, le banc anhydritique terminal de VA 9 correspond à une dolomie argileuse en VA 16. De la même façon, les Marnes à anhydrite se terminent par un banc de dolomie dans le sondage 3, planche IX. Rares sur les documents présentés, les exemples de ce type illustrant l'équivalence latérale anhydrite - dolomie ont cependant toutes chances d'être en réalité plus fréquents. La discrimination de ces deux lithofaciès est en effet souvent délicate en cuttings et, sur diagraphies, les pics représentatifs de l'un et de l'autre sont parfois peu différenciés.

d - Il a déjà été signalé en outre que l'épaississement des Marnes à anhydrite en direction de la marge du bassin s'accompagnait, après leur enrichissement en sulfates, d'une diminution de ces derniers et d'une augmentation de la phase argileuse qui pouvait même localement admettre des occurrences détritiques terrigènes gréseuses (sondage 8, Pl. IX).

e - On notera enfin que, dans les zones les plus marginales du bassin, les formations détritiques grossières ne sont pas rares. C'est le cas du Keuper à pseudomorphoses des auteurs luxembourgeois, reconnu comme équivalent latéral du Keuper salifère lorrain (Lexique stratigraphique international, vol. I, fasc. 4a), où des corps gréseux

et conglomératiques alternant avec des marnes bariolées rouges peuvent passer latéralement et très rapidement à des dolomies très pures (Laugier, 1963, p. 63).

2 - ENCHAINEMENT DES LITHOFACIES

Ces diverses constatations, souvent répétées pour certaines par ailleurs, permettent de penser que l'anhydrite constitue l'équivalent latéral du sel gemme et qu'elle passe elle-même latéralement à des formations dolomitiques puis argileuses et même gréseuses. Dans cette hypothèse le Toit et le Mur du Sel ne sont donc bien que des limites purement faciologiques qui, tout particulièrement au voisinage des marges et des "fenêtres" du domaine halitique, deviennent discordantes par rapport aux unités sédimentaires caractérisées par l'organisation centrifuge des lithofaciès suivants :

halite \longrightarrow anhydrite
(ou gypse) \longrightarrow dolomie \longrightarrow argilites \longrightarrow grès

Cette conception de l'enchaînement des lithofaciès restitue horizontalement, et du littoral vers le centre du bassin, l'agencement vertical de la séquence virtuelle générale détritico-chimique classique fondée sur un ordre de classement granulométrique décroissant pour le détritique et de solubilité croissante pour les évaporites.

3 - APPLICATION A LA COMPREHENSION DES COUPES LITHOLOGIQUES

Cette façon de faire permet d'expliquer un certain nombre de faits qui, bien que n'ayant pas tous été signalés de manière explicite dans le texte, n'en risquent pas moins d'être considérés comme des anomalies sur les divers profils présentés.

Ainsi, planche VI, les deux passées anhydritiques situées sous les bancs halitiques de l'unité N au sondage de Toul Domgermain doivent être considérées comme les équivalents latéraux du corps salifère N1 présent à la base de l'unité N au sondage voisin de Champigneulles.

Planche X, l'unité L est incomplète dans les quatre sondages qui l'ont atteinte : L1, à peine ébauché en VA 16, est absent en VA 9, VA 1 et VA 11 où l'on observe en contrepartie des bancs d'anhydrite sensiblement plus développés au sommet des Couches à pseudomorphoses. L5, normalement bifide, est absent partout et remplacé par de l'anhydrite, mieux exprimée d'ailleurs en VA 16 et VA 1 qu'en VA 9 et VA 11.

Sur cette même planche, la même explication peut être donnée à la présence de sel supplémentaire à la base de l'unité N en VA 1 par rapport aux sondages voisins VA 16 et

VA 11, alors qu'à la fin de l'unité N, le banc N4 est partout exprimé sous sa forme halitique sauf en VA 1 où il est représenté par deux passées anhydritiques.

Il est inutile de multiplier les exemples d'enchaînement latéral de faciès dans la mesure où le principe en est établi. Les variations d'épaisseur enregistrées pour certaines unités deviennent dès lors explicables.

L'unité M, en particulier, accuse un développement réduit - 26 m au sondage de Tomblaine (n° 3, Pl. III A), 25 m au sondage d'Agincourt (n° 16, Pl. III B) - ou au contraire une surépaisseur - 30 m au sondage de Saulxures (n° 4, Pl. III A), 32 m au sondage de Brin-sur-Seille (n° 17, Pl. III B) - selon que les bancs extrêmes L5 et N1 des unités qui l'encadrent sont exprimés sous leur forme halitique ou non. De même, la variation d'épaisseur de cette unité qui passe de 21 m à Champigneulles (n° 9, Pl. VI) à 26 m à Toul Domgermain (n° 8, Pl. VI) ou à Nancy-Thermal 3 (n° 2, Pl. III A), soit une augmentation de 5 m, correspond à l'intégration à l'unité M de ces derniers de l'équivalent anhydritique de N1 présent sous sa forme halitique à Champigneulles. Corrélativement, toutes choses étant sensiblement égales par ailleurs, l'unité N enregistre une augmentation de puissance de 8 m, atteignant en effet 32,5 m à Champigneulles alors qu'elle ne totalise que 24,5 m dans chacun des deux autres ouvrages.

Le passage halite - anhydrite semble ainsi se faire avec diminution d'épaisseur. D'une façon analogue, l'assimilation de l'ensemble infra-halitique de Champagne à l'équivalent latéral de l'ensemble représenté en Lorraine par les Couches à pseudo-morphoses et les unités L et M, trouve ici sa confirmation. Ici aussi, en considérant les épaisseurs des formations dans deux sondages voisins, Bazincourt 1 et Toul Domgermain 1 (n° 7 et 8, Pl. VI), on constate que cette évolution latérale s'accompagne d'une variation d'épaisseur :

Bazincourt 1	Toul Domgermain 1
Ensemble infra-halitique	Unité M : 26 m Unité L : 34 m (dont 18,5 m Couches à pseudom. : 25 m de sel)
soit 65 m	soit : 85 m
se décomposant en	
Argilites : 60 m Anhydrite : 5 m	Argilites : 56 m Anhydrite : 10,5 m Sel Gemme : 18,5 m

Pour la tranche de terrains considérée, la réduction d'épaisseur à Bazincourt par

rapport à Toul Domgermain atteint 20 m et se révèle supérieure à celle qu'occasionnerait la seule disparition totale du sel, soit 18,5 m.

Associée au fait que l'anhydrite y accuse également une diminution, cette constatation montre que le passage anhydrite - argilites s'effectue également avec une diminution de puissance.

En raison de l'impossibilité d'établir les correspondances latérales strictes entre *tous* les "composants" de ces deux séries, l'analyse n'a pas pu être poussée plus avant pour estimer, par exemple, les valeurs des taux de réduction qui affectent les puissances des lithofaciès placés en équivalence.

4 - CONSEQUENCES

Si l'application de l'enchaînement latéral des lithofaciès proposé permet de rendre compte des variations d'épaisseur enregistrées par les diverses unités, elle soulève aussi le problème de la valeur des limites retenues pour les individualiser. Devra-t-on définir des unités avec un esprit stratigraphique en y incorporant le sel ainsi que ses équivalents latéraux ou devra-t-on au contraire se limiter à une conception lithologique et ne tenir compte que des lithofaciès halitiques ? Pour diverses raisons, c'est cette dernière façon de procéder qui a été retenue.

- La reconnaissance d'unités stratigraphiques n'aurait de sens que si l'équivalence latérale vraie, c'est-à-dire chronologique, des lithofaciès pouvait être établie. Or, rien ne permet de dire actuellement qu'il ne s'agit pas d'une simple équivalence latérale apparente, c'est-à-dire uniquement géométrique.

- Même en considérant ce problème résolu, l'individualisation d'unités stratigraphiques ne serait possible que dans la mesure où les équivalents latéraux du sel seraient exprimés d'une façon nettement contrastée - anhydrite, dolomie ou grès - par rapport à l'encaissant argileux ou marneux. Ce n'est pas toujours le cas et, dans les zones marginales par exemple, partiellement ou totalement dépourvues de sel, il n'a pas encore été possible de reconnaître et d'individualiser les prolongements stériles des unités halitiques définies dans le centre du bassin.

- Enfin, la reconnaissance de la halite en tant que *dépocentre* dans l'enchaînement latéral des lithofaciès précédemment défini permet de traduire ces derniers en termes de "situation" dans le bassin de sédimentation. L'individualisation d'unités uniquement halitiques et l'étude de leur extension géographique permettent dès lors de matérialiser les domaines ayant occupé, à leur origine, une position centrale dans le bassin keupérien. Par les implications dynamiques qu'il présente, c'est ce dernier point qui a prévalu dans la décision d'exclure des unités halitiques figurées sur les documents

présentés les équivalents latéraux du sel gemme.

B - SIGNIFICATION DU TOIT DU SEL

Il ne fait pas de doute que, à l'image des autres limites placées entre les différentes unités, le Toit du Sel correspond à une coupure faciologique mais la question qui se pose à son sujet est d'un autre ordre et concerne sa signification génétique. En d'autres termes, la morphologie de cette limite entre le Sel et les Marnes à anhydrite sus-jacentes, avec les particularités que nous lui connaissons, est-elle originelle, c'est-à-dire le reflet inchangé de la répartition première du Sel ? Doit-elle au contraire être considérée comme un état *actuel*, c'est-à-dire comme la représentation d'un état initial plus ou moins déformé ultérieurement ? Dans cette dernière éventualité, la dissolution ne saurait manquer d'être invoquée, d'autant plus que certains traits de la morphologie du Toit du Sel la suggèrent fortement. Les indices d'une dissolution naturelle du gisement salifère encore actuelle sont par ailleurs nombreux et attestent la réalité du phénomène.

1 - MORPHOLOGIE DU TOIT DU SEL

Ne seront brièvement rappelées ici que les caractéristiques géométriques essentielles du Toit du Sel telles qu'elles ont pu être établies précédemment dans le cadre d'une structure restituée à partir d'un *datum* horizontal constitué par la Dolomie moyenne et considérée à ce titre comme représentative d'un état fini-Keuper moyen.

- En Lorraine, le Toit du Sel présente partout une attitude indépendante de celle des bancs de sel sous-jacents. Dans la zone axiale du bassin, y compris à hauteur des "fenêtres à Toit du Sel plan", elle est de plus sensiblement plane alors qu'elle s'approfondit dans les "fenêtres à Toit du Sel déprimé" et s'abaisse à l'approche des bordures du domaine halitique.

Elle se révèle par contre davantage conforme à la structure des Marnes à anhydrite telle que la suggèrent les corrélations latérales établies entre les principaux bancs d'anhydrite. En première approximation, ces derniers reproduisent, en les atténuant toutefois, les déformations du Toit du Sel.

- En Champagne, et autant que permet d'en juger le nombre plus réduit des sondages, la topographie du Toit du Sel semble plus simple qu'en Lorraine. Dans l'axe du bassin, elle paraît en effet à peu près plane et conforme à la fois à la structure du Sel et à celle des Marnes à anhydrite alors qu'elle s'abaisse dans les "fenêtres à Toit du Sel déprimé" (Les Quatre Bras 1) ainsi qu'à l'approche des marges nord et ouest du

gîte salifère. Au niveau de la marge méridionale, le Toit du Sel semble se confondre avec l'accident médio-parisien.

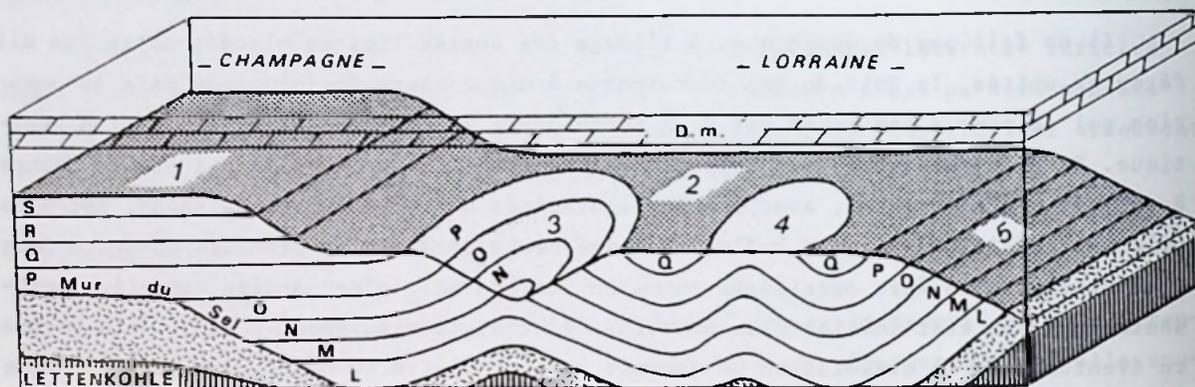


Fig. 13 - Bloc diagramme schématique reconstitué* et écorché à hauteur du Toit du Sel montrant l'attitude de ce dernier en divers endroits du domaine halitique.

1 - zone axiale champenoise, 2 - zone axiale lorraine, 3 - "fenêtre à Toit du Sel déprimé", 4 - "fenêtre à Toit du Sel plan", 5 - bordure du domaine halitique.

Référence aux planches : 1 et 2 : Pl. III A, III B, VI ; 3 : Pl. X ; 4 : Pl. IV ; 5 : Pl. IX.

- Entre ces deux domaines, le Toit du Sel paraît nettement sécant par rapport aux unités salifères.

2 - MANIFESTATIONS DE LA DISSOLUTION ACTUELLE DU SEL

C'est en Lorraine seulement que les indices d'une dissolution actuelle du Sel ont pu être notés. Ils sont nombreux et de divers ordres. Aussi, quelques cas seulement parmi les plus démonstratifs ont-ils été retenus :

- les émergences salées naturelles sont connues de longue date. C'est autour de celles de la vallée de la Seille que prit en effet naissance l'industrie salicole proto-historique lorraine fondée sur la technique du "briquetage" (Bertaux, 1972). Actuellement encore, des mares salées avec végétation halophyte typique sont connues dans

* Datum horizontal = Dolomie moyenne (D.m.)

les environs de Marsal et de Moyenvic.

D'autres se déversent directement dans le Sânon. C'est ainsi que des études comparées de la salure de cette rivière à Einville (24 mg/l) et Dombasle (117 mg/l) conduisaient Braconnier (1872) à estimer à 4 000 T/an la quantité de sel prélevée entre ces deux localités et évacuée par ce cours d'eau. Des études plus récentes (Solvay, 1948 *in* HABY, 1970) permettent même d'avancer le chiffre de 7 500 T/an.

- Nombreux furent les puits ou forages qui donnèrent lieu au cours de leur creusement à des venues d'eau salée au sommet des premiers bancs de sel (Maubeuge, 1950 b) :

. puits Becquey (Vic-sur-Seille, 1922) : filet de saumure saturée et vide de dissolution en tête du sel atteint vers 67 m de profondeur ;

. puits Saint-Etienne et Sainte-Barbe (Dieuze, 1826) : saumure avec un débit de 14 m³/jour au toit de la première couche de sel à 55 m de profondeur ;

. puits de la saline Saint-Laurent (Einville, 1872-75) : venue d'eau salée (18 m³/jour) rapportée à l'existence d'une nappe salée (= nappe d'Einville) au toit du premier banc de sel atteint à 104 m de profondeur.

- Certaines zones basses souvent occupées par des marais ou des étangs et caractéristiques de la topographie lorraine sont interprétées comme des affaissements consécutifs à la dissolution du Sel en profondeur. Ainsi, "les étangs en formation près de Sommerviller... résultent de la dissolution naturelle du sel (nappe salée de Dombasle) et sont un bel exemple de relief en pleine évolution" (Maubeuge, 1950 b). Il faut noter que dans cette région les premiers bancs de sel sont atteints en sondage à une profondeur de l'ordre de 60 m.

Une explication analogue a déjà été donnée quant à l'origine du relief du "pays des étangs" qui jalonne plus ou moins étroitement la limite d'extension orientale actuelle du Sel keupérien de Lorraine. Dans ce domaine, les rares traces de sel ne sont jamais trouvées à moins de 100 m de profondeur.

Ces quelques exemples montrent que la dissolution naturelle et actuelle du Sel est certaine et l'absence systématique d'indice dans les sondages profonds permet de dire qu'elle ne se réalise actuellement que sous une couverture faible.

3 - APPLICATIONS : LE TOIT DU SEL = FRONT DE DISSOLUTION ?

a - En Lorraine, et sous recouvrement faible de l'ordre de 55 à 100 m, la dissolution est manifeste. Dans tout le domaine correspondant approximativement aux affleurements des formations keupériennes inférieures et moyennes, elle est ainsi susceptible de

rendre compte de l'architecture particulière du Sel. Puisque ce dernier est caractérisé à l'approche de ses bordures par une troncature de son sommet sans que l'agencement des unités sous-jacentes soit perturbé, il est nécessaire d'admettre que la dissolution s'est réalisée *per descensum* et qu'elle est le fait des eaux de surface ayant percolé à travers la couverture constituée en grande partie par les Marnes à anhydrite.

Sous faible recouvrement, les particularités morphologiques du Toit du Sel ne doivent donc pas être considérées comme originelles mais au contraire comme la traduction de l'état actuel de la progression de la dissolution. A ce titre, le Toit du Sel sera qualifié de *Front de dissolution actif* (ou vivant ?) et cette dénomination pourra lui être appliquée toutes les fois où il s'établira à une profondeur inférieure à une centaine de mètres.

Ces observations correspondent parfaitement avec celles qui ont été faites sur le Sel keupérien du Cheshire (Angleterre) où le "*Wet rock-head*" (= Toit mouillé) est placé à une profondeur de l'ordre de 70 mètres (Evans, 1970).

Dans cet esprit, les enrichissements en argilites et en sulfates que l'on peut constater immédiatement au-dessus du "Toit mouillé" du Sel représentent, pour partie au moins, le résidu de dissolution correspondant à l'accumulation sur place des "impuretés" (minéraux argileux et anhydrite) qui accompagnent toujours la halite en quantité plus ou moins grande (Geisler, 1976).

Remarque : Cette assimilation du Toit du Sel à un Front de dissolution actuel doit toutefois être quelque peu nuancée. En effet, elle n'implique pas nécessairement que sa configuration actuelle soit le résultat de la seule dissolution actuelle, d'autres phases de dissolution ayant pu intervenir antérieurement. C'est ce que laisse prévoir le développement particulier de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse à la verticale des bordures du gisement salifère. Un phénomène analogue a été constaté à l'aplomb des "fenêtres à Toit du Sel déprimé" et, en raison de la meilleure définition des formations surmontant le Sel en ces endroits - à mettre vraisemblablement en rapport avec l'absence de dissolution actuelle -, l'interprétation de cette caractéristique géométrique sera développée à propos de l'analyse de ces sites particuliers.

b - Ailleurs en Lorraine, la dissolution actuelle du sel ne peut être invoquée en raison de l'importance de la couverture. Et pourtant, dans l'axe du bassin et à hauteur des "fenêtres à Toit du Sel plan", le Toit du Sel évoque nettement une surface d'érosion. En prenant pour exemple le cas de Villey-le-Sec et en considérant le parallélisme des bancs sulfatés des Marnes à anhydrite, entre eux d'une part et avec le Toit du Sel d'autre part, il apparaît que ce nivellement peut avoir pour origine une dissolution réalisée avant le dépôt des Marnes à anhydrite. Des configurations semblables et interprétables de la même façon peuvent être observées sur les planches III A et III B par exemple (sondage de Tomblaine, n° 3, Pl. III A et puits n° 3 et 4

de la saline de Rosières, n° 11, Pl. III B). Comme précédemment, le léger enrichissement en sulfates que l'on note immédiatement au-dessus du Sel tronqué peut être interprété comme un résidu de dissolution.

Une autre interprétation peut être donnée à ces particularités de gisement en considérant le Toit du Sel comme originellement plan. Dans cette hypothèse, l'anhydrite surmontant le sel réduit est alors l'équivalent latéral du sel manquant. A l'encontre de cette idée, il faut toutefois noter que ces sulfates renferment de la polyhalite comme le font, de façon plus systématique d'ailleurs, les corps halitiques terminaux de Lorraine (unités P et Q). Compte tenu de l'origine diagénétique intrahalitique généralement attribuée à ce sulfate complexe et de sa solubilité moindre par rapport à celle de la halite, il semble plus logique d'attribuer sa présence dans les sulfates coiffant le Sel tronqué à un arasement secondairement réalisé ayant permis sa conservation dans le résidu de dissolution.

L'alternative entre ces deux hypothèses ne peut pas être immédiatement levée de façon irréfutable, le problème sera d'ailleurs repris après avoir envisagé l'évolution paléogéographique des unités halitiques (3ème partie). Il semble toutefois que, dans les régions centrales du bassin salifère lorrain, le Toit du Sel puisse dès maintenant être également considéré comme un Front de dissolution dont la différence fondamentale avec celui reconnu sur les marges sera d'être "anté-Marnes à anhydrite" donc inactif.

c - Au niveau des "fenêtres à Toit du Sel déprimé", que ce soit en Lorraine ou en Champagne, le problème est sensiblement différent. L'allure "discordante" du Toit du Sel par rapport aux corps halitiques ainsi que la forme générale de son approfondissement - toujours par rapport à la Dolomie moyenne - font inévitablement penser à une figure d'érosion (gouttière, chenal ou toute autre structure de ce genre). Parallèlement, et cela est particulièrement net dans le cas de Cerville, l'architecture interne des Marnes à anhydrite traduit davantage un affaissement survenu postérieurement au dépôt de ces Marnes. En dépit des apparences, il n'y a pas de contradiction fondamentale entre ces deux idées, leur association conduisant à envisager une dissolution réalisée après le dépôt des Marnes à anhydrite. A l'appui de cette proposition il faut noter que la période de sédimentation du Grès à roseaux correspond à un retour momentané dans le bassin de conditions dulçaquicoles et constitue un épisode tout à fait favorable à la réalisation d'une telle dissolution sous couverture. Dans cette optique, les lithofaciès argilo-sulfatés surnuméraires de la base des Marnes à anhydrite, maximum d'ailleurs à l'aplomb de la zone de dissolution maximale - c'est-à-dire au centre de la "fenêtre" - sont responsables de leur augmentation

d'épaisseur et correspondent une fois encore au résidu de dissolution du Sel manquant.

Cette explication n'est certes pas la seule qui puisse être proposée pour rendre compte de cette organisation. Il serait en effet possible d'envisager une théorie plus dynamique dans laquelle le dépôt ou le non-dépôt du sel en des points particuliers du bassin seraient contrôlés, par exemple, par des mouvements verticaux du fond. Outre qu'elle serait assez complexe et qu'elle ne peut être développée tant que la dynamique du bassin n'a pas été abordée, elle se heurte à la constatation suivante : à l'aplomb des "fenêtres à Toit du Sel déprimé", la Formation intermédiaire argilo-gréseuse enregistre un développement compensateur du déficit de sel. Par ailleurs et déjà évoqué précédemment, un phénomène analogue a été observé à hauteur des marges du Sel avec une fréquence qui le rend généralisable (Pl. XIV, carte des isopaques de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse), l'épaississement compensateur étant alors imputable à un engraissement du Grès à roseaux *s.str.*.

Dans les deux cas, la surépaisseur de la Formation intermédiaire peut s'expliquer par le "piègeage" des détritiques dans des dépressions affectant le Toit des Marnes à anhydrite et occasionnées par la dissolution du Sel sous-jacent par les eaux douces qui servent alors de vecteur.

Modelé par une dissolution post-Marnes à anhydrite et contemporaine du Grès à roseaux, le Toit du Sel acquiert ainsi, dans ces "fenêtres à Toit du Sel déprimé" comme au niveau des bordures, la valeur d'un Front de dissolution tardif et inactif.

à - Dans le domaine champenois enfin, le Toit du Sel semble correspondre à une simple coupure lithostratigraphique originelle, dans la partie axiale du moins. A hauteur des bordures, vers le Nord et vers l'Ouest surtout, le nombre réduit des sondages ne permet pas de porter un jugement valable alors que vers le Sud le Toit du Sel se confond avec l'accident médio-parisien.

4 - CONCLUSION

La coupure faciologique que constitue le Toit du Sel est ainsi susceptible de revêtir des significations très différentes selon sa situation dans le bassin :

- coupure sédimentaire normale au coeur du domaine champenois par exemple, ou Front de dissolution partout ailleurs ;
- résultat d'une dissolution actuelle (ou sub-actuelle) à proximité des surfaces d'affleurement, ou ancienne lorsque le recouvrement est important et atteint une centaine de mètres ;
- dissolution ancienne réalisée immédiatement après le dépôt du Sel, dans l'axe du

bassin lorrain par exemple, ou plus tardive et contemporaine du Grès à roseaux à hauteur des bordures ou de certaines "fenêtres" du Sel.

La dissolution apparaît ainsi comme un phénomène morphogénétique capital dans la réalisation d'un gisement halitique, autant par l'importance que par la diversité des déformations qu'il est susceptible d'engendrer. Toute tentative de reconstitution de l'histoire d'un bassin évaporitique fondée sur l'analyse géométrique de ses constituants - les corps halitiques en particulier - devra en tenir compte.

Remarquons enfin que si les particularités géométriques du Toit du Sel sont explicables par le jeu de la dissolution, reste maintenant à expliquer le déterminisme de cette même dissolution.

Pourquoi y a-t-il dissolution "post-Marnes à anhydrite" au niveau des marges du Sel préférentiellement par exemple ? Ce n'est qu'après avoir envisagé ce bassin sédimentaire sous un aspect dynamique (3ème partie : évolution paléogéographique) que des éléments de réponse à ces questions pourront être donnés.

Il faut préciser enfin que le développement important accordé à la dissolution dans la recherche de la signification du Toit du Sel ne doit pas laisser penser qu'elle puisse être l'unique responsable de la réalisation de la totalité de ses particularités morphologiques et, en tout état de cause, le Toit du Sel doit être considérée comme une surface polygénique.

Certes, l'intervention de la dissolution paraît décisive, en Lorraine essentiellement, dans l'aplanissement de la zone axiale en particulier, mais il n'est pas exclu que, dans la troncature du Sel marginal par exemple, elle n'ait fait qu'ajouter ses effets à une distribution du Sel déjà "restrictive" à l'origine. Ce pourrait être le cas pour l'unité Q par exemple, dont la limite d'extension actuelle, en retrait par rapport à celle de l'unité P, serait le reflet, amplifié par la dissolution, d'une extension vraie déjà en recul.

Quoi qu'il en soit, la recherche d'un modèle génétique du gisement salifère keupérien qui sera entreprise ultérieurement, devra tenir compte de cette éventualité.

VI - CONCLUSION

Par analyse des seules données de subsurface, l'"anatomie" des Marnes irisées inférieures et moyennes, et tout particulièrement celle du gîte halitique qu'elles

abritent, a pu être appréhendée. Deux caractéristiques essentielles ont ainsi pu être mises en évidence :

- *rythmicité* de la série d'une part, matérialisée par la répétitivité de l'alternance argilites - évaporites (halite ou anhydrite), perceptible ici jusqu'à une échelle de l'ordre du mètre mais l'on sait par ailleurs exister jusqu'à l'échelon du décimètre au sein des bancs de sel (Geisler, 1976, 1979).
- *continuité latérale* tout à fait remarquable des bancs de sel et de leur association, tout au moins dans l'axe du bassin d'autre part.

Il a ainsi été possible d'individualiser un certain nombre d'unités halitiques, désignées selon leur succession chronologique par les lettres L à S, qui sont toujours identifiables par les particularités de leur architecture interne, et de les intégrer dans une série lithostratigraphique de référence définie dans la zone axiale du bassin.

Au sein de la série envisagée, terminée par la Dolomie moyenne considérée comme formation isochrone, l'ensemble halitique, c'est-à-dire l'enveloppe des différentes unités halitiques, constitue un corps diachrone, plus précoce mais aussi interrompu plus tôt en Lorraine (série halitique du type L - M - N - O - P - Q) qu'en Champagne où il apparaît plus tardivement et se développe plus haut dans la série (série halitique du type O - P - Q - R - S), le passage entre ces deux domaines se faisant plus ou moins progressivement.

L'étude des modalités de l'évolution de cette série type a mis en évidence deux faits essentiels :

- latéralement, les lithofaciès halitiques, ayant valeur de dépôts centraux dans le bassin, admettent pour équivalents latéraux des lithofaciès sulfatés ;
- verticalement, la position actuelle de la limite entre ces deux domaines, halitique et sulfaté, enregistre des déplacements conduisant à une morphologie des marges de l'ensemble halitique sensiblement différente selon que l'on envisage la Lorraine ou la Champagne.

En Lorraine, elle est caractérisée par une troncature du Sel "par le sommet". Le Toit du Sel, oblique par rapport à la série halitique, y atteint des assises de plus en plus anciennes en des emplacements de plus en plus éloignés du centre du bassin sans que l'architecture de la série située sous cette limite faciologique montre des différences sensibles par rapport à la série lithostratigraphique de référence.

En Champagne, et à l'exception de la bordure méridionale représentée par l'accident médio-parisien, une troncature sommitale du Sel marginal de même type se superpose à une réduction du Sel "par la base". En direction de l'Ouest et du Nord, cette dernière correspond à une situation du Mur du Sel de plus en plus haute, ou de plus en plus récente, dans la série, c'est-à-dire à une attitude de ce dernier inverse de celle du Toit du Sel. Cette morphologie marginale du Toit du Sel, que l'on observe également en certains sites relativement centraux du bassin qui acquièrent de ce fait la valeur de "fenêtres" dans le Sel, contraste singulièrement avec son attitude plane et simplement parallèle à la Dolomie moyenne que l'on constate dans la zone centrale du bassin, tant en Lorraine où elle est indifférente aux irrégularités structurales du Sel sous-jacent qu'en Champagne où elle semble davantage conforme à la stratification.

La question qui se pose est de savoir si ces particularités du Toit du Sel doivent être considérées comme originelles ou comme secondairement acquises. Il est apparu qu'elles pouvaient être imputées à la dissolution, qu'elle soit ancienne et plus ou moins contemporaine du dépôt ou actuelle dans les régions où le gisement salifère se trouve à faible profondeur. Mais la reconnaissance de la réalité de la dissolution n'implique pas nécessairement qu'elle soit le seul phénomène en cause. Elle devra seulement inciter à une certaine prudence, en particulier dans les tentatives de reconstitution paléogéographique fondées sur l'extension actuelle des unités halitiques.

Troisième Partie

ÉVOLUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE

Dans cette troisième partie, les grands ensembles constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes seront abordés successivement - et chronologiquement bien sûr - sous un angle évidemment plus global et plus spatial que précédemment, dans le but de tenter de reconstituer l'histoire géologique de ce bassin ou du moins d'essayer d'expliquer les particularités de gisement du Sel.

I - ENSEMBLE INFRA-HALITIQUE

Les informations relatives à cet ensemble compris entre la Lettenkohle et le Mur du Sel sont très réduites et se limitent, à peu de choses près, aux coupes de sondages figurées sur les divers profils présentés. Dans ces conditions, il serait vain de vouloir en faire une étude globale.

Un point en particulier n'a pu être élucidé : celui de la distribution antéro-postérieure et centro-marginale de ses lithofaciès. Certes, il semble qu'à l'approche des marges du bassin la fréquence des détritiques plus grossiers (silts et sables) augmente au détriment de la phase argileuse et/ou anhydritique, mais la question essentielle qui se pose est de savoir si ces lithofaciès grossiers appartiennent sinon réellement à l'ensemble infra-halitique *s. str.*, du moins à son équivalent latéral. Cette appellation "infra-halitique" perd en effet tout son sens au niveau des marges du bassin où le Sel n'existe pas. Mais indépendamment de ce problème de vocabulaire et en raison essentiellement de l'absence de "marqueur" reconnu au sein de cet ensemble, il n'a pas encore été possible d'en suivre le prolongement à proximité des bordures.

Compte tenu du diachronisme de cet ensemble, corollaire direct du diachronisme du Sel, traduisant en particulier la transgressivité de la série d'Est en Ouest d'une part, et d'autre part du mimétisme existant entre les formations infra et supra-halitiques ou leurs équivalents latéraux non différenciables lorsque le Sel n'existe pas, il est impossible dans l'état actuel des investigations de proposer un quelconque schéma de

l'évolution paléogéographique de l'ensemble infra-halitique.

II - ENSEMBLE HALITIQUE

A - EXTENSION DES UNITES HALITIQUES

L'analyse systématique des données de subsurface, pour les domaines lorrain et champenois, a montré qu'il est toujours possible de reconnaître au sein du complexe halitique keupérien, un certain nombre d'unités bien définies. Elle a en outre montré que ces unités peuvent être suivies sur des distances considérables tout en présentant les unes par rapport aux autres des extensions latérales différentes.

Afin de rendre compte globalement de ces particularités qui ont pu être constatées en de multiples endroits, la cartographie des limites d'extension du Sel a été tentée unité par unité*.

Remarque : L'étude de la signification du Toit du Sel a montré que l'extension *actuelle* des différentes unités halitiques n'était que le reflet d'une distribution du sel secondairement modifiée par les effets de la dissolution. C'est particulièrement le cas actuellement sous faible couverture, c'est-à-dire à proximité des surfaces d'affleurement des Marnes irisées inférieures et moyennes. Comme cela a déjà été dit, la reconnaissance de cet état de faits incite à une certaine prudence qui devra se manifester, non pas dans la délimitation de l'aire d'extension des unités, mais dans l'interprétation paléogéographique qui pourra en être faite.

Dans cet esprit, le commentaire relatif à l'extension des unités halitiques fera temporairement abstraction de la dissolution, car il s'agit de rendre compte de l'organisation apparente du Sel ; seule l'interprétation qui en sera donnée ensuite tiendra compte de la réalité de la dissolution actuelle.

Dans ces conditions, la synthèse géométrique du gîte halitique réalisée est matérialisée planche XIII et, bien qu'ils soient suffisamment évocateurs par eux-mêmes, les résultats obtenus méritent quelques commentaires :

1 - En Lorraine, les limites proposées demeurent objectivement imparfaites, pour la bordure nord essentiellement où les données de sondages sont plus rares, et suscepti-

* Pour alléger le graphisme et rendre plus évidentes, en les individualisant davantage, les différentes étapes de l'évolution du bassin, seules les limites des unités halitiques L, N, P, Q et S ont été figurées. Les unités O et R n'en sont pas négligeables pour autant mais, ne constituant que des stades intermédiaires, leur prise en compte n'offre qu'un intérêt limité. Cette représentation a été complétée par le report de l'aire d'extension du Sel du Muschelkalk.

bles de déplacements pour tenir compte de données nouvelles. En Champagne également les contours sont perfectibles comme en témoignent les points d'interrogation qui les jalonnent. Mais, dans les deux cas, il est douteux que la géométrie d'ensemble puisse être radicalement transformée par l'apport de documents nouveaux.

2 - Les différentes unités halitiques cartographiées ont des aires d'extension variées mais, en faisant momentanément abstraction de cette particularité, elles présentent la caractéristique commune d'occuper une situation centrale dans le bassin. Ce fait capital, déjà apparent Planche II où l'enveloppe extérieure de ces aires d'extension a été reportée, appelle les remarques suivantes :

- compte-tenu de la signification particulière des dépôts halitiques dans l'enchaînement centro-marginal des lithofaciès précédemment défini, la représentation proposée matérialise uniquement l'extension des zones ayant occupé originellement une situation centrale dans le bassin. C'est dire que tout au long de l'histoire géologique de ce domaine sédimentaire, les zones halitiques n'ont pas subi de notables divagations latérales et sont toujours restées plus ou moins superposées à la zone axiale du bassin, telle qu'elle peut être actuellement reconnue.

- le bassin keupérien était certes plus largement étalé que ces seules zones halitiques, la carte des isopaques des Marnes irisées inférieures et moyennes (Pl. II) l'indique clairement. Mais à défaut de pouvoir établir des corrélations précises entre les formations halitiques centrales et stériles périphériques, les zones marginales dépourvues de sel resteront exclues de cette discussion. Tout au plus faut-il rappeler que le Sel occupe les zones de fortes épaisseurs (supérieures à 125 - 200 m) alors que les zones stériles sont d'autant plus minces qu'elles sont en position plus marginale.

3 - Les unités halitiques successives présentent des aires d'extension progressivement plus développées vers l'Ouest en même temps qu'elles se rétrécissent à l'extrémité proximale du bassin, c'est-à-dire en Lorraine. Cette disposition est encore accentuée par la prise en compte du Sel du Muschelkalk. Mais avant d'aborder les détails de l'évolution de la répartition spatiale du Sel, il faut rappeler le fait capital suivant déjà annoncé lors de la présentation générale du bassin : le domaine halitique envisagé globalement se superpose étroitement aux grands traits structuraux qui caractérisent actuellement la bordure orientale du Bassin de Paris.

- *Le Sel du Muschelkalk* s'étale largement jusqu'à hauteur de Sarreguemines et Metz vers le Nord et, vers le Sud, de Sarrebourg jusqu'au Sud de Lunéville. Vers l'Ouest, il n'atteint pas la verticale de Nancy.

- *L'unité L* est transversalement réduite, à l'Est de la Moselle tout au moins, où

elle ne dépasse pas Pont-à-Mousson au Nord et Lunéville au Sud. Elle affecte ainsi en Lorraine la forme d'une bande orientée sensiblement NE-SW dont la largeur n'excède pas 40 km. A l'Ouest de la Moselle, son aire d'extension s'élargit sensiblement pour atteindre Saint-Mihiel vers le Nord et s'approcher nettement de Vittef vers le Sud. Son extension occidentale reste mal connue mais il est certain qu'elle disparaît entre Toul et Saint-Dizier.

- *L'unité N* présente globalement une extension peu différente, en Lorraine tout au moins, ses limites étant simplement légèrement en retrait par rapport à celles de l'unité précédente. Quelques particularités doivent cependant être notées. Sa limite septentrionale est pratiquement superposée à celle de L sauf peut-être à l'Ouest de la Moselle où le recul est plus sensible à hauteur de l'actuel anticlinal de Lorraine. A l'Est, cette unité disparaît dans une zone qui se superpose à l'anticlinal de Morhange. Vers le Sud, sa limite d'extension est en retrait de quelques km par rapport à celle de l'unité L.

En Champagne, l'unité N est beaucoup plus largement développée. Elle s'étend vers l'Ouest où elle englobe tout le domaine de Saint-Dizier. Vers le Nord, une branche orientée selon la direction Saint-Dizier - Saint-Mihiel - Metz, c'est-à-dire SW-NE, semble s'individualiser mais sans atteindre la Moselle tandis que vers le Sud, le Sel correspondant ne franchit pas l'accident médio-parisien.

- *L'unité P* confirme la tendance annoncée par l'unité précédente, à savoir rétrécissement de son aire d'extension en Lorraine - soit dans tout le domaine situé à l'Est de la Meuse - et épanouissement en Champagne. Dans le détail, il faut noter que l'effacement du Sel de P au droit de l'anticlinal de Morhange est plus net encore de sorte que, dans cette partie proximale du bassin, son aire d'extension est nettement scindée en deux bandes parallèles et superposées aux deux ondulations du synclinorium de Sarreguemines, le synclinal de Landroff au Nord, celui de Château-Salins au Sud. Par ailleurs, la limite nord contourne plus largement l'actuel anticlinal de Lorraine en même temps que la branche Saint-Dizier - Metz s'élargit vers le Nord et coïncide davantage avec le synclinal de Luxembourg. Vers l'Ouest, le débordement de P par rapport à N est manifeste et son aire d'extension se développe presque jusqu'à Sézanne. Quant à la limite sud, elle demeure très imprécise mais ne semble pas franchir l'accident médio-parisien.

- L'évolution enregistrée par les précédentes unités halitiques semble se prolonger au cours du dépôt de *l'unité Q*, encore que la fiabilité de la cartographie présentée diffère sensiblement selon que l'on envisage la Lorraine ou la Champagne.

En Lorraine en effet, où le nombre des sondages autorise une reconstitution de ses limites avec une précision satisfaisante, l'unité Q accuse un retrait généralisé et important par rapport à P : le Sel abandonne l'extrémité orientale de la branche Saint-Dizier - Metz, contourne plus largement encore la zone correspondant à l'actuel anticlinal de Lorraine et se réduit à une bande correspondant à la partie axiale du synclinal de Sarreguemines. Dans ce domaine où, il faut le rappeler, elle ne se présente jamais sous son développement complet, cette unité est peu étalée. Son aire d'extension est particulièrement étroite entre la Meuse et la Meurthe (15 km de largeur environ à hauteur de Toul) alors qu'elle s'élargit sensiblement à l'Est de cette dernière. Elle y est de plus percée de "fenêtres" laissant apparaître l'unité sous-jacente. Enfin, dans la partie tout à fait orientale du gisement, le manque relatif de sondages ne permet pas de préciser l'extension de cette unité à l'Est de Château-Salins. Quelques sondages implantés le long du coeur des synclinaux de Landroff et de Château-Salins seraient à cet égard très instructifs.

A l'Ouest de la Meuse, c'est-à-dire en Champagne, les limites de l'unité Q ne s'écartent par contre que très peu de celles de la précédente, et toujours dans le sens d'un débordement, peut-être plus marqué à l'extrémité occidentale en direction de Sézanne. C'est du moins ce que laisse apparaître le dessin de la Planche XIII mais il faut préciser que le tracé des limites de ces deux unités P et Q est entaché d'une

notable incertitude en raison du nombre réduit des données de sondages à hauteur des marges mêmes du domaine halitique. La cartographie présentée est de ce fait largement interprétative, son choix, à défaut d'informations contraires, ayant été essentiellement orienté par le souci de poursuivre jusqu'à la fin de l'unité Q, *tout en l'atténuant au maximum*, la tendance évolutive expansive manifestée en Champagne par les unités antérieures.

- L'unité S enfin est strictement limitée au domaine champenois où son aire d'extension accuse partout - ou presque - un net recul.

Cet ultime épisode halitique est en effet absent de la série keupérienne lorraine. Si ce fait apparaît comme irréfutable - les sondages réalisés dans ce domaine ayant montré que l'ensemble halitique ne s'y développait pas au delà de l'unité Q - il n'est pas pour autant possible de placer sa terminaison orientale avec précision. Tout au plus peut-on dire qu'elle se situe entre les sondages d'Ancerville (An 1), où cette unité a été reconnue avec une épaisseur supérieure à 20 m, et celui de Toul - Domgermain (TD 1) où le Toit du Sel coupe l'unité Q à mi-hauteur.

Son absence dans les sondages situés immédiatement au Nord de Saint-Dizier (Bazin-court 1, Les Quatre-Bras 1, Trois-Fontaines 101) ainsi que dans l'ouvrage de Songy (Sy 101) permet de limiter son extension vers le Nord de façon satisfaisante. Une incertitude demeure toutefois quant à la présence possible de l'unité S au coeur de la branche septentrionale du gisement (Saint-Dizier - Metz) et aucun argument ne permet actuellement de confirmer ou d'infirmier cette éventualité.

Quant à sa limite méridionale, elle est, comme pour les unités précédentes, largement interprétée et sa position, par rapport à la trace de l'accident médio-parisien en particulier, ne saurait être considérée comme immuable. Il est tout au plus possible d'affirmer que, localement au moins (sondage de Marsangis, MSG 1), elle s'en approche de très près.

Vers l'Ouest enfin, sa limite reste à préciser. Est-elle en recul comme pourrait le laisser supposer la "focalisation" de l'unité S au coeur du domaine champenois ? Elle le serait alors de très peu car elle accuse encore une puissance voisine de 20 mètres à Marsangis. Déborde-t-elle au contraire les limites des unités précédentes, s'inscrivant de cette manière dans la ligne évolutive enregistrée par les unités sous-jacentes ? Rien ne permet de l'affirmer et il est certain qu'elle n'atteint pas les sondages de Courgivaux (Cg 1) et de Corfélix (CFX 1) situés à l'Ouest de Sézanne et totalement dépourvus de Sel.

B - IMPLICATIONS

Les différentes unités halitiques ou, ce qui revient au même, les zones centrales du bassin de sédimentation, ont ainsi occupé des situations changeantes au cours de l'histoire géologique de cette région. Indépendamment des incertitudes et des interprétations parfois subjectives qui affectent le tracé de leurs contours, plusieurs faits essentiels ressortent de l'analyse comparée des aires d'extension des unités halitiques successives :

1 - MIGRATION DU LITHOTOPE HALIGENE

Caractérisé en Lorraine par une évolution centripète de ses corps halitiques, le

domaine évaporitique keupérien s'apparente nettement au type "restrictif" (= *restriktive Salinar*) des auteurs allemands (Trusheim, 1971), alors que par leur progradation régulière vers l'Ouest, au moins en ce qui concerne les unités L, N et P, il est à rattacher en Champagne au type "expansif" (= *expansive Salinar*) des mêmes auteurs. Loin de traduire un quelconque hiatus entre ces deux domaines - le profil présenté planche VI et la cartographie commune de la planche XIII faisant nettement apparaître leur continuité - les caractères "restrictif" de l'extrémité orientale et "expansif" de la terminaison occidentale reflètent au contraire le déplacement d'Est en Ouest de la zone de dépôt du Sel. Primitivement installé en Lorraine (unité L), le milieu haligène envahit d'abord progressivement la Champagne (unités N, O et P). Il abandonne ensuite son domaine originel pour se stabiliser finalement en Champagne (unités R et S) à la suite d'une migration dont le caractère "orthogénique" est encore accentué par la prise en considération du Sel du Muschelkalk.

Ces considérations ne doivent pas faire oublier qu'en Lorraine et à l'approche des marges du gisement, le Toit du Sel, dont la morphologie particulière a pour conséquence le "déplacement" centripète des limites des unités halitiques successives, a été interprété comme un "Front de dissolution actif". Aussi, convient-il de ne pas attacher une importance exagérée au caractère "restrictif" constaté en Lorraine, celui-ci risquant fort de n'être que le résultat d'une dissolution récente.

Si les modalités de son retrait de Lorraine peuvent ainsi être discutées, il n'en reste pas moins que la migration du lithotope haligène dans le sens antéro-postérieur, c'est-à-dire de la Lorraine vers la Champagne, demeure une réalité indiscutable. Ce déplacement, affectant un domaine ayant valeur de zone centrale dans le bassin, se fait de façon sensiblement linéaire dans le sens Est-Ouest, c'est-à-dire avec peu de débordements vers le Nord et vers le Sud. Il est dès lors légitime de penser que le bassin de sédimentation keupérien, plus étalé que les seules zones haligènes, subit dans le même temps une évolution de même type concrétisée plus par son allongement que par son élargissement.

2 - "NAISSANCE" DU BASSIN PARISIEN

L'intervention de la subsidence en tant qu'agent responsable de la naissance d'un bassin sédimentaire et de l'épaississement de son remplissage ne fait plus actuellement aucun doute. Il est non moins certain - la planche II étant à cet égard assez parlante - que, au moins à l'échelle de toute la série keupérienne étudiée, le Sel s'est formé dans les zones de plus forte subsidence.

Le problème reste d'ailleurs le même, que l'on envisage le sel sous la forme d'une

masse unique ou comme formé par l'empilement d'unités halitiques élémentaires. Ainsi, toute idée de génèse mise à part - c'est-à-dire que le sel remplisse la partie centrale d'un bassin au cours de sa formation par enfoncement différentiel du fond, ou qu'il intervienne *a posteriori* pour combler le centre du bassin demeuré libre par défaut de détritiques terrigènes (= bassin affamé, Busson, 1974 a), - la migration des zones halitiques mise en évidence traduit le déplacement de la zone de subsidence maximale. Partie du domaine germanique à l'Est, celle-ci gagne progressivement la Champagne et, au cours de cette histoire géologique, le bassin lorrain joue le rôle d'étape intermédiaire. Temporairement salifère, il devient finalement simple zone de passage entre le domaine d'apport toujours situé à l'Est et le domaine évaporitique actif qui finira par se restreindre et par s'éteindre en Champagne.

Ainsi, et c'est un des apports essentiels de cette étude, la cartographie des aires d'extension des différentes unités halitiques matérialise les premières étapes de l'individualisation de l'actuel Bassin Parisien. Il convient dès lors d'en situer la "naissance", command e plus par une translation de la zone de subsidence maximale que par un réel mouvement de bascule, dès l'épisode halitique du Keuper inférieur et non   l'aube du Keuper supérieur comme cela était admis précédemment (Yapaudjian, 1961 ; Dubois et Umbach, 1974).

3 - ADEQUATION A LA SIGNIFICATION DU TOIT DU SEL DANS LA ZONE CENTRALE DU DOMAINE LORRAIN

Cette vision du phénomène s'accorde bien avec la topographie du Toit du Sel telle qu'elle a été reconnue en Lorraine et qui a été interprétée comme un "front de dissolution" anté-Marnes à anhydrite. Dans la mesure en effet où, à la fin de l'épisode salifère - unités R et S pour le moins - la zone de subsidence maximale s'établit en Champagne, le domaine lorrain subit le passage d'un flux marin en provenance de l'Est et destiné à combler la dépression qui se crée à l'Ouest. Il est dès lors normal que le sel qui vient de s'y déposer (unités P et Q) subisse une dissolution de son sommet. Il est par ailleurs plausible que l'installation de la zone de subsidence maximale en Champagne ait été accompagnée en Lorraine d'un certain nombre de perturbations dans la "qualité" de la subsidence qui continue à s'y réaliser avec une intensité moindre. Que certains territoires, d'envergure limitée, deviennent moins subsidents que d'autres ou qu'ils enregistrent - ce qui est moins probable - des mouvements ascendants, les unités halitiques déjà déposées subiront des déformations qui, sans être d'origine réellement tectonique, se traduiront néanmoins par des ondulations (Pl. III A et B par exemple). Le flux marin précédemment évoqué exercera ainsi son action érosive, c'est-

à-dire essentiellement dissolvante, sur un substratum bosselé dont les crêtes seront préférentiellement effacées.

Après cette période de dérèglement, la subsidence retrouve sa régularité première ainsi que l'atteste la continuité des formations qui se déposent ultérieurement, halitiques en Champagne, anhydritiques en Lorraine.

Ainsi, dans la zone centrale du domaine lorrain, le Toit du Sel représente une surface d'érosion par dissolution qui a valeur de discontinuité majeure entre le Sel et les Marnes à anhydrite qui le surmontent.

Reste à préciser l'âge de cette surface. En première approximation, il est possible de dire qu'elle a eu lieu après les bancs de sel les plus récents conservés dans les "creux" des ondulations en Lorraine, soit après Q3 qui existe à Champigneulles. Mais, compte tenu de l'importance de l'intercalaire argileux présent à la base de l'unité R en Champagne (plus de 6 m) qui peut être interprété comme le résultat de la décantation de la masse d'eau ayant balayé le domaine lorrain, il semble plus logique de placer cet épisode singulier à la fin de l'unité Q.

Dans cette hypothèse, il y aurait au Toit du Sel dans la zone centrale du domaine lorrain, une lacune d'amplitude variable mais équivalente à la tranche de terrains comprise entre les derniers bancs halitiques présents et le sommet de l'unité Q.

Remarque : Les "fenêtres à Toit du Sel plan" trouvent ici une explication satisfaisante. Dans le cas de Villey-le-Sec par exemple, la réduction d'épaisseur de la série keupérienne étudiée par rapport aux ouvrages voisins (Toul - Domgermain et Nancy Thermal 3) - soit une quarantaine de mètres - équivaut sensiblement à l'importance de la lacune au Toit du Sel qui correspond ici à la moitié supérieure de l'unité P et à l'unité Q en totalité.

Sans que des ondulations d'une telle amplitude soient impossibles à concevoir, il est néanmoins possible de les minimiser en attribuant à de tels sites une subsidence déjà amoindrie à l'unité P terminale. A l'appui de cette idée, il n'est pas sans intérêt de noter que ce retard de subsidence s'est maintenu au cours du Keuper supérieur pour s'estomper ensuite au cours du Lias ainsi qu'en témoignent les puissances de ces formations reportées sur le tableau ci-dessous :

Formations	Toul - Domgermain TD1	Villey-le-Sec L.VSL,1	Nancy-Thermal 3 230-5-63
du mur du Grès médioliasique au toit du Calcaire ocreux	89 m	86 m	87 m
du toit du Calcaire ocreux au toit des Argiles de Lev.	48 m	44 m	38 m
du toit des Argiles de Lev. au toit de la Dol. moyenne	87 m	80 m	85 m
du toit de la Dol. moyenne au toit de la Lettenkohle	237 m	202 m	240 m

Tableau 3 - Puissances comparées des formations keupériennes et liasiques inférieures et moyennes dans les sondages de Toul Domgermain, Villey-le-Sec et Nancy-Thermal 3.

4 - MISE EN PLACE ET EVOLUTION DE LA STRUCTURE ACTUELLE

La première esquisse paléogéographique du bassin keupérien constituée par la carte d'isopaques planche II a déjà montré une étroite correspondance entre la répartition du Sel et les grands axes structuraux actuellement reconnus en Lorraine et en Champagne. Envisagé globalement, le Sel est présent au coeur des synclinaux et absent au sommet des anticlinaux.

Parallèlement, l'analyse des aires d'extension des unités halitiques successives met en évidence une évolution au cours de laquelle se dégagent et s'affirment progressivement un certain nombre d'entités géographiques, les unes avec sel, les autres sans sel, qui, en fin de compte, se superposent respectivement de façon étroite aux synclinaux et aux anticlinaux actuels.

Par la double relation qui existe entre le dépôt du Sel et les zones subsidentes d'une part et entre la subsidence et la réalisation de structures synclinales d'autre part, il paraît évident que la correspondance observable entre les domaines halitiques et les zones synclinales actuelles n'est pas fortuite mais reflète au contraire la localisation originelle du Sel. Dans cet esprit, les grands axes structuraux actuellement reconnaissables dans l'Est de la France (Synclinal de Luxembourg, Anticlinal de Lorraine, Synclinaux de Sarreguemines et de Savonnières) doivent être considérés comme contemporains de l'épisode salifère keupérien, c'est-à-dire de la première ébauche du Bassin de Paris.

Dans le détail toutefois, et pour se limiter au domaine lorrain, deux schémas de l'évolution structurale peuvent être envisagés :

a - En faisant abstraction de la dissolution actuelle, la prise en considération des aires d'extension des unités halitiques dans leur état actuel traduit, à la manière des images d'un dessin animé, les différents stades de la mise en place des structures. Ainsi, par le recul centripète des unités successives, le synclinal de Sarreguemines enregistre un rétrécissement progressif en même temps que s'individualise l'anticlinal de Morhange dans la partie médiane de son extrémité orientale. De même, certaines "fenêtres" du type Cerville peuvent apparaître comme des "hauts fonds" momentanés au sommet desquels le dépôt du sel n'a pas eu lieu.

Cette hypothèse se sera pas développée davantage en raison de la réalité de la dissolution. Elle n'a été évoquée que pour mettre l'accent sur le danger qu'il y aurait à ne pas en tenir compte.

b - A l'opposé, et en tenant compte de la dissolution, il est possible d'interpréter les reculs centripètes du Sel, tant sur les bordures qu'à la verticale de l'anticlinal de Morhange, comme des biseaux d'érosion, ou de dissolution, réalisés en des endroits

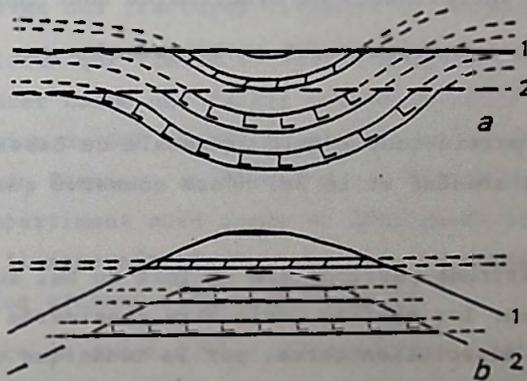


Fig. 14 - Exemple de déformation graphique de la structure actuelle sur les profils réalisés à partir de la dolomie moyenne utilisée comme *datum* horizontal.

- a - structure actuelle (synclinal de Sarreguemines en coupe transversale par exemple)
- b - profil restitué avec Dolomie moyenne horizontale

- 1 - surface topographique actuelle
- 2 - front de dissolution du Sel.

particuliers que leur situation structurale rapproche davantage de la surface topographique. En effet, au cours de son aplanissement qui s'opère actuellement, les structures anticlinales sont érodées préférentiellement alors que sont conservés les coeurs des synclinaux. Le front de dissolution du Sel - ou Toit mouillé - qui s'établit plus ou moins parallèlement à la surface topographique et à une profondeur comprise entre 55 et 100 m, est de ce fait totalement discordant par rapport aux unités sédimentaires ondulées. Du centre vers l'extérieur d'un synclinal il atteindra ainsi des corps halitiques de plus en plus anciens (fig. 14 a).

Il n'est donc plus nécessaire d'envisager ici un rétrécissement du synclinal de Sarreguemines ni d'attribuer à l'anticlinal de Morhange une origine contemporaine du Sel, celui-ci ayant pu se réaliser postérieurement en même temps que s'accroissent les structures antérieures. Et ce n'est que par l'artifice de construction adopté pour la réalisation des profils présentés - Dolomie moyenne horizontale - que le front de dissolution accuse un approfondissement en direction de l'extérieur du bassin (fig. 14 b).

Les enseignements qu'apporte cette façon de voir le phénomène se résument donc ainsi :

- les grandes structures anticlinales et synclinales sont contemporaines du Sel ;
- elles ont été accentuées ultérieurement et compliquées par des ondulations secondaires ;
- actuellement, dans la partie tout à fait orientale du Bassin Parisien, ces structures sont plus ou moins arasées et le Sel n'est conservé que dans le coeur des synclinaux ;
- dans ces régions, l'attitude particulière du Toit du Sel au niveau des bordures, telle qu'elle apparaît sur les profils, doit être considérée comme le résultat d'une déformation du front de dissolution actuel par la technique de construction adoptée (Dolomie moyenne horizontale).

5 - ORIGINE DE LA SUBSIDENCE

Les études structurales menées dans l'Est de la France font ressortir que "... les relations entre les structures du socle et les structures actuelles de même qu'entre ces dernières et les zones de subsidence sont manifestes dans cette partie du Bassin de Paris" (Le Roux, 1980, à qui est emprunté l'essentiel des données structurales citées dans ce paragraphe et chez qui le lecteur trouvera la bibliographie correspondante).

Nos observations ont de plus mis en évidence l'étroite superposition des aires haligènes - c'est-à-dire de subsidence maximale - et des grandes structures souples actuellement connues en surface (synclinaux de Sarreguemines, de Savonnières et de Luxembourg). Il devient dès lors tout à fait légitime d'associer la subsidence keupérienne au rejou de structures du substratum et d'attribuer les mouvements négatifs qui se sont effectués pendant le dépôt des Marnes irisées inférieures et moyennes à des enfoncements ou à des basculements de grands compartiments du socle.

Un certain nombre de faits laissent par ailleurs penser que la mobilité de ces compartiments est liée à leur individualisation par des accidents tectoniques cassants qui ont fonctionné avec plus ou moins d'ampleur au cours des temps.

- Les failles actuellement visibles en surface ont dans l'ensemble la même orientation que les structures souples, le flanc nord de l'anticlinal de Lorraine étant par exemple jalonné par un faisceau de failles N 60° E dont celle de Metz est la plus septentrionale. Son fonctionnement synsédimentaire au cours du Lias dont elle limite au Sud la zone de subsidence maximum - qui est alors constituée par le synclinal de Luxembourg, (Le Roux, 1980) - et son existence quasi certaine dès le Keuper inférieur, époque à laquelle ce synclinal s'individualise pour la première fois, permettent de la mettre en relation avec des fractures vivantes et pérennes profondes.

- L'accident médio-parisien qui limite au Sud le domaine salifère champenois s'est comporté à n'en pas douter comme une faille synsédimentaire ayant directement contrôlé le dépôt et l'extension du Sel (bordure sud du domaine champenois). Cet accident était déjà fonctionnel au Permien, au niveau de la faille de Vittel en particulier, avec jeu négatif du compartiment nord comme en témoignent les courbes isopaques des formations permienes. Il apparaît ainsi logique de le considérer comme la manifestation d'un accident plus profond affectant le socle.

Certes, en l'absence de données plus péremptoires, cette argumentation est discutable. Il n'en reste pas moins qu'il existe de fortes présomptions pour que le "moteur" de la subsidence soit à rechercher dans des enfoncements de compartiments du socle, eux-mêmes étant limités par des failles.

Cette dernière particularité expliquerait la morphologie assez particulière des structures synclinales résultantes. Compte tenu des faibles variations d'épaisseur que les formations sédimentaires qui les remplissent accusent transversalement à l'axe du bassin, les unités halitiques surtout (Pl. VIII), ces synclinaux doivent davantage être comparés à de larges dépressions à fond plat ou peu incurvé qu'à des ondulations cylindriques. Ces accidents crustaux limitant les compartiments seraient alors situés sensiblement à la verticale de la limite d'extension extrême du Sel.

Dans cette même optique, il n'est pas exclu de penser enfin que le développement vers l'Ouest du domaine salifère soit le résultat d'une aggradation de la zone subsidente par adjonction de compartiments de plus en plus occidentaux et primitivement séparés par des failles perpendiculaires à l'allongement du bassin.

III - ENSEMBLE SUPRA-HALITIQUE

Les formations constituant l'ensemble supra-halitique, Marnes à anhydrite, Formation intermédiaire argilo-gréseuse et Dolomie moyenne, enregistrent les différentes phases de l'évolution post-halitique du bassin keupérien et leur signification ne peut être valablement appréhendée que dans ce cadre général. Aussi, avant d'envisager une interprétation paléogéographique globale de ce domaine, convient-il de faire le bilan des acquisitions, géométriques et autres, propres à chacune d'elles.

A - LES FAITS

1 - MARNES A ANHYDRITE

1 - Cette formation accuse en Lorraine une puissance moyenne de l'ordre de 40 m, pouvant atteindre 50 m au centre des "fenêtres à Toit du Sel déprimé" et plus encore, semble-t-il, mais elle est alors difficile à limiter, à l'aplomb des bordures du Sel (Pl. IX).

A partir des corrélations latérales qui ont pu être établies entre les principaux bancs d'anhydrite, les augmentations d'épaisseur semblent se réaliser "par la base", où les occurrences sulfatées deviennent plus abondantes, conjointement à la réduction du Sel sous-jacent.

2 - En Champagne, les Marnes à anhydrite se développent sur une épaisseur considérablement moindre et, comme en Lorraine, davantage constante dans l'axe du bassin (5 à 10 m) que vers les bordures ou à l'aplomb des fenêtres (34 m au sondage des Quatre-Bras).

3 - Dans la zone centrale du bassin, l'étude de la signification du Toit du Sel a montré qu'en Lorraine, cette formation reposait sur un ensemble halitique arasé - l'aspect discordant de ce contact sur les profils étant davantage le reflet des dé-

formations dues à l'exagération des hauteurs par rapport aux distances horizontales que l'image de la réalité - alors qu'en Champagne, elle semble être en continuité avec le Sel.

4 - Enfin, cette particularité étant sans doute la plus importante du point de vue de ses implications paléogéographiques, les Marnes à anhydrite sont partout couronnées par une suite de bancs anhydritiques suffisamment rapprochés pour paraître localement contigus et totalisant une puissance comprise entre 5 et 10 mètres environ. Cette barre anhydritique, qui a été reconnue aussi bien à la verticale du Sel qu'au delà de ses limites d'extension (Silvarouvres : 25 km au Sud de l'accident médio-parisien ; Sainte-Menehould : plus de 15 km au Nord de la limite septentrionale du Sel champenois par exemple), présente une continuité latérale tout à fait remarquable.

Son absence certaine n'a pu être établie qu'en un seul endroit, au sondage VA 1, c'est-à-dire au centre de la "fenêtre à Toit du Sel déprimé" de Cerville. Le Toit des Marnes à anhydrite y est sécant par rapport à la stratification clairement soulignée par les bancs d'anhydrite sous-jacents de sorte que l'origine érosionnelle de cette lacune paraît ici évidente (à moins que les lithofaciès argilo-silteux rapportés à la base de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse sus-jacente n'en constituent l'équivalent latéral).

Remarque : Il faut souligner que l'affirmation de la constance de la "plaque" anhydritique terminale ne repose pas uniquement sur la prise en considération des sondages ayant fait l'objet d'enregistrements diagraphiques. Elle y est certes plus évidente qu'ailleurs (Gamma ray ou Latérolog) mais elle a également été identifiée dans tous les sondages de reconnaissance qui ont traversé en carottage l'ensemble supra-halitique. Les quelques affleurements naturels ainsi que la localisation des nombreuses carrières de gypse ouvertes jadis pour les besoins locaux à une quinzaine de mètres sous la Dolomie moyenne confirment par ailleurs la constance et la continuité latérale de ce niveau particulier, en Lorraine du moins.

Seuls les sondages réalisés sur le mode destructif, et en particulier ceux effectués pour la reconnaissance du Sel, ne l'individualisent pas nettement et ne permettent pas de placer le Toit des Marnes à anhydrite avec une grande précision. Peut-être aussi en raison du peu d'intérêt porté à ces formations, cette particularité est vraisemblablement imputable au fait, déjà signalé, que les cuttings minimisent l'anhydrite (ou le gypse).

2 - FORMATION INTERMEDIAIRE ARGILO-GRESEUSE

Cette formation est constituée en quasi totalité par les lithofaciès appartenant au Grès à roseaux. Aussi, et en raison de la signification particulière de cet épisode sédimentaire, les informations rapportées ci-après concerneront-elles essentiellement le Grès à roseaux et ses relations avec la série halitique.

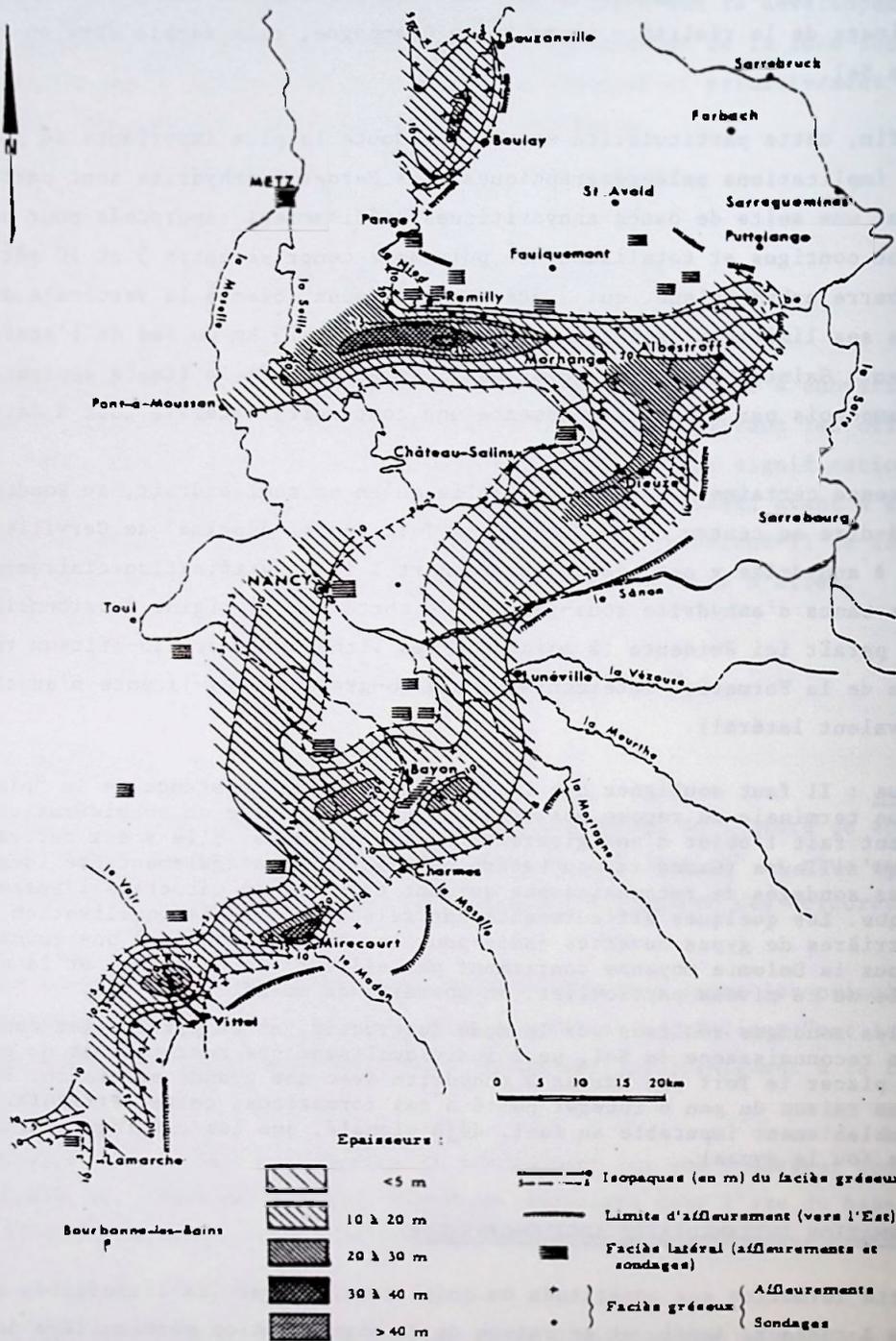


Fig. 15 - Isopaches du faciès gréseux du Grès à roseaux en Lorraine (in Palain, 1966).

1 - Bien connu à travers tout l'Europe, de la Scandinavie au Sud de l'Espagne, le Grès à roseaux a déjà été étudié en Lorraine, tant du point de vue sédimentologique que du point de vue paléogéographique (Palain, 1966). Il est désormais classique d'y reconnaître deux faciès qui s'enchaînent latéralement : l'un gréseux (= Grès à roseaux *s. str.*), fin, relativement argileux, micacé (muscovite et biotite), plus ou moins feldspathique (feldspaths alcalins) et à débris végétaux suffisamment nombreux parfois pour constituer des veines de lignite, l'autre, argileux (= faciès latéral), ne s'individualisant macroscopiquement que par la présence de paillettes de muscovite et, de ce fait, beaucoup plus difficilement identifiable en sondage que son homologue gréseux.

2 - Les données de sub-surface, complétées par des études d'affleurements ont permis de préciser la répartition spatiale de ces deux lithofaciès et la carte des isopaques du faciès gréseux (fig. 15), reprise du travail de Palain, montre que la distribution de ce dernier n'est pas aléatoire. L'aire d'extension du grès traverse en effet la Lorraine du Nord au Sud et se subdivise dans le détail en plusieurs tronçons qui se superposent aux grands traits de la structure actuellement reconnue :

- le premier tronçon, à l'Est de Metz, entre Bouzonville et Pange, se situe approximativement sur le flanc nord de l'anticlinal de Lorraine ;
- le deuxième, au Sud de Remilly et allongé sensiblement E-W entre Pont-à-Mousson et Albestroff, jalonne la retombée de cette structure vers le synclinal de Sarreguemines ;
- le troisième, sinueux entre Albestroff et Lamarche, suit d'assez près dans son tiers NE le flanc sud de ce synclinal et se résoud, au SW de Lunéville, dans cette région précisément connue pour présenter une structure moins cohérente, en une suite d'ombilics anastomosés.

3 - L'étude de la répartition spatiale des corps sableux et celle des figures sédimentaires internes, complétées par l'analyse séquentielle, conduisent Palain à attribuer à cette formation une origine fluviatile. Développé dans un paysage envahi par une végétation hygrophile, le faciès sableux correspond au remplissage de chenaux, d'ailleurs divagants à l'intérieur de zones relativement étroites et avec des sens d'écoulement statistiquement orientés du NNE vers le SSW, le faciès latéral résultant du comblement des bassins marécageux périphériques par des détritiques très fins, des lithofaciès argileux, carbonatés et même sulfatés.

Cette conception rejoint celle déjà formulée par Würster (1964) pour le Grès à roseaux du domaine germanique mais s'oppose à celle de Brown et Fisher (*in Fisher et al.*, 1971) qui voyaient dans le Grès à roseaux l'exemple d'une formation "*high - constructive elongate or birdfoot delta sands*" comparable à l'actuel système deltaïque du Mississippi.

4 - Parallèlement, la géométrie de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse a été établie et se trouve matérialisée par la cartographie de ses courbes isopaques (Pl. XIV). Cette façon de faire, qui intègre le Grès à roseaux *s. str.*, son équivalent latéral argileux ainsi que les Marnes bariolées intermédiaires, répond à la réalité des informations que fournissent les enregistrements diagraphiques, sur lesquels ces différents ensembles ne sont pas toujours nettement différenciables. En dépit des incertitudes qui entachent inévitablement ce genre de représentation, deux constatations peuvent être faites :

- la cartographie de la Formation intermédiaire totale se superpose assez bien à celle du faciès gréseux du Grès à roseaux seul. Ceci apporte une confirmation au fait déjà observé sur certains profils (Pl. IX par exemple) à savoir que l'épaississement de la formation intermédiaire se réalise par un engraissement des lithofaciès gréseux du Grès à roseaux.

- la confrontation de la géométrie du Sel, matérialisée par les limites d'extension des unités halitiques, à celle de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse montre que les zones de plus fortes épaisseurs de cette dernière (20 à 40 m) sont préférentiellement situées à l'aplomb des amincissements du Sel, qu'ils correspondent aux bordures du domaine halitique ou aux "fenêtres à Toit du Sel déprimé". Cette disposition est particulièrement nette en bordure SE du bassin où les épaisseurs maximales de la Formation intermédiaire correspondent aux zones où les unités L et parfois N sont présentes au toit du gisement, ainsi qu'à la verticale de la fenêtre de Cerville. Cette correspondance n'est toutefois pas absolue et un certain nombre de disharmonies peuvent être relevées : à l'Est de Metz et à l'Ouest de Vittel par exemple où le Sel est nettement en retrait par rapport à la Formation intermédiaire ou à l'extrémité NE du bassin où cette dernière est décalée vers le Sud par rapport à la zone de réduction du Sel liée à l'anticlinal de Morhange.

Inversement, les zones de moindre épaisseur, une dizaine de mètres en moyenne, où les lithofaciès gréseux sont par ailleurs très réduits sinon absents, se superposent à l'aire d'extension de l'unité Q, c'est-à-dire aux territoires où le Sel présente un développement maximum et il n'est pas sans intérêt de noter que cette seconde relation semble beaucoup plus stricte que la précédente.

3 - DOLOMIE MOYENNE

Les faits à retenir concernant la Dolomie moyenne sont de deux ordres :

- 1 - D'un point de vue géométrique, la Dolomie moyenne est caractérisée par une constance tout à fait remarquable. Un peu à la manière de l'horizon sulfaté qui termine

les Marnes à anhydrite, elle s'étale d'une part à travers tout le domaine de Lorraine-Champagne et déborde largement les limites d'extension du Sel. Elle présente d'autre part une puissance qui, "chapeau d'anhydrite" compris, ne varie que très peu autour d'une valeur moyenne de l'ordre de 10 m dans la quasi totalité du bassin et diminue seulement à proximité des bordures (6 m seulement à Auzécourt). Au voisinage de ses zones d'affleurement, elle accuse toutefois une épaisseur moyenne moindre, 7 m environ, par dissolution de l'anhydrite terminale.

2 - D'un point de vue génétique ensuite, cette formation présente toutes les caractéristiques d'une dolomie syngénétique (Baroz, 1967) dont l'origine marine (Courel et Durand, 1980) est attestée par les rares fossiles qui ont pu y être récoltés (*Turbonilla*, *Procerithium*, *Myophoria vestita*, Minoux, 1964 et 1967 ; *Avicula caudata*, *Myophoria goldfussi*, Minoux et Ricour, 1946 ; *Myophoria goldfussi*, *Limulus vicensis*, *Cancellophycus keuperinus*, Maubeuge, 1949).

Par ailleurs, la présence constante d'anhydrite, soit en cristaux dispersés dans la masse carbonatée (Baroz, 1967), soit en bancs individualisés à son sommet, implique un milieu confiné (Courel et Durand, 1980).

B - IMPLICATIONS

Les différentes formations constituant l'ensemble supra-halitique livrent ainsi un certain nombre d'arguments qui permettent d'envisager la suite de l'histoire de ce bassin en apportant des réponses à certaines questions essentielles telles que : quelle est la signification du Toit des Marnes à anhydrite ? ou : est-il possible de préciser la bathymétrie de ce bassin ?

1 - SIGNIFICATION DU TOIT DES MARNES A ANHYDRITE

Dans ce contexte évaporitique où les aires haligènes sont désormais établies en Champagne, la Lorraine ne constitue plus qu'une zone de passage empruntée par le flux marin venant de la Mer germanique à l'Est et alimentant la zone de subsidence maximale située à l'Ouest.

La série sédimentaire développée en Lorraine entre le Toit du Sel (considéré comme une surface d'érosion anté-unité R) et la plaque terminale des Marnes à anhydrite, représente l'équivalent latéral des unités halitiques champenoises R et S. Cette ségrégation d'Est en Ouest des lithofaciès évaporitiques matérialise ainsi dans le bassin un gradient de concentration antéro-postérieur résultant d'une concentration progressive par évaporation de l'apport d'eau déjà sursalée au cours de son transit

lorrain et du piégeage des saumures les plus denses, c'est-à-dire les plus concentrées, dans la zone de subsidence maximum centrée sur la Champagne.

Indépendamment de cette question d'équivalence latérale, le problème fondamental qui se pose concerne la signification du Toit des Marnes à anhydrite. Il est en réalité double et peut être ainsi formulé : Pourquoi la plaque anhydritique envahit-elle la totalité du bassin, ou presque, surmontant les Marnes à anhydrite en Lorraine et plus ou moins directement le Sel en Champagne d'une part, et comment cette anhydrite terminale n'est-elle pas surmontée par de la halite comme le voudrait la logique de l'évolution d'un bassin évaporitique d'autre part ?

La réponse à la première question est relativement simple. L'anhydrite terminale ainsi que les quelques mètres d'argilites sous-jacents, qui apparaissent d'ailleurs sur tous les enregistrements diagraphiques sous la forme d'une forte déflexion vers le pôle "argiles", doivent être considérés comme un nouvel épisode sédimentaire, développé dans un bassin où la subsidence a cessé d'être différentielle. La sédimentation se réalise alors de façon homogène dans tout le bassin qui devait alors ressembler à une vaste étendue d'eau étale : décantation de la phase argileuse d'abord, premiers termes de la séquence évaporitique (dolomie et anhydrite) ensuite.

La distribution de l'anhydrite en plusieurs bancs individualisés (3 ou 4) montre que cette unité sédimentaire est en réalité constituée par la superposition de doublets argilite-anhydrite de sorte que l'épisode sédimentaire global correspondant n'est que l'intégration d'autant de phases de sédimentation caractérisées chacune par la succession décantation-évaporation.

Ainsi, et plusieurs fois de suite, la sédimentation se réalise-t-elle de façon uniforme dans tout le bassin et systématiquement interrompue au stade anhydrite.

Quant à l'absence de halite au toit de l'anhydrite, son explication reste du domaine des hypothèses. Y a-t-il eu non-dépôt du sel gemme ou élimination de ce dernier très tôt après sa formation ?

A l'appui de la première éventualité, il est possible d'invoquer une dessalure du bassin consécutive à l'apport massif d'eau douce correspondant à l'arrivée du Grès à roseaux. Dans ce cas, le Toit des Marnes à anhydrite serait un diastème majeur marquant le passage brutal à des conditions de sédimentation nouvelles, caractérisées par un apport de détritiques terrigènes relativement grossiers dans un contexte hydrodynamique continental.

Il est également possible de penser que l'évolution évaporitique du bassin s'est poursuivie jusqu'au dépôt du sel, ce dernier ayant été ensuite érodé. La première possibilité d'érosion envisageable consiste en une déflation éolienne impliquant une mise

à sec du bassin. Outre que cet assèchement est loin d'être démontré (voir "bathymétrie du bassin" ci-après), la généralisation même du phénomène, autant pour la mise à sec que pour la déflation, rend cette possibilité peu crédible.

La dissolution du sel par le flux d'eau douce responsable de l'apport du Grès à roseaux constitue une seconde éventualité beaucoup plus plausible. On peut s'étonner toutefois que, nulle part, le moindre témoin de Sel n'ait été conservé. Dans cette optique, le Toit des Marnes à anhydrite correspondrait également à un diastème majeur mais ayant valeur de surface d'érosion.

Il est délicat de trancher entre ces deux hypothèses, dessalure ou dissolution, et le choix s'avère d'autant plus difficile que, dans les deux cas, l'éventualité d'une érosion du substratum anhydritique reste possible. Des figures telles que celle enregistrée au centre de la "fenêtre" de Cerville (Pl. X) où le Toit des marnes à anhydrite est sécant par rapport aux bancs anhydritiques sous-jacents ne peuvent en effet s'expliquer que par un surcreusement. Si les possibilités érosives des courants porteurs du Grès à roseaux se conçoivent aisément, il est par contre impossible d'affirmer si elles se sont exprimées avant le dépôt du sel ou après son éventuelle dissolution. Le problème reste entier et ne peut être résolu dans l'immédiat. La discussion ne sera donc pas poursuivie davantage et nous retiendrons seulement que le Toit des Marnes à anhydrite doit être considéré comme un diastème majeur marquant le passage d'une sédimentation évaporitique à une sédimentation détritique terrigène continentale et pouvant être localement érosif.

2 - BATHYMETRIE DU BASSIN

Il n'existe aucun argument direct susceptible d'apporter une indication précise relative à la bathymétrie du bassin évaporitique keupérien. Les études sédimentologiques fines ne sont pas encore assez avancées et même si de l'anhydrite nodulaire par exemple a pu être observée au sein des intercalaires argileux séparant les bancs de sel, la signification de cette dernière est trop controversée pour être décisive (Dean, 1975).

Il existe par contre un faisceau de présomptions évoquant une bathymétrie relativement faible, le principal indice en étant représenté par le Grès à roseaux. Le flux d'eau douce, vecteur du Grès à roseaux traverse en effet la France du Nord au Sud et coupe obliquement le bassin évaporitique keupérien. Il est ainsi difficile d'imaginer un courant fluvial franchissant un bras de mer profond ne serait-ce que de quelques dizaines de mètres, gardant les mêmes caractéristiques hydrodynamiques

sur les deux rives et se poursuivant au delà. Il est au contraire beaucoup plus logique d'envisager un bassin keupérien extrêmement plat et compte tenu du faible apport terrigène, très vraisemblablement semblable en cela au relief des terres émergées environnantes. A l'arrivée du Grès à roseaux, ce n'était plus en fait un véritable bassin mais une immense étendue très aplanie dont le fond était tapissé par un dépôt de sulfates, sommet des actuelles Marnes à anhydrite. C'est dans cet environnement soumis à une subsidence momentanément homogène, ou non différentielle, que s'accumuleront les lithofaciès de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse puis, après rétablissement des influences marines, la Dolomie moyenne.

La conséquence de cette conception est importante ; un banc d'anhydrite semblable à celui qui termine les Marnes à anhydrite existe au Toit de la Dolomie limite de la Lettenkohle, un autre quelques mètres au-dessus dans les Couches à pseudomorphoses. Si l'on attribue à ces bancs anhydritiques les mêmes conditions de formation, bathymétrie très faible en particulier, il faut admettre que tout au long de la sédimentation de la série évaporitique des Marnes irisées inférieures et moyennes, la profondeur du bassin a toujours été très faible sur toute son étendue. Ceci rejoint d'ailleurs les conclusions formulées à l'égard du Sel triasique du Cheshire considéré comme "... deposited from standing bodies of water which were at most only several metres deep" (Arthurton, 1980, in Tucker et Tucker, 1981).

Dans cette optique, le bassin était comblé au fur et à mesure qu'il s'approfondissait de sorte que, aux problèmes de compaction près, l'épaisseur de la série sédimentaire envisagée matérialise l'amplitude de la subsidence qui s'est réalisée pendant la période correspondante.

Jusqu'à présent, et volontairement, il n'a été fait état que d'une bathymétrie faible ou très faible. Dans cet esprit, est-il possible d'envisager une profondeur nulle, à certaines périodes du moins, conduisant à l'émersion ?

Les indices en ce sens sont rares. Tout au plus faut-il mentionner à cet égard, un réseau polygonal, décimétrique, de fentes en coin, observable dans la mine de Varangéville, au sein de la couche N2 où se développe l'actuelle exploitation. Des figures similaires ont été décrites dans la mine de Winsford (Cheshire) et attribuées à un phénomène de contraction thermique affectant la halite lorsqu'après son dépôt, elle est soumise à une exposition à l'air (R. Tucker & M. Tucker, 1981).

Ce fait constitue un argument sérieux en faveur de l'émersion. Il est hélas unique et, bien que la mine de Varangéville constitue le seul endroit où le sel puisse être observé *in situ*, difficilement généralisable. Il serait logique de penser que cette émersion s'est reproduite après le dépôt de chaque banc de sel, mais rien ne permet

de l'affirmer. Il est par ailleurs tout à fait improbable qu'elle ait pu affecter le bassin dans sa totalité car les sels ultimes de l'évaporation de l'eau de mer (sylvinite) n'existent nulle part*. De tels sites où les traces d'émergence peuvent être constatées doivent plutôt être considérés comme des emplacements localisés où le fond s'est trouvé légèrement et momentanément exondé. Il est par ailleurs curieux de constater qu'aucune trace de mise à sec, fentes de dessiccation par exemple, n'a jamais été signalée dans les formations argileuses à la périphérie du sel. Encore que ce fait soit explicable dans la mesure où, compte tenu de la structure actuelle, ce sont les zones les plus sujettes à l'émergence, c'est-à-dire les plus marginales, qui sont préférentiellement détruites par l'érosion, il n'en est pas moins troublant.

Ainsi, faute d'arguments que les études sédimentologiques ultérieures révéleront peut-être, devra-t-on admettre que ce bassin est toujours resté sous une faible tranche d'eau, seulement percée localement par de légères élévations momentanées du fond.

En dépit des apparences davantage révélatrices *a priori* d'un milieu calme et homogène, donc profond, fine rythmicité de la série et étonnante constance latérale des corps sédimentaires par exemple, le bassin halitique keupérien de Lorraine - Champagne peut-être considéré comme un domaine subsident où, la sédimentation compensant l'approfondissement, la bathymétrie est toujours demeurée très faible (de l'ordre de la dizaine de mètres par exemple). L'évaporation, responsable de la précipitation des évaporites, ne semble pas avoir conduit à sa mise à sec systématique et la permanence d'une fine lame d'eau superficielle, interrompue localement par de faibles bombements momentanés du fond, paraît devoir être retenue.

Pour particulière qu'elle soit, l'image de ce bassin s'accorde tout à fait avec le caractère transgressif de cette apophyse du domaine germanique qui, en communication constante avec le bassin nourricier, s'étale progressivement vers l'Ouest sur la plateforme triasique nivelée par les épandages continentaux antérieurs.

3 - LE PROBLEME DU GRES A ROSEAUX

Dans ce contexte de bassin extrêmement plat et jamais profond, les épaisissements localisés et parfois importants de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse, consécutifs à des engraisements du faciès gréseux du Grès à roseaux, deviennent paradoxaux.

* Certes, l'absence des sels ultimes n'est pas en contradiction avec une mise à sec, les saumures résiduelles étant piégées dans la halite et fournissant les éléments nécessaires à la réalisation diagénétique de la polyhalite par exemple. Mais il est curieux de noter que cette dernière n'est pas plus systématiquement représentée.

Peut-être, les zones de plus forte épaisseur du Grès à roseaux correspondent-elles à des zones de subsidence accrue au cours de son dépôt ? Cette proposition implique cependant trop de conditions particulières concernant la localisation de ces zones de subsidence accélérée pour pouvoir être retenue.

Il est plus vraisemblable de penser que les éléments détritiques grossiers constituant le Grès à roseaux s. str. ont été piégés dans des dépressions résultant d'une dissolution du sel à travers les Marnes à anhydrite par des eaux intersticielles issues des eaux douces qui balayaient alors le bassin.

Cette hypothèse a déjà été avancée à propos de la recherche de la signification du Toit du Sel. Elle trouve simplement ici une confirmation par la généralisation de la distribution particulière du lithofaciès gréseux.

La seule question qui se pose est de savoir pourquoi la dissolution du sel s'effectue préférentiellement au niveau de ses bordures ou de ses "fenêtres". Peut-être faut-il voir dans cette localisation la manifestation des failles qui ont été évoquées à propos de la délimitation des compartiments crustaux dont les enfoncements seraient responsables de la subsidence de ce bassin.

Il a été dit qu'elles devaient se situer à l'aplomb, ou à proximité, des marges du Sel. Par ailleurs, leur perennité, attestée par les accidents cassants actuellement reconnus en surface aussi bien sur les flancs des ondulations anticlinales (faille de Metz) que sur les dômes du type Cerville, autorise leur rejou au cours du dépôt du Grès à roseaux. Par les discontinuités créées, fonctionnant comme des drains, elles ont pu ainsi favoriser la percolation des eaux douces à travers les Marnes à anhydrite et occasionner une dissolution préférentielle du sel à leur voisinage.

IV - CONCLUSION

Le bassin salifère keupérien de Lorraine - Champagne apparaît ainsi comme un golfe largement ouvert sur le bassin germanique. A la fin du Keuper moyen, il s'étend en effet des Ardennes au Nord jusqu'au Morvan au Sud et ne s'enfonce guère dans les terres au-delà de Sézanne à l'Ouest (Pl. II).

Trois points essentiels résument la dynamique de ce bassin :

- c'est un bassin subsident mais, la sédimentation compensant l'enfoncement du plancher sédimentaire, la profondeur semble y conserver une valeur sensiblement constante et toujours faible.

- A l'échelle du bassin, la subsidence est légèrement différentielle, les zones de plus forte subsidence correspondant aux aires halitiques.
- La zone de subsidence maximale, matérialisée par les aires halitiques successives, subit, au cours du Keuper inférieur et moyen, une migration progressive d'Est en Ouest qui contrôle la transgression de la Mer germanique et l'installation sur la plate-forme triasique d'un golfe marin de plus en plus allongé.

C'est à ce dernier point que cette période doit son originalité et son caractère décisif dans l'évolution paléogéographique régionale. La migration de la zone de subsidence maximale conduit en effet, à la fin de l'épisode halitique, à une ébauche de bassin centré sur la Champagne qui, tout en restant en communication avec la Mer germanique, n'en constitue pas moins le premier stade de l'individualisation de l'actuel Bassin de Paris. L'histoire de ce bassin plonge ainsi ses racines jusqu'en Lorraine et il n'est pas sans intérêt de rappeler que les accidents structuraux qui affectent sa bordure orientale actuelle représentent l'héritage direct des structures qui contrôlèrent jadis la distribution du Sel keupérien.

CONCLUSION

Fondée exclusivement sur les données de subsurface, les diagraphies différées ayant été à cet égard d'un intérêt primordial, cette étude géométrique des Marnes irisées inférieures et moyennes du domaine de Lorraine - Champagne a été conduite avec un double objectif : établir un cadre architectural précis pour des études sédimentologiques ultérieures d'une part, reconnaître d'autre part les caractéristiques spatiales des corps évaporitiques qui font la particularité de cette série sédimentaire en vue de leur confrontation avec les dispositifs "anatomiques" requis par les divers modèles génétiques existants.

A - PARTICULARITES GEOMETRIQUES ET IMPLICATIONS GENETIQUES

Dans ce bassin allongé selon une direction sensiblement Est-Ouest et largement ouvert sur le domaine germanique par son extrémité orientale, la halite occupe globalement une position axiale et son aire d'extension se superpose aux zones de plus forte épaisseur de la série sédimentaire totale. Elle passe latéralement à des formations anhydritiques alors que les dépôts détritiques, où les argilites prédominent très largement, sont seuls présents dans les zones périphériques sans pour autant disparaître de la zone centrale à évaporites. Ils y sont en effet toujours représentés sous la forme d'intercalaires argileux individualisant les bancs de sel ou d'anhydrite. Ils constituent également, conjointement avec une phase anhydritique nettement minoritaire, des lamines qui subdivisent encore les bancs halitiques en unités d'épaisseur d'ordre décimétrique qui se situent ainsi très en deça du pouvoir de résolution de l'outil diagraphique utilisé.

La variabilité dans le temps de la rythmicité de l'alternance argilite - sel gemme est à l'origine de l'individualisation d'un certain nombre d'unités (L, M, N, O, P, Q, R et S), artificielles peut-être, mais caractérisées chacune par une architecture particulière qui s'est révélée constante latéralement jusque dans le détail de la distribution des bancs les plus minces qui puissent être appréhendés (0,5 m environ) et de ce fait toujours identifiables en sondages. La reconnaissance de cette particularité a permis d'aborder l'étude détaillée du Sel. Il apparaît ainsi constitué par

l'empilement d'unités successives, toujours localisées dans la zone axiale du bassin et qui, d'abord limitées au domaine lorrain (unité halitique L), s'étendent ensuite vers l'Ouest pour occuper également le centre du domaine champenois (unités N, O, P et Q). A la fin de l'épisode halitique, les unités R et S sont strictement réduites à la Champagne où elles enregistrent (S essentiellement) un certain rétrécissement, leur équivalent latéral en Lorraine étant constitué par un ensemble où les évaporites ne sont plus représentées que par les sulfates : les Marnes à anhydrite. Il est dès lors possible d'affirmer la continuité de l'ensemble halitique entre les domaines lorrain et champenois et son diachronisme au sein des Marnes irisées.

D'un point de vue dynamique, les caractéristiques géométriques des corps sédimentaires mises en évidence, et dont les principales ont seules été rappelées ci-dessus, traduisent la transgression d'Est en Ouest des faciès évaporitiques. Dans ce bassin soumis à une subsidence différentielle, elle semble contrôlée par la migration dans le même sens de la zone de subsidence maximum, sa localisation en Champagne à la fin de la période halitique marquant les premières phases de l'individualisation de l'actuel Bassin de Paris.

Par ailleurs, diverses constatations telles que la monotonie des faciès, la constance de la barre anhydritique terminant les Marnes à anhydrite, la régularité de la Formation intermédiaire argilo-gréseuse (qui incorpore les faciès fluviatiles du Grès à roseaux), la généralisation de la Dolomie moyenne en couronnement de la série étudiée, suggèrent une bathymétrie relativement constante dans ce bassin ainsi qu'une sédimentation sous faible tranche d'eau.

B - ORIGINALITE DU BASSIN KEUPERIEN DE LORRAINE - CHAMPAGNE PAR RAPPORT AUX MODELES DE SEDIMENTATION EVAPORITIQUE

Par l'origine marine du sel gemme que l'on y observe, établie de façon indubitable par la géochimie du brome (Geisler, 1979), ce bassin ne peut-être assimilé à une cuvette endoréique alimentée en sels par le lessivage des terres environnantes (Ricour, 1964). Il ne saurait davantage être rapproché du type sebkha supra-tidale tel qu'il est envisagé par Shearman (1966) à propos de l'étude de la Côte des Pirates (Trucial coast), en bordure du Golfe persique (émirat d'Abu Dhabi). En effet :

- l'étonnante continuité latérale des bancs de sel, dépourvus en outre de craquelures et de structures en "teepee" (Busson, 1974 b), s'accorde mal avec ce modèle.
- la présence de nodules d'anhydrite dans les argilites et de polyhalite associés au sel constitue des arguments certes favorables mais insuffisants. On sait en effet que

les premiers sont reconnus comme des critères équivoques (Dean, 1975) et que les seconds, s'ils peuvent prendre naissance par diagenèse subaérienne dans certains lagons sporadiquement inondés (Ojo de Liebre) par réaction des saumures résiduelles potassiques et magnésiennes sur le gypse (Phleger, 1969), peuvent également se développer diagénétiquement dans des formations s'étant déposées sous faible couverture d'eau (Sebkha el Melah, Busson et Perthuisot, 1977).

- La disposition relative des sels - l'anhydrite représentant le faciès latéral de la halite - et leur position centrale dans le bassin établissent que la sédimentation s'est faite sous une certaine tranche d'eau (*ibid.*).

Aux autres modèles, d'ailleurs les seuls susceptibles de rendre compte de l'épaisseur et de l'extension du gîte keupérien, - évaporites de plate-forme et évaporites de cuvette - le bassin keupérien emprunte indifféremment ses particularités. Pour ne retenir que les caractères essentiels de ces deux types d'évaporites (Busson, 1980), on notera que par l'organisation longitudinale - ou antéro-postérieure - des faciès évaporitiques constatée entre la Lorraine et la Champagne par exemple, associée à la transgressivité d'Est en Ouest du domaine sédimentaire, le bassin keupérien s'apparente au type "plate-forme". En revanche, la relation qui apparaît à l'évidence entre la répartition de la halite et les zones de plus forte épaisseur de la série étudiée rapproche davantage ce bassin du type "cuvette" qui, par ses dimensions généralement plus modestes d'ailleurs, s'accorde mieux avec l'extension relativement limitée du domaine keupérien envisagé. On rappellera enfin deux faits qui se complètent et qui éloignent encore le bassin keupérien du type "cuvette" : la contemporanéité globale entre des ensembles halitiques et stériles (Marnes à anhydrite par exemple) et la persistance des détritiques (argilites) jusque dans les régions centrales du bassin avec des épaisseurs voisines de celles qu'ils présentent en dehors de la zone halitique. Le concept de "bassin affamé", lié aux évaporites de cuvette en milieu détritique (Busson, 1980), et dans lequel la halite comble un ombilic central demeuré vide par défaut de détritiques, est ainsi difficilement applicable au bassin keupérien. Il l'est d'autant moins que, dans la mesure où les observations faites en mine (Varangéville) ou sur carotte de sondage (Erbéville) peuvent être généralisées, le Sel, s'il est massif, est toujours coupé par des films argileux et n'est jamais pur que sur des épaisseurs de quelques centimètres au plus.

Ainsi, aucun des modèles déjà proposés ne saurait à lui seul rendre compte des diverses particularités du gisement salifère de Lorraine - Champagne et il semble que la difficulté à intégrer ce Sel keupérien aux modèles classiques soit une caractéris-

tique générale du Sel triasique. Ce fait a, en effet, déjà été signalé à propos des évaporites du Trias du Sud-Est français (*ibid.*).

La nécessité se fait donc sentir d'élaborer un modèle original pour le Keuper, qui expliquera certainement les diverses évaporites triasiques, et les informations apportées par cette étude, permettent d'ores et déjà d'en esquisser un schéma.

Au sein du bassin de Lorraine - Champagne, la fine rythmicité de la série keupérienne semble pouvoir être expliquée par des variations des conditions météorologiques telles qu'elles ont déjà été invoquées à propos du Zechstein d'Allemagne (Richter-Bernburg, 1953). Se traduisant dans le bassin de sédimentation par la prédominance alternée des influences "marines" et continentales, elles sont à même de rendre compte de l'alternance caractéristique argilites - évaporites. Dans cette hypothèse, l'eustatisme, déjà reconnu comme facteur déterminant de la sédimentation évaporitique (Busson, 1974) n'est envisagé que pour expliquer les retours sporadiques à des conditions moins concentrées, Dolomie moyenne par exemple.

Mais dans l'état actuel des connaissances, qui portent essentiellement sur la distribution des faciès évaporitiques, sa présentation détaillée paraît prématurée. L'étude sédimentologique des détritiques associés, telle qu'elle est prévue, devrait permettre de l'infirmier ou, au contraire, de le préciser, augmentant de ce fait sa crédibilité.

Précisons pour conclure que la mise au point de ce modèle, en plus des caractéristiques spatiales des évaporites mises ici en évidence et qui seront prochainement complétées par celles des bassins d'Alsace et de Jura - Bresse, devra tenir compte du fait capital suivant : Au Keuper, les domaines salifères de l'Est de la France n'étaient que des apophyses occidentales de la Mer germanique, alors réduite à l'état de lagune sursalée et azoïque. Aussi, l'analyse d'un bassin tel que celui de Lorraine - Champagne, même si elle ne fournit qu'une vue partielle du vaste domaine évaporitique qui couvrirait alors toute cette partie de l'Europe, présente l'avantage de porter sur un territoire tout à fait distal où la différenciation des faciès est beaucoup plus complète qu'en son centre et, de ce fait, susceptible de fournir le maximum d'éléments nécessaires à la compréhension de la genèse des évaporites triasiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BAROZ F. (1967). - Contribution à l'étude de la Dolomie de Beaumont (Keuper moyen) de Lorraine. *D.E.S. Sci. Nat.*, Nancy, 84 p., 4 pl., 16 tabl., 2 cartes.
- BAUER J. (1974). - Evaporites de rift. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 209-234.
- BERTAUX J.-P. (1972). - Le Sel et la Lorraine. *Bull. "L'ingénieur des industries chimiques"*, n° 68, 13 p.
- BERTRAND J.-P. et JELISEJEFF A. (1974). - Formation d'évaporites par des processus d'évaporation capillaire. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 161-170.
- BONTE A. (1951). - Contribution à la stratigraphie du Trias du Jura. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6), I, pp. 319-331.
- BONTE A. (1955). - Sur quelques modifications subies par les gîtes salifères. *Géol. Rundsch.*, B. 43, H.2, pp. 518-526.
- BONTE A. (1961). - Conditions d'exploitabilité des gypses du Keuper. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 661-665.
- BOURCART J., RICOUR J. (1952). - Une hypothèse sur les conditions de sédimentation des niveaux salifères du Trias. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, n° 3, pp. 37-38.
- BOURCART J., RICOUR J. (1952). - Essai sur les conditions de sédimentation des niveaux salifères du Trias. *19ème Congr. géol. intern.*, Alger, (1954), C.R. section XIII, pp. 35-47.
- BRACONNIER M.A. (1883). - Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe et Moselle. Grosjean et Savy éd., Nancy et Paris, 436 p., 264 fig.
- B.R.G.M. (1980). - Synthèse géologique du Bassin de Paris. *Mém. B.R.G.M.*, n° 101, 102 et 103.
- BUSSON G. (1968). - La sédimentation des évaporites. Comparaison des données sahariennes à quelques théories, hypothèses et observations classiques ou nouvelles. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.* Série C, Sc. de la Terre, T. XIX, fasc. 3 et dernier.
- BUSSON G. (1974 a). - Le Trias évaporitique d'Afrique du Nord et d'Europe occidentale : données sur la paléogéographie et les conditions de dépôt. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XVI, n° 6, pp. 653-665.
- BUSSON G. (1974 b). - Sur les évaporites marines : sites actuels ou récents de dépôts d'évaporites et leur transposition dans les séries du passé. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 189-208.
- BUSSON G., PERTHUISOT J.-P. (1977). - Intérêt de la sebkha el Melah (Sud-Tunisien) pour l'interprétation des séries évaporitiques anciennes. *Sedimentary Géology*, 19, pp. 139-164.
- BUSSON G. (1978 a). - L'unité des faciès confinés en milieu de plate-forme carbonatée. "Livre jubilaire Jacques Flandrin", *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, H.S. 4, pp. 87-112.

- BUSSON G. (1978 b). - Genèse des évaporites : les enseignements des milieux épicontinentaux apparaissent-ils transposables aux évaporites de marge océanique ? *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. XX, n° 4, pp. 533-545.
- BUSSON G. (1979). - Couches laminées riches en matière organique et précédant les roches salines : les enseignements d'un enchaînement de faciès. *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, n° 75, pp. 5-18.
- BUSSON G. (1980). - Les grandes cuvettes évaporitiques en milieu détritique : comment elles se creusent, comment elles se remplissent. *Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A.*, 4, 1, pp. 557-588.
- COLLOQUE SUR LE TRIAS DE LA FRANCE ET DES REGIONS LIMITOPHES. - Montpellier, 1961, - *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, (1963), 742 p., nombr. figures, 4 dépl. h.-t.
- CORROY G. (1934). - Etude stratigraphique et tectonique des régions Nord du seuil de Bourgogne et du Bassin des eaux minérales vosgiennes. *Ann. Fac. Sci. Marseille*, t. VII, fasc. 1, p. 74.
- COUREL L., DURAND M., GALL J.-C., JURAIN G. (1973). - Quelques aspects de la transgression triasique dans le Nord-Est de la France. Influence d'un éperon bourguignon. *Rev. Géog. phys. et Géol. dynam.*, (2), vol. XV, fasc. 5, pp. 547-554.
- COUREL L., DURAND M. (1980). - Synthèse géologique du Bassin de Paris - Trias - Paléogéographie. *Mém. B.R.G.M.*, n° 101, pp. 61-74.
- DEAN W.E. *et al.* (1975). - Sedimentological significance of nodular and laminated anhydrite. *Geology*, vol. 3, n° 7, pp. 367-372.
- DUBOIS P. et UMBACH P. (1974). - A propos du Trias de deux bassins sédimentaires français : le Bassin de Paris et le Bassin du Sud-Est. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. XVI, n° 6, pp. 696-707.
- EVANS W.B. (1970). - The Triassic salt deposits of north-western England. *Jl. geol. Soc. Lond.*, vol. 126, pp. 103-123.
- FISHER W.L., BROWN L.E., SCOTT A.J., Mc GOWEN J.H. (1971). - Delta systems in the exploration for oil and gas. A research colloquium. *Bureau Econ. Geol. Univ. Texas*, Austin.
- FONTES J.-C. (1974). - Echange de vues sur quelques aspects des évaporites. Avant propos. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), vol. XVI, fasc. 2, pp. 147-150.
- FOURMENTRAUX J., PONTALIER Y., LAVIGNE J., POUJOL P. (1959). - Trias, Jurassique inférieur et moyen de l'Est du Bassin de Paris. Présentation de cartes d'isopaques et de lithofaciès. *Rev. Inst. Franç. Pétr.*, XIV, n° 9, pp. 1063-1090.
- FOURMENTRAUX J., PONTALIER Y., CABRIT J.-P. (1967). - Levers structuraux de terrain réalisés en Lorraine par la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine (S.N.P.A.). *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 20, 1, pp. 3-18.
- FRIEDMAN G.M. (1972). - Significance of Red Sea in problem of évaporites and basinal limestones. *A.A.P.G. Bull.*, vol. 56, n° 6, pp. 1072-1086.
- GEISLER D. (1976). - Etude de lithofaciès évaporitiques du Keuper inférieur salifère de la région de Nancy. *4ème Réun. ann. Sci. de la Terre*, Paris.
- GEISLER D., ADLOFF M.-C., DOUBINGER J. (1978). - Découverte d'une microflore du Carnien inférieur dans la série salifère lorraine. *Sci. de la Terre*, Nancy, XXII, n° 4, pp. 391-399.
- GEISLER D. (1979). - Problèmes posés par la géochimie du brome dans les niveaux salifères du Keuper inférieur lorrain. *Sci. de la Terre*, Nancy, XXIII, n° 2, pp. (2)-23 à (2)-38.

- GOY G. et BUSSON G. (1980). - Inventaire des évaporites du sous-sol : les bassins profonds du Trias du Sud-Est français, du Paléogène de Bresse et de Valence. C.R. de fin d'étude d'une recherche financée par la D.G.R.S.T., Action concertée : "Valorisation des ressources du sous-sol", rapport interne.
- HABY R. (1970). - Déformations de la surface du sol sous l'influence des cavités souterraines : état des recherches. *Ann. de l'Est*, mém. n° 37, 274 p. et *Publ. de l'Inst. Géog. Fac. Lettr. Sci. hum. Univ. Nancy*, n° 4.
- HAGUENAUER B. et HILLY J. (1975). - Les environnements continentaux, lagunaires et marins du Muschelkalk, du Keuper, du Lias et du Dogger. *IXème Congr. intern. Sédim.*, Nice, Excursion 8, pp. 24-56.
- JAUZEIN A. (1974). - Les données sur le système CaSO_4 , H_2O et leurs implications géologiques. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 151-160.
- LAUGIER R. (1959). - Observations pétrographiques nouvelles sur les niveaux salifères du Trias moyen de Lorraine. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), I, pp. 31-39.
- LAUGIER R. (1961). - Trias de faciès germanique en Lorraine. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 39-65.
- LE ROUX J. (1971). - Structures tectoniques et anomalies gravimétriques dans l'Est de la France. *Bull. B.R.G.M.*, (2), 1, n° 3, pp. 137-141.
- LE ROUX J. (1975 a). - La prolongation vers l'Est de l'accident médio-parisien. Ses rapports avec le massif Vosges-Forêt noire. *C.R. Acad. Sci. Paris*, série D, t. 280, pp. 547-550.
- LE ROUX J. (1975 b). - Apports de la tectonique de surface à la connaissance du substratum anté-secondaire du Sud de la Lorraine. *3ème réun. ann. Sci. de la Terre*, Montpellier, p. 232.
- LE ROUX J. (1980). - La tectonique de l'auréole orientale du Bassin de Paris, ses relations avec la sédimentation. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. XXII, n° 4, pp. 655-662.
- LEVALLOIS J. (1846). - Mémoire sur le gisement du sel gemme dans le département de la Moselle et sur la composition générale du terrain du Muschelkalk en Lorraine. *Mém. Soc. royale Sci. Lettr. et Arts Nancy*, pp. 1-29, et *Ann. Mines*, 4ème sér., II, pp. 3-26.
- MAGLIONE G. (1974). - Un modèle de sédimentation évaporitique continentale actuelle : le lac Tchad et ses dépendances hydrologiques littorales. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 171-176.
- MAUBEUGE P.-L. (1949). - Données paléontologiques nouvelles sur la Dolomie dite "Dolomie de Beaumont" du Keuper moyen de Lorraine. *Bull. Soc. géol. Fr.*, t. XIX, pp. 43-50.
- MAUBEUGE P.-L. (1950). - Le bassin salifère lorrain. Imprimerie Thomas, Nancy, 147 p.
- MAUBEUGE P.-L. (1950). - Excursion du 25 juin 1950, dans le Saulnois. *Bull. Soc. Sc. Nancy*, Nouvelle série, T. IX, n° 3, pp. 31-37.
- MAUBEUGE P.-L. (1953). - Quelques réflexions et observations stratigraphiques et paléogéographiques à propos du Trias lorrain. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. et Hydrogéol.*, T. LXII, f. 1, pp. 74-86.
- MAUBEUGE P.-L. (1955). - Observations géologiques dans l'Est du Bassin de Paris (terrains triasiques moyens-supérieurs et jurassiques inférieurs-moyens). *Ed. priv.*, Nancy, 2 tomes, 1082 p., LVIII tabl.

- MAUBEUGE P.-L. (1960). - Quelques remarques sur la constitution géologique profonde du Bassin de Paris (terrains triasiques). *Extr. C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, n° 1, p. 7.
- MAUBEUGE P.-L. (1962). - Les données actuelles sur l'extension du bassin salifère lorrain. *Bull. Soc. Lorr. Sci.*, Nancy, n° 1, pp. 62-102.
- MAUBEUGE P.-L. (1964). - La coupe type des "Marnes irisées moyennes" de Contrexéville (Vosges) (et l'échelle stratigraphique type du Trias lorrain). *Bull. Acad. Soc. Lorr. Sci.*, Nancy, T. 3, n° 3, pp. 58-65.
- MAUBEUGE P.-L. (1971). - Observations nouvelles sur le Trias supérieur (Marnes irisées supérieures) au S.E. et N.E. de la région de Metz (Moselle). *Bull. Acad. et Soc. Lorr. Sci.*, Nancy, tome X, n° 4, pp. 50-65.
- MEGNIEN C. (1980). - Synthèse géologique du bassin de Paris. *Mém. B.R.G.M.*, n° 101, 102 et 103.
- MERCIER J. (1951). - Esquisse géologique du département de Meurthe et Moselle. *Bull. Inst. nat. Hyg.*, T. VI, n° 2, pp. 331-358.
- MILLOT G. (1964). - Géologie des argiles. Masson, Paris, 500 p.
- MINOUX G., RICOUR J. (1946). - Découverte de fossiles marins dans la "Dolomie moellon" du Keuper moyen des environs de Mirecourt (Vosges). *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, 5ème série, t. XVI, pp. 445-450.
- PALAIN Ch. (1966). - Contribution à l'étude sédimentologique du "Grès à Roseaux" (Trias supérieur) en Lorraine. *Sci. de la Terre*, XI, n° 3, pp. 245-291.
- PERTHUISOT J.-P. (1974). - Les dépôts salins de la sebkha El Melah de Zarzis : conditions et modalités de la sédimentation évaporitique. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), XVI, 2, pp. 177-188.
- PERTHUISOT J.-P. (1980). - Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle. *Bull. Cent. Rech. Explor. - Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 1, pp. 207-233.
- RICOUR J. (1945). - Sur la localisation des lentilles de houille dans le Keuper moyen de Lorraine. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 23 juillet, t. 221, pp. 111-113.
- RICOUR J., BOURCART J., LEVEQUE P. (1958). - Répartition et origine des sulfates du Trias rencontrés par les sondages profonds du bassin de Paris. *C.R. Acad. Sci.*, t. 247, n° 21, pp. 1882-1885.
- RICOUR J. (1959). - Stratigraphie du Trias du Bassin de Paris. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), I, pp. 3-12.
- RICOUR J. (1960). - La genèse des niveaux salifères. Cas du Trias français. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, (2), vol. III, fasc. 3, pp. 139-148.
- RICOUR J. (1961 a). - Problèmes stratigraphiques et caractères du Trias français. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 19-28.
- RICOUR J. (1961 b). - Esquisse paléogéographique de la France aux temps triasiques. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 715-734.
- RICOUR J. (1962). - Contribution à une révision du Trias français. Paris, Impr. nationale. *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*, Paris, 471 p.
- SCHRÖDER Von Bernt (1977). - Unterer Keuper und Schilfsandstein im germanischen Trias-Randbecken. *Zbl. Geol. Paläont.*, Stuttgart, I, H. 5/6, pp. 1030-1056.

- SERRA O. (1979). - Diagraphies différées. Bases de l'interprétation. Tome 1 : Acquisition des données stratigraphiques. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, Pau, Mém. 1.
- SERRA O. (1980). - Aspects diagraphiques des évaporites. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 1, pp. 411-431.
- SHEARMAN D.J. (1966). - Origin of marine evaporites by diagenesis. *Inst. Mining Met. Trans.*, B, 75, 717, pp. 208-215.
- THEOBALD N., LAUGIER R. (1961). - Trias des abords sud du massif vosgien, du Jura, de la Bresse et de la périphérie du Massif central. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 66-72.
- TRUSHEIM F. (1971). - Zur Bildung der Salzlager im Rotliegenden und Mesozoikum Mitteleuropas. *Beih. geol. Jb.*, Hannover, 112, 51 p.
- TUCKER R.M. et TUCKER M.E. (1981). - Evidence of synsedimentary tectonic movements in the Triassic halite of Cheshire. *Nature*, vol. 290, n° 5806, pp. 495-496.
- VAN WERVEKE L. (1908). - Profil der Trias aus einer Tiefbohrung in Dieuze (Lothr.). *Mitt. geol. Landesanstalt Els. Lothr.*, Strasbourg, t. VI, pp. 361-368.
- VILLEMEN J. (1961). - Trias des sondages du Bassin de Paris de la Régie Autonome des Pétroles. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 89-122.
- WÜRSTER P. (1963). - Les problèmes posés par le Grès à roseaux du Trias supérieur. *Sci. de la Terre*, Nancy, t. IX, n° 2, pp. 197-219.
- WÜRSTER P. (1964). - Geologie des Schilfsandsteins. *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, Heft 33, Text 140 Seiten, 4 tafeln, Hamburg.
- YAPAUDJIAN L. (1961). - Essai de caractérisation des sédiments permien et triasiques dans le bassin de Paris. *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, (1963), pp. 123-145.

ANNEXES

Les tableaux ci-dessous regroupent les principaux sondages utilisés pour cette étude.

Les premiers (tableaux A à D) correspondent aux ouvrages ayant servi à la réalisation des profils présentés sur les planches hors-texte. Seules y figurent leurs références et leurs principales caractéristiques.

Les tableaux suivants (E, F, G, H et I) présentent ces ouvrages regroupés en fonction de leur objectif, leurs références ainsi que les principales informations d'ordre géométrique qu'ils apportent. Les intervalles carottés intéressant le Keuper ont de plus été indiqués pour les «sondages pétroliers» (tableau E).

NUMERO D'ORDRE	DESIGNATION	DATE CODE MINIER	LOCALITE	TECHNIQUES DE FORAGE	MAITRE D'OEUVRE	SURVEILLANCE GEOLOGIQUE	OBJET DE LA RECHERCHE
1	TD 1	1976 229-6-80	Domgermain	destructif et diagrapies (GR)	G.I.E. Risleor	SAMEGA	Reconnaissance
2	Nancy- Thermal 3	1966 230-5-63	Nancy	id.	Ville de Nancy	Serv. Hydrogiol. ENSG, Nancy - Ph. Dague, R. Laugier	Eau
3	Nouveau forage communal	1968 230-6-113	Tomblaine	id.	Ville de Tomblaine	id.	Eau
4	Sond. de Saulxures - S. n. 29	1910 230-6-118	Saulxures	non précisées (carottage ?)	Soc. Saint-Gobain Chauny et Cirey	?	?
5	R. 49	19... 230-6-...	Art-sur-Meurthe (Rape)	destructif et carottage mur du sel	Soudières réunies de La Madeleine	R. Laugier	Sel gemme
6	R. 54	19... 230-6-...	Lenoncourt (Rape)	id.	id.	id.	id.
7	R. 57	19... 230-6-...	id.	id.	id.	id.	id.
8	R. 45	19... 230-6-...	id.	destructif et carottage du sel	id.	id.	id.
9	Puits St-Maximilien - puits n. 1	1855 230-7-30	Varangéville	puits de mine	Mines de sel et Salines de Varangéville Degun et Cie	?	id.
10	Forage de St-Nicolas - Varangéville	1971 230-7-238	id.	destructif et diagrapies (LL, GR)	District	Serv. Hydrogiol. ENSG, Nancy	Eau
11	Puits n. 3 et 4 - n. 12, Braconsier	1856-58 230-7-7	id.	puits de mine	Salines de Rosières Varangéville	?	Sel gemme
12	S. 730	? 230-7-...	Haraucourt	destructif et carottage Form. salifère	Soc. Solvay et Cie	Solvay	id.
13	S. 720	? 230-7-...	id.	id.	id.	id.	id.
14	?	1978 230-7-225	id.	carottage et diagrapies (GR)	id.	id.	id.
15	S. 710	? 230-7-...	id.	destructif et carottage Form. salifère	id.	id.	id.
16	Forage d'Agincourt	1968 230-2-98	Bouxarès- aux-Chânes	destructif et diagrapies (GR)	Syndicat intercommunal des Eaux du Grand Couronné	Serv. Hydrogiol. ENSG, Nancy	Eau
17	S.L.C.R. VIII - Siviard 239	1905-07 (94-7-1	Bris-sur- Seille	destructif battage et rotation	Sociétés lorraines de charbonnage réunies	?	Houille et sel gemme
18	Puits n. 2 - puits Bequey	1921-23 231-1-6	Vic-sur- Seille	puits de mine	MM. Thonnellier, Thiébault et Cie	J. Lavallois	Sel gemme
19	Sondage Brejcha	1906-07 195-7-1	Diezze	carottage	Anciennes Salines domaniales de l'Est	L. Van Wervecke	id.

Tableau A. - Références et caractéristiques des ouvrages des Planches III A et III B (voir fig. 8).

NUMÉRO D'ORDRE	DESIGNATION	DATE CODE MINIER	LOCALITE	TECHNIQUES DE FORAGE	MAITRE D'OEUVRE	SURVEILLANCE GÉOLOGIQUE	OBJET DE LA RECHERCHE
1 (*)	TD 1	1976 229-6-80	Domgermain	destructif et diagraphies (GR)	G.E. Riseior	SAMEGA	Reconnaissance
-	L.V.S.L 1	1956 229-.....	Villey-le-Sec	destructif et diagraphies (LL)	S.N.P.A.	S.N.P.A.	Hydrocarbures
2	Nancy- Thermal 3	1966 230-5-63	Nancy	destructif et diagraphies (GR)	Ville de Nancy	Serv. Hydrogeol. ENSG, Nancy, Ph. Dague, R. Laugier	Eau
15 (**)	S. 710	? 230-7-....	Haraucourt	destructif et carottage Form. salifère	Soc. Solvay et Cie	Solvay	Sel gemme
a	S. 800	? 230-7-....	id.	id.	id.	id.	id.
b	S. 422 ou H. 422	1941 230-7-176	id.	id.	id.	id.	id.
c	Sond. de Cercueil - S. n. 17	1904-05 230-7-184	Buissoncourt	id.	id.	id.	id.
d	VA 10	1968 230-3-93	Cerville	destructif et diagraphies (GR,LL)	Gaz de France	Gaz de France	Reconnaissance
e	VA 50	1975 230-3-....	id.	destructif et diagraphies (GR)	id.	id.	id.
f	VA 5	1966 230-2-11	Seichamps	destructif et diagraphies (GR,LL)	id.	id.	id.
g	VA 16	1980 230-2-....	id.	id.	id.	id.	id.
16	Forage d'Agincourt	1968 230-2-98	Bouzières- aux-Chênes	destructif et diagraphies (GR)	Synd. intercommunal des Eaux du Grand Couronne	Serv. Hydrogeol. ENSG, Nancy	Eau

Tableau B. - Références et caractéristiques des ouvrages des Planches IV (*) et V (**) (voir fig. 8).

NUMÉRO D'ORDRE	DESIGNATION	DATE CODE MINIER	LOCALITE	TECHNIQUES DE FORAGE	MAITRE D'OEUVRE	SURVEILLANCE GÉOLOGIQUE	OBJET DE LA RECHERCHE
1	Siviard 241	1905-06 193-3-1	Vilcey-sur- Trey	destructif ?	?	?	Houille
2	Siviard 243	1904-06 193-4-3	Pont-à-Mousson	battage	?	?	id.
3	?	1905-10 194-2-7	Raucourt	id.	?	?	id.
4	L.D.O 1	1968 193-6-7	Domèvre-en- Haye	destructif et diagraphies (LL)	S.N.P.A.	S.N.P.A.	Hydrocarbures
5	Sondage de Nomeny	1904-08 194-2-6	Nomeny	battage et rotation	?	?	Houille et sel gemme
6	Sond. des Grandes Brasseries de Champigneulle	1963 230-1-17	Champigneulle	destructif et diagraphies (GR, N)	Soc. des Grandes Brasseries de Champigneulle	R. Laugier	Eau
7	Siviard 239 - n. VIII	1905-07 194-7-1	Bru-sur- Seille	battage et rotation	Sociétés lorraines de charbonnage réunies	?	Houille et sel gemme
8	Nancy- Thermal 3	1966 230-5-63	Nancy	destructif et diagraphies (GR)	Ville de Nancy	Serv. Hydrogeol. ENSG, Nancy, Ph. Dague, R. Laugier	Eau
9	Puits St-Maximilien - puits n. 1	1855 230-7-30	Varangeville	puits de mine	Mines de sel et Salines de Varangeville Daguin et Cie	?	Sel gemme
10	Forage de St-Nicolas Varangeville	1971 230-7-238	id.	destructif et diagraphies (LL, GR)	District	Serv. Hydrogeol. ENSG, Nancy	Eau
11	Puits n. 3 et 4 - n. 12, Braconzier	1856-58 230-7-7	id.	puits de mine	Salines de Rosières - Varangeville	?	Sel gemme
12	Sond. de Dombaale - B.S. 1	1873 230-7-120	Dombaale- sur-Meurthe	carottage ?	Botta-Solvay	?	id.
13	Sond. de Dombaale - 2 B.S.	1877 230-7-121	id.	id.	Botta-Solvay	?	id.
14	Sondage de recherche n. 1 - P.1	1869-70 230-7-138	id.	id.	MM: Jacquot et Cie	?	id.
15	-	1856 268-3-7	Rosières-aux- Salines	?	?	M.A. Braconzier	id.

Tableau C. - Références et caractéristiques des ouvrages de la Planche VIII (voir fig. 10).

NUMÉRO D'ORDRE	DÉSIGNATION	DATE CODE MINIER	LOCALITÉ	TECHNIQUES DE FORAGE	MAÎTRE D'OEUVRE	SURVEILLANCE GÉOLOGIQUE	OBJET DE LA RECHERCHE
1	-	19 230-3-102	Erbéville	destructif et carottage	Soc. Solvay et Cie	Solvay	Sel gemme
2	SR. 15	1975 230-3-125	Réméréville	destructif et diagraphies (GR, M)	Comp. Salins du Midi et des Salines de l'Est	C.S.M.S.E.	id.
3	SG. 1	1966 230-8-6	Gelleoncourt	id.	id.	id.	id.
4	SG. 2	1966 230-8-7	id.	id.	id.	id.	id.
5	SG. 11	1975 230-8-94	id.	id.	id.	id.	id.
6	F. 26	1892-93 230-8-11	Crévic	carottage	Soc. Solvay et Cie	Solvay	id.
7	Puits de la saline	1908-09 230-8-12	id.	puits de mine	id.	id.	id.
8	F. 11	1883 230-7-91	Dombasle-sur- Meurthe	bartage ?	id.	id.	id.

Tableau D. - Références et caractéristiques des ouvrages de la planche IX (voir fig. 11).



Tableau E (debut).

DEFINITION DES OUVRAGES				PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)			INTERVALLES CAROTTES				
SIGLE COMPAGNIE	DESIGNATION	DATE REF. S.C.G.	COORDONNEES LAMBERT 1 (1) (2)		ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.	N. DES CAR.	PROFONDEURS (m)			
			x y	z sol (m) z t.c. (m)							TETE	PIED		
AD 101 RAP	Audun-le- Roman 101	1956-57 14-1135	856,610	393,06	692,5	760	827	67,5	67	18-32	665	720		
			192,950	395,66	-297	-364,5	-431,5				23	755	757	
												24	792,5	799,5
												25	827,5	828,5
									26-27	833	851,5			
AG 1 EURAFREP	Argentolles 1	1976 14-3405	786,6	325	819	890	974	71	34	-	-	-		
			53,6	?	-494	-565	-649							
A. GU 1 S.N.P.A.	Guignicourt 1	1960 14-1915	718,188	95,50	1768,5	-	-	> 16,5	-	-	-	-		
			195,750	97,99	-1671	-	-							
AN 1 R.A.P.	Ancerville 1	1954 14-1006	800,260	242,80	1330	1453	1706	123	253	19	1341	1343		
			108,150	247,275	-1087	-1210	-1462				20	1352	1362	
												21	1458	1460
												22	1618	1620
												23	1692	1694
									24	1712	1714			
ART 1 FRANCAREP	Arrestières 1	1962 14-2487	777,020	317	1004,5	1072	1190 ?	67,5	118	8-9	1011	1036,60		
			67,010	320,21	-684,5	-752	-870 ?				10	1077	1086	
										11-12	1144,20	1171,20		
AZ 1 EURAFREP	Auzecourt 1	1963 14-2812	793,600	159	1393	1543	1743,5	150	191	-	1412,60	1427,60		
			138,590	162,33	-1231	-1381	-1572					1663,80	1674	
										1684	1698			
										1703,90	1740			
BAT 1 ESSO-REP	Bazincourt 1	1979 14-3450	806,487	189,28	1336	1422	1643	86	221	-	-	-		
			112,451	193,78	-1147	-1233	-1454							
BYL 1 SNEA(P)	Bussy- Lettres 1	1980 14-3464	742,447	149,10	2116	-	-	> 36	-	?	?	?		
			126,203	153	-1963	-	-				?	?	?	
CB 1 D.S.T.	Colombe 1	1973 14-3382	784,090	337	920,5	995	1080/1108	74,5	85/113	-	924	950		
			66,460	339,2	-583,5	-658	-743/-771					1116,5	1126	
CC 1 EURAFREP	Courcelles 1	1981 14-3506	874,500	320	52	125	261	73	136	-	-	-		
			81,150	268	195	59								
CFX 1 SNEA(P)	Corfèlix 1	1980 14-3457	698,859	196,13	2715	2975	?	260	?	4-8	2718,5	2760		
			126,887	200,88	-2514	-2774	?							
CG 1 R.A.P.	Courvaux 1	1953-54 14-1002	683,325	178	2642	?	?	?	?	41-51	2648	2680		
			112,145	182,375	-2460	?	?				52	2713	2714	
											53	2763,5	2765,5	
CHB 1 PREPA	Chaume-les- Baugnies 1	1959 14-1121	766,420**	382	227	-	242	15	-	-	-	-		
			292,100	?	155	140								
CPG 1 SNEA(P)	Champigneul 1	1980 14-3466	737,275	110	2111	-	-	> 69	-	?	?	?		
			139,244	114,7	-1996	-	-							
CRP 1 PREPA	Corpoyer 1	1959 14-1122	771,200**	417	223	-	238,5	15,5	-	-	-	-		
			286,150	?	194	178,5								
CR 1 PETROREP	Crouy-sur- Ourcq 1	1958 14-1513	656,380	148,7	2575	2633 ?	2800 ?	58	167	-	-	-		
			155,090	152	-2423	-2481 ?	-2648 ?							
DE 101 R.A.P.	Der 101	1956 14-1128	785,205	164,10	1431	1557	1793	126	236	27-31	1432	1470		
			95,445	168,21	-1267	-1393	-1629				32	1545,5	1549	
											33	1562	1566,5	
									34	1590	1594			
DN 1 R.A.P.	Doctrin 1	1957 14-1222	751,270	108,50	1686	1850	-	164	-	39-44	1674	1738		
			173,640	112,21	-1574	-1738	-	sur Permian			45-46	1850	1874	
DPR 1 ELF-ERAP	Dampierre 1	1974 14-3384	749,882	131,86	1936	2131	2231	195	100	1-4	1937	1973		
			148,324	135,46	-1801	-1996	-2096							
DRM 1 SNEA(P)	Dampierre- Nord 1	1979 14-3456	750,800	131,40	1921	-	-	> 45,5	-	1	1900	1909		
			151,911	136,15	-1785	-	-				2-6	1924	1966,5	

(1) * Lambert N.D.G. ; ** Lambert II. - (2) La cote prise pour origine des profondeurs est indiquée en italique.

Tableau 8 (suite)

DEFINITION DES OUVRAGES				PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)			INTERVALLES CAROTTES		
SIGLE COMPAGNIE	DESIGNATION	DATE REF. S.C.G.	COORDONNEES LAMBERT I (1) (2)		ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.	N. DES CAR.	PROFONDEURS (m)	
			x y	z z t.r. (m)							TETE	PIED
FT 1 PREPA	Fraignot 1	1953 16-1119	792,150** 295,160	490 ?	261 229	- -	142 148	- -	81	1-3 4	271 340	274 350,5
FT 2 PREPA	Fraignot 2	1959 16-1123	802,200** 276,330	321 ?	243 78	- -	124 -3	- -	81	1 2 3-4	291 300 325	294 306 336
2 GDP 1 CEP	Grandpré 1	1962 14-2529	782,419 188,027	149,74 ?	1089,5 -940	- -	- -	>55 -	-	15-18	1065	1122,3
2 GR 2 CEP	Grandpré 2	1965 14-3254	783,186 184,126	152,14 ?	1071 -919	- -	1200/1206 -1048/-1054	129/135	-	1-3 4-5	1066 1185	1097,7 1211
JA 1 SAFREP	Jauges 1	1959 14-1587	708,075 330,850	107 120,72	1040 -929	1075 ? -964	? ?	35	?	9-11 12	1032 1140	1037 1148
JV 101 R.A.P.	Joinville 101	1959 14-1595	806,290 86,225	311,05 -878	1191 -	- -	- -	>35	-	8-12	1191	1226,10
JZ 101 R.A.P.	Juvauze 101	1963 14-2808	766,340 71,650	139,1 142,11	1114 -972	1199 -1057	1300 ? -1158	85	101	-	1140 1324	1148,80 1369,20
L. AH. L 1 SNPA	Auze 1	1956 14-1126	363,165* 177,370	390,85 393,70	174 220	235 159	370 24	61	135	1-2 3-6	176 368	194 403
L. BO. L 1 SNPA	Bourdons 1	1957 14-1228	824,040** 357,460	294,8 297,69	284 14	337 -39	429 -131	53	92	-	311 438,5	314,70 461,50
L. CB. L 1 SNPA	Colombey-les- Beilles 1	1956 14-1121	361,305* 190,565	336,76 339,61	375 -35	452 -112	633 -313	77	201	2-4 5-7	380 655	406 678
L. CH. L 1 SNPA	Choceville 1	1956 14-1123	335,015* 218,050	266,30 269,15	817 -548	- -	- -	>27	-	15-17	520	844,20
L. CL. L 1 SNPA	Cercueil 1	1955-56 14-1119	891,513 119,170	288,95 291,90	14 278	93 199	313 -21	79	220	1-4	329	360
L. CO. L 1 SNPA	Courcelles 1	1962 14-2453	826,850 132,082	354,96 358,40	1008 -630	1120,5 -762,0	1334 -976	112	214	5-7 8	1000 1337	1036 1345,5
L. DO. L 1 SNPA	Domèvre 1	1968 14-3343	864,250 130,700	302,746 306,046	348 -42	437 -131	639 -333	89	202	1	359	365
L. FO. L 1 SNPA	Forcelles 1	1955 14-1108	378,673* 184,982	332,9 336,35	15,5 321	78,5 258	236 100	63	157,5	-	241	338
L. FO. L bis EURAFREP	Forcelles l bis	1980 14-3467	877,923 90,500 ?	332,90 ?	11 322	74 259	234 99	63	160	-	-	-
L. FO. L 1 SNPA	Chacouilly 1	1956 14-1127	376,840** 184,335	332,2 335,10	19,80 315	86,50 249	245,50 90	66	159	-	2441	2775
L. FO. L 2 SNPA	Chacouilly 2	1956 14-1131	376,105* 184,725	324,6 327,45	18,30 309	88,5 259	246 81	70	158	-	-	-
L. FO. L 3 SNPA	Forcelles- Ouest	1956 14-1138	375,115* 184,450	313,4 316,25	12,5 304	83 233	242,1 74	71	159	-	-	-
L. FO. L 4 SNPA	Vrancourt	1957 14-1218	377,035* 185,865	317 319,89	18 302	87 233	250 70	69	163	-	256	265
L. FO. S 1 EURAFREP	Forcelles- Sud 1	1980 14-3468	877,075 88,840	360 ?	41,5 318,5	105 255	251 109	63,5	146	1-2	257	274
L. GE 1 SNPA	Germisay 1	1955 14-1113	822,938 82,165	389,7 393,22	948 -555	1027,5 -634	1217,5 -824	79	190	11-12 13 14-17	951 1045 1221	964,5 1046,5 1269
L. GI 101 SNPA	Gironville 101	1963 14-3006	844,916 127,850	244,35 248,90	373 -324	655 -406	793 -544	82	138	-	-	-
L. GU. L 1 SNPA	Gugney 1	1957 14-1213	376,350* 178,630	343,20 346,05	62 284	127,5 218,5	268 78	65,5	140,5	1-3	284	312

(1) * Lambert N.D.G. ; ** Lambert II. - (2) La cote prise pour origine des profondeurs est indiquée en italique.

SIGLE COMPAGNIE	DEFINITION DES OUVRAGES DESIGNATION	DATE REF. S.C.G.	COORDONNEES LAMBERT I (1)		PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)			INTERVALLES CAROTTES	
			x y	z sol (m) z Lr. (m)	ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.	N. DES CAR.	PROFONDEURS (m) TETE	PIED
			(2)									
LHE I SNEAI(P)	Lhautre I	1978-79 14-3443	746,300 102,200	161,10 165,91	1978,5 -1818	2138 -1977	2357 -2196	159	219	1-5	1975	2015
L.HU. L I SNPA	Houdreville I	1956 14-1129	379,870* 192,250	317,35 320,20	14 306	81,30 238	262,5 58	68	180	1-4	253,90	289,90
L.LR I SNPA	Lerouville I	1962 14-2492	833,305 124,057	243,28 246,30	797,5 -551	892 -646	1067 -821	95	175	1-3 4	785 1073	824,5 1082
L.M.L I SNPA	Moncneux I	1956 14-1120	891,935 144,785	302,26 305,11	17 288	102 203	322 -17	95	320	1-4	323	339,30
L.MO I SNPA	Morhange I	1955 14-1005	918,917 144,177	268,19 271,64	- -	- -	129 143	-	> 129	1	131,9	133,5
LNT I SNEAI(P)	Lintballes I	1981 14-3530	709,692 112,928	102 ?	2489 -2387	- -	- -	> 78	-	?	?	?
L.OL I SNPA	Onville I	1957 14-1223	366,018 152,520	184,37 187,22	240 -53	330 -143	471 -284	90	141	1-2 3-5	252,9 479,6	261,9 506,6
LQB I ESSO-REP	Les Quatre Bras I	1977 14-3409	789,955 116,265	193 196,60	1360 -1163	1492 -1295	1672 -1475	131	180	1-3	1363	1398,5
L.RA I SNPA	Raulecourt	1962 14-2480	849,005 129,575	247,2 250,25	503,5 -253	586 -336	718,5 -468	83	132	4-6	490	537,75
L.RL I SNPA	Les Riceys I	1957 14-1206	753,755 300,820	178 180,85	727 -546	759 -578	802 ? -621 ?	32	43 ?	18 19-23	750 805	760 948
L.RO I SNPA	Royauxmes I	1954 14-1003	859,720 125,460	250 252,45	365 -111	454 -200	666 -412	99	212	16-19 20-26	459 668	483 696
L.SIL I SNPA	Silvrouvres I	1957 14-1217	782,025 144,340	204,02 206,87	483 -276	510 -303	585 ? -378 ?	27	75 ?	13-15 17 18-20	470 573 592	497 582 617
L.SL I SNPA	Soignes	1957 14-1215	343,685* 242,115	293,00 295,85	25 271	91 205	243/253 53/43	66	152/162	1-4	253	289
L.SM. L I SNPA	Saint- Mihiel I	1957 14-1202	339,380* 232,480	223,50 226,35	734 -508	846 -620	1065 -639	112	219	7-9 10-15	738 1065	765 1118
L.VA. L I SNPA	Vaudémont I	1957 14-1227	376,265* 182,730	351,6 354,45	119 235	185 169	341 13	66	156	-	-	-
L.VS. L I SNPA	Villey-le- Sec I	1956 14-1133	869,750 111,365	314 316,85	321,5 -5	401,5 -85	640 -289	80	205	1-2 3-5	330 610	347,5 636,5
L.XL I SNPA	Xirocourt I	1955 14-1115	883,615 90,160	328,10 330,95	5 326	64 267	201,5 129	59	138	1-3	203	230
L.XM I SNPA	Xivray- Marvoisin I	1962 14-2586	848,270 135,240	236,74 240,15	585,5 -345	648,5 -408	771 -531	63	123	1-3	574	622
MA I R.A.P.	Maily-le- Camp I	1955 14-1104	738,305 107,030	156,50 161,26	2085 -1924	2269 -2108	? ?	184	> 200	37-42 43 44	2095 2410,5 2435,5	2139 2411,5 2437,5
MO. CD 2 SNPA	Morhange	1954 14-792	924,537 147,991	235,09 ?	- -	- -	208,5 -26,5	-	> 208	-	-	-
MRY I SNEAI(P)	Mairy I	1979 14-3454	749,504 131,268	102,60 106,4	1954 -1848	- -	- -	> 91	-	1-4	1965	1994
MGS I SNEAI(P)	Marianges I	1981 14-3486	711,296 101,456	? 81,5	2295 -2213,5	2472 -2390,5	2642 ?	177	170 ?	?	?	?
MT I R.A.P.	Montmarail I	1958 14-1494	689,670 137,620	173,80 177,51	2722 -2545	2945 ? -2692 ?	? ?	223 ?	?	22-36 37 38-39	2683 2837 2876	2767 2846 2900
MTZ I SNPA	Metz I	1961 14-2094	891,550 172,530	290 ?	34 236	105 165	253 17	71	148	-	-	-

(1) *Lambert N.D.G. - (2) La cote prise pour origine des profondeurs est indiquée en italique.

Tableau E (14)

DEFINITION DES OUVRAGES				PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)		INTERVALLES CAROTTES			
SIGLE COMPAGNIE	DESIGNATION	DATE REF. S.C.G.	COORDONNEES LAMBERT II (1) (2)		ARGILLES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.	N. DES CAR.	PROFONDEURS (m)	
			x y	z sol (m) z Lr. (m)							TETE	PIED
PM 101 PREPA	Pont-à- Mousson 101	1953 14-1643	881,140 143,860	228 ?	30 198198	100 128	248 - 20	70	148	?	?	?
PY 101 R.A.P.	Prigny 101	1960 14-1913	758,030 122,025	120,88 123,88	1732 - 1628	-	-	> 38	-	16-20	1730	1790,70
QU 1 SAFREP	Quenne 1	1958 14-1550	698,425** 308,350	274 ?	818 - 544	8665 ? - 392 ?	?	48	?	17-19 20	797 904,5	830 910,5
RL 1 PREPA	Rethel 1	1961 14-2258	740,630 219,960	130 ?	Keuper z.L. de 904 à 927/Dév.			23	-	-	-	-
RL 2 PREPA	Rethel 2	1962 14-2477	788,200 322,950	143 ?	Tras de 255 à 261/Dévonien			6 m Trias indiff.	-	5-7	246	266,7
RL 3 PREPA	Rethel 3	1962 14-2478	806,840 216,680	173 ?	Rhétien + Trias : 212 à 244/Dévonien			32 m Rhétien-Tri/Dév.	3	-	212	220
RL 5 PREPA	Rethel 5	1963 14-2775	792,360 204,270	195 ?	743 - 548	?	?	55 m Trias indiff.	-	-	-	-
SDN 1 ESSO-REP	Soudron 1	1976 14-3408	736,024 125,239	133,4 136,4	2123 - 1987	2309 - 2173	2493 ? - 2357	186	184 ?	-	-	-
SDN 101 SNEA(P)	Soudron 101	1978 14-3437	734,845 124,837	145,50 150,25	2122,80 - 1973	-	-	> 66	-	5-7	2132	2159
SMB 1 COPESEP	Saint-Martin- de Rosmanay 1	1959 14-1603	699,346 82,039	108,22 113,87	?	-	-	-	-	-	-	-
SMB 201 COPESEP	Saint-Martin de B. 201	1965 14-3242	699,714 81,884	127,31 132,91	2124 - 1991	2192 - 2059	2299 ? - 2167	68	108 ?	11	2196	2220,8
SMN 101 R.A.P.	Sainte-Menehould 101	1957 14-2453	790,490 163,295	222,7 225,3	1421 - 1196	1597 - 1372	1693 ? - 1468	176	96 ?	18-22 23-24	1423 1683	1470 1714,5
SO 101 R.A.P.	Saint-Ouen 101	1958 14-1495	750,370 102,945	138,63 141,03	1915 - 1774	-	-	> 40	-	1-7	1903	1955,6
SR 1 G.D.F.	Sornéville 1	1981 14-3499	900,280 122,500	230 252,6	-	36 217	279 - 26	-	243	?	?	?
SY 101 R.A.P.	Songy 101	1965 14-3230	756,710 123,260	105,35 108,35	1769 - 1641	1926 - 1818	2069 ? - 1961 ?	157	143 ?	3-8 9-10	1728,70 2042	1777,20 2060
TF 101 R.A.P.	Trois-Fontaines 101	1957 14-1207	791,335 118,360	163,40 164	1313 - 1147	1436 - 1270	1623 - 1457	123	187	18-20 21-24 25 26	1293 1320 1555 1637	1313 1353 1563,5 1646
TGR 1 SNEA(P)	Tavannes 1	1980 14-3465	753,936 126,012	138,90 142,80	1951 - 1808	-	-	> 73	-	1-5	1953	1993
VA 1 R.A.P.	Vacheresville 1	1953 14-1001	816,73 174,31	195 199,375	1105 - 906	1264 - 1065	1380 - 1181	159	116	-	1156 1188 1204 1236,60 1266,10	1157,50 1189,70 1204,60 1238,10 1267,30
2.VA 1 C.E.P.	Varenes 1	1967 14-3312	794,585 171,390	178,73 ?	1259 - 1080	1433 - 1255	1508 - 1330	175	75	-	1245	1310
VD 1 EURAFREP	Vaudreville 1	1981 14-3498	887,388 90,804	360 362,80	-	64 103	212 231	> 66	146	?	?	?
VLY 1 SNEA(P)	Veigy 1	1980 14-3463	733,769 135,561	127,40 132,13	2143,5 - 2011,5	-	-	> 66	-	6-11	2145	2193
VRY 1 MOBIL REPGA	Vregny 1	1959 14-1818	617,360 191,338	162,78 166,18	2251 - 2085	-	-	> 39	-	7 8	2256 2264	2263 2271

(1) **Lambert II. - (2) La cote prise pour origine des profondeurs est indiquée en italique.

Tableau E. - Sondages de recherche ou d'exploitation d'hydrocarbures.

SIGLE ⁽¹⁾	DESIGNATION	COMMUNE REF.	DEFINITION DES OUVRAGES			PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)	
			DATE	COORDONNEES LAMBERT I		ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.
			REF. CODE MINIER	x y	z (m)					
1	Sondages des Recollets	Longwy (54)	1907-08 90-5-3	848,54 207,76	259,78	475 -215	492 ? -240 ?	508 ? -248 ?	25	8
2	Sondage du Bois-Chate	Avril (54)	1908-09 137-3-1	866,51 182,47	211,40	568 -257	644 -433	788 -577	76	144
3	-	Remilly (57)	avant 1856 164-8-9	897 154,3	222	- -	- -	120 102	-	> 120
4	-	Vilcey-sur- Tray (57)	1905-07 193-3-1	886,17 143,38	233,47	262 -29	345 -112	501/504- -268/-271	83	156/159
5	-	Lexmenils (54)	1903-05 193-4-1	876,380 143,695	196	54 142	136,5 595	333 -87	32,5	146,5
6	-	Atton (54)	1904-05 193-4-2	874,55 139,15	180	81,5 98,5	166,35 13,65	304 -124	85	137,65
7	-	Pont-à- Mousson (54)	1904-06 193-4-3	872,225 139,53	181	113 68	196,40 -15,4	345 ? -164 ?	33,4	148,6
8	-	Jezainville (54)	1904-06 193-4-4	871,93 136,96	186,23	88 98	170 16,23	335 -149	82	165
9	Sondage de Bou Grenay	Gezoncourt (54)	1905-06 193-7-2	866,55 132,33	213,03	232 -19	319,20 -106	550,5 -337,5	87	231,5
10	Sondage de Pont-de-Mons	Bezaumont (54)	1905-06 193-8-3	875,88 134,33	189,80	97 93	181,80 8	400 ? -210	85	218 ?
11	-	Eply (54)	1903-06 194-1-1	880,25 143,15	179	- -	53,15 -128,85	193 ? -14 ?	> 53	140 ?
12	Sond. du Châ- teau de Dombasle	Port-sur- Seille (54)	1905-06 194-1-3	879,60 138,85	204	98 106	168 36	335 -131	70	167
13	-	Abaucourt (54)	1904-06 194-2-4	886,840 140,325	189,13	- 189 ?	89 100	? ?	> 89	?
14	-	Laborde (54)	1904 194-2-5	885,43 137,70	194,30	20,10 174,20	103,50 90,8	355 ? -161 ?	33	232 ?
15	Sondage du Nomeny	Nomeny (54)	1904-08 194-2-6	885,95 138,95	205	15 190	103 102	331 -126	48	228
16	-	Raucourt (54)	1905-10 194-2-7	884,50 142,72	212	47,5 164,5	127,15 84,85	293 -81	79,65	166
17	-	Phlin (54)	1905-07 194-2-8	888,750 141,900	193	15,30 178	126 ? 67 ?	330 ? -137 ?	111 ?	204 ?
18	-	Bailieu (54)	1905-07 194-5-1	880,82 133,78	220	98 122	139 ? 81 ?	400 -180	41 ?	261 ?
19	-	Bris-sur- Seille (54)	1905-07 194-7-1	895,09 128,38	198	6 192	90,5 107,5	342 -144	54,5	251,5
20	-	Aulnois (88)	1909 303-5-7	855,69 67,45	335,43	63,30 272	108 227	221,60 ? 114	45	113 ?
21	-	Morsimaison (88)	1923 303-6-5	864,98 75,30	312	66 246	1034 209	? ?	37	> 132
22	-	Houécourt (88)	1874-75 303-6-10	863,63 73,55	315,95	43,22 273	81,51 235,5	? ?	37,5	> 50
23	-	Blécourt (88)	1874 303-7-12	867,46 74,89	303,07	28,67 274,4	80,01 223	? ?	51,4	> 25,5
24	-	Sainte-Menges (88)	1910 303-7-35	867,35 72,16	332	- -	- -	120 212	-	> 120

(1) Les numéros portés dans cette colonne sont purement conventionnels et uniquement destinés à faciliter le repérage géographique (voir Planche I).
Tableau F. - Sondages de recherche de houille carbonifère.
(Reconnaissance du prolongement méridional du Bassin houiller sarro-lorrain).

DEFINITION DES OUVRAGES						PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)	
SIGLE	DESIGNATION	COMMUNE REP.	DATE	COORDONNEES LAMBERT I		ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KORLE	KEUPFER SUP.	E. INF. ET MOY.
				REF. CODE MINIER	x y					
P	Sond. de l'étang du Poncet	Dombasle-sur- Meurthe (54)	1978 230-7-281	896,45 111,10	208	-	-	-	-	> 133
RO 4	Royaumeix 4	Axaucville (54)	1975 193-5-...	856,340 129,175	241	194 - 153	475 - 234	653 - 412	81	178
TD 1	Tout Domgermain	Domgermain (54)	1976 229-6-80	860,020 112,290	247,5	489 - 241,5	576 - 328,5	813 - 565,5	87	237
VA	<i>Velaine- sous-Amance</i>	<i>Symbole collectif. Détail des implantations planche XI.</i>								
VA 1 = CE1	id.	Laneuveleotte (54)	1961 230-3-1	892,090 122,465	239,40	43,50 196	127,50 112	341 - 102	84	214
VA 2	id.	Velaine-sous- Amance (54)	1966 230-3-5	894,600 119,000	246,0	47 199	132 114	364 - 118	85	232
VA 3 = CE3	id.	Cerville (54)	1961 230-2-2	890,740 118,450	277,76	57 221	139 139	315 - 37	82	176
VA 4	id.	id.	1966 230-2-12	890,73 118,10	262,4	647 198	150 112	3653 - 103	86	215
VA 5	id.	Seichamps (54)	1966 230-2-11	890,51 120,27	250,1	28 222	114 136	342 - 92	86	228
VA 6	id.	Velaine-sous- Amance (54)	1966 230-3-6	892,76 119,25	284,5	36,3 248	98,5 186	330,5 - 46	62	232
VA 7	id.	Cerville (54)	1966 230-3-7	892,760 119,000	265	14 251	92,5 172,5	309 - 44	78,5	216,5
VA 8	id.	Laneuveleotte (54)	1968 230-2-100	890,600 119,150	270	40 230	125 145	344 - 74	85	219
VA 9	id.	Pulnoy (54)	1968 230-2-101	889,055 119,410	235,50	16,5 199	121 114,5	327 - 91,5	84,5	206
VA 10	id.	Cerville (54)	1968 230-3-93	892,560 117,940	231,63	30,70 201	112 120	347,63 - 116	81	236
VA 11	id.	Velaine-sous- Amance (54)	1968 230-3-63	893,445 120,960	239,40	37 202	122,5 117	347,4 - 108	85	225
VA 16	id.	Laneuveleotte (54)	1980 230-2-...	850,087 121,512	237,65	112 226	101,5 136	316,5 - 79	90	215
VA 32	id.	Velaine-sous- Amance (54)	1974 230-3-...	891,735 118,950	279,17	? ?	95 184	304 - 25	?	209
VA 44	id.	Saulxures-lès- Nancy (54)	1975 230-6-...	889,770 117,520	245,25	50 195	131,5 114	358,75 - 113,5	81	227,5
VA 48	id.	Cerville (54)	1977 230-2-...	890,990 118,980	274,15	? ?	575 187	256 - 22	?	209
VA 50	id.	id.	1975 230-3-...	892,340 119,150	283,80	? ?	101,5 182	316 - 32	?	214

Tableau G. - Sondages de reconnaissance stratigraphique ou structurale.

SIGLE (1)	DEFINITION DES OUVRAGES				COORDONNEES LAMBERT I				PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)	
	DESIGNATION	COMMUNE REF.	DATE CODE MINIER	x y	z (m)	ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.			
1	-	Thionville (57)	1934 114-5-7	879,00 190,65	159	219,50 -60,5	126 -167	- -	106,5	> 29			
2	-	Distroff (57)	1904 114-6-1	885,47 189,03	210	38 172	- -	- -	> 63				
3	-	Amnéville (57)	1979 138-1-243	876,45 178,33	205	259 -54	335 -130	296 -291	76	161			
4	Forage du Stade Amos	Metz (57)	1963 164-1-1	881,01 162,82	168	55 113	144,25 23,75	274 -106	89	130			
5	Forage n. 463 Brasserie Amos	Metz (57)	1906 164-1-19	879,57 162,74	186	86 100	169 17	- -	83	-			
6	Forage «Stadt- werke Metz»	Metz- Vallières (57)	1944 164-2-6	882,46 165,50	170	- 93/94	76/77	-	> 70	-			
7	Forage du Fort de l'Asne	Veroy (57)	1904-05 164-5-1	881,7 153,0	237	40 197	126,50 110,50	- -	86,50	-			
8	-	Holacourt (57)	1970-71 165-5-30	905,87 149,36	232	- -	- -	243 -11	-	> 237			
9	F. du Synd. des Eaux de Hellimer-Fremestroff	Hellimer (57)	1973 165-8-38	928,30 153,45	238	- -	212 26	- -	-	> 202			
10	-	Pottelange- aux-Lacs ((57)	1978 166-5-26	934,93 159,58	225	- -	- -	135 90	-	> 135			
11	F. du Synd. des Eaux de Château-Salins	Puttigny (57)	1969 195-5-33	909,36 136,00	210	- -	- -	280 -70	-	> 280			
12	F. des Grandes Brasseries	Champigneulles (54)	1963 230-1-17	881,985 122,700	191,18	151 40	244 -53	506 -315	93	262			
13	F. d'Agincourt	Bouxières-aux- Chênes (54)	1968 230-2-98	887,20 123,80	229,80	139 91	220,50 9	465 -235	82	244			
14	Nancy- Thermal 3	Nancy (54)	1966 230-5-63	882,05 115,05	229	147 82	232 -3	472 -243	85	240			
15	Nouveau forage communal	Tomblaine (54)	1968 230-6-113	885,215 116,860	204,48	40,5 164	126,5 78	152,50 -148	86	226			
16	Forage de Saint- Nicolas	Saint-Nicolas (54)	1971 230-7-238	892,60 111,62	203	- -	- -	242 -39	-	> 242			
17	-	Arracourt (54)	1974 231-1-...	904,470 118,910	256	- -	- -	188 68	-	> 188			
18	Forage d'Einvilla	Bienville-la- Petite (54)	1966 231-5-7	907,60 112,90	229	- -	- -	139 90	-	> 139			
19	Forage de Ravenel	Mirecourt (88)	1951 303-8-1	879,87 72,51	298,98	- -	0,50 299	140 159	-	140			
20	-	Jevoncourt (88)	1909-12 304-1-1	883,30 86,70	225	- -	96 129	- -	-	> 96			
21	-	Mirecourt (88)	1973 304-5-20	880,380 74,420	272	- -	- -	125 147	-	> 125			
22	Ouvrage Vrécourt II	Vrécourt (88)	1950 337-2	850,09 58,37	319	16,4 303	66,70 252	- -	51	-			
23	Base serienne de Dambian	Colombey-les- Chouseul (88)	1953-54 337-8-1	848,20 47,55	389,5	7,5 382	50 339,5	152 237,5	42,5	102			
24	-	Bulgnéville (88)	1964-65 338-1-8	860,04 61,34	353	- -	5 347	107,5 245,5	-	101,5			

(1) Les numéros portés dans cette colonne sont purement conventionnels et uniquement destinés à faciliter le repérage géographique (voir Plaque I).

Tableau H. - Forages d'exploitation de la nappe aquifère du Grès vosgien.

Le nombre élevé des ouvrages effectués pour la recherche et l'exploitation du sel gemme keupérien ainsi que leur concentration, sur la moitié sud de la carte à 1/50 000 Nancy essentiellement, n'ont pas permis le report des points d'implantation sur la planche L. Seuls y ont été figurés trois points de mine et un sondage afin de matérialiser les deux grands pôles géographiques de l'industrie salicole lorraine : vallée de la Saône et vallée de la Meurthe et du Sarre.

SIGLE (1)	DESIGNATION	COMMUNE REF.	DATE REF. CODE MINIER	COORDONNEES LAMBERT I		PROFONDEURS (m) COTES (m) du toit des formations			PUISSANCES (m)	
				x	z (m)	ARGILES DE LEVALLOIS	DOLOMIE MOYENNE	LETTEN- KOHLE	KEUPER SUP.	K. INF. ET MOY.
				y						
1	Puits Saint-Maximilien	Varangéville (54)	1855 230-7-30	892,58 111,90	212,60	- -	7,40 205	- -	- -	> 166
2	Puits Saint-Laurent	Einville-au-Jard (54)	1872-75 231-5-3	905,10 114,48	236,60	- -	12,5 224	- -	> 12,5	> 132
3	Puits Becquey	Vic-sur-Seille (57)	1821-25 231-1-6	907,45 127,85	215	- -	- -	- -	- -	> 159
4	Sondage Brejcha	Dieuze (57)	1906-07 195-7-1	921,31 133,61	209,1	- -	- -	243,35 - 34	- -	> 243

(1) Les numéros portés dans cette colonne sont purement conventionnels et uniquement destinés à faciliter le repérage géographique (voir Planche I).

Tableau L - Ouvrages de recherche et d'exploitation de sel gemme.

THESE RESULTS ARE THE RESULT OF AN INVESTIGATION INTO THE CAUSE OF THE FAILURE OF THE STRUCTURE. THE RESULTS OF THE INVESTIGATION ARE AS FOLLOWS: THE FAILURE WAS CAUSED BY THE OVERLOADING OF THE STRUCTURE DURING THE CONSTRUCTION OF THE ROOF. THE OVERLOADING WAS CAUSED BY THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE ROOFING MATERIALS AND THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE CONSTRUCTION MATERIALS. THE OVERLOADING WAS NOT ANTICIPATED IN THE DESIGN OF THE STRUCTURE. THE DESIGNER SHOULD HAVE ANTICIPATED THE OVERLOADING AND PROVIDED FOR IT IN THE DESIGN. THE OVERLOADING WAS NOT ANTICIPATED IN THE DESIGN OF THE STRUCTURE. THE DESIGNER SHOULD HAVE ANTICIPATED THE OVERLOADING AND PROVIDED FOR IT IN THE DESIGN.

NO. OF STUDENTS		NO. OF STUDENTS		NO. OF STUDENTS		TOTAL	PERCENT				
				NO. OF STUDENTS							
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

THESE RESULTS ARE THE RESULT OF AN INVESTIGATION INTO THE CAUSE OF THE FAILURE OF THE STRUCTURE. THE RESULTS OF THE INVESTIGATION ARE AS FOLLOWS: THE FAILURE WAS CAUSED BY THE OVERLOADING OF THE STRUCTURE DURING THE CONSTRUCTION OF THE ROOF. THE OVERLOADING WAS CAUSED BY THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE ROOFING MATERIALS AND THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE CONSTRUCTION MATERIALS. THE OVERLOADING WAS NOT ANTICIPATED IN THE DESIGN OF THE STRUCTURE. THE DESIGNER SHOULD HAVE ANTICIPATED THE OVERLOADING AND PROVIDED FOR IT IN THE DESIGN.

1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											

THESE RESULTS ARE THE RESULT OF AN INVESTIGATION INTO THE CAUSE OF THE FAILURE OF THE STRUCTURE. THE RESULTS OF THE INVESTIGATION ARE AS FOLLOWS: THE FAILURE WAS CAUSED BY THE OVERLOADING OF THE STRUCTURE DURING THE CONSTRUCTION OF THE ROOF. THE OVERLOADING WAS CAUSED BY THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE ROOFING MATERIALS AND THE EXCESSIVE WEIGHT OF THE CONSTRUCTION MATERIALS. THE OVERLOADING WAS NOT ANTICIPATED IN THE DESIGN OF THE STRUCTURE. THE DESIGNER SHOULD HAVE ANTICIPATED THE OVERLOADING AND PROVIDED FOR IT IN THE DESIGN.

ILLUSTRATIONS

Fig. 1.	1. - Situation des formations keupériennes étudiées dans la série triasique à faciès germanique de Lorraine.....	8
	2. - Sondage de Vaudeville. Exemple d'interprétation des principaux logs diagraphiques	20
	3. - Report graphique Gamma ray - Log sonique	26
	4. - Report graphique Gamma ray - Densitolog	27
	5. - Contrôle de la coupe lithologique obtenue à partir de l'interprétation des enregistrements diagraphiques par la coupe établie d'après carottage	30
	6. - Sondage de Toul Domgermain. Comparaison des coupes lithologiques établies d'après le log gamma ray et le latérolog	32
	7. - Paléogéographie du domaine germanique au Keuper et situation du domaine étudié	37
	8. - Implantation des sondages et tracés des profils présentés planches III A-B, IV et V	40
	9. - Découpage et nomenclature proposés pour les différentes formations constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes du bassin de Lorraine - Champagne	47
	10. - Le bassin salifère lorrain. Localisation du profil présenté planche VIII	58
	11. - Implantation des sondages du profil présenté planche IX	60
	12. - Site de Cerville et tracé du profil présenté planche X	64
	13. - Bloc diagramme schématique reconstitué et écorché à hauteur du Toit du Sel montrant l'attitude de ce dernier en divers endroits du domaine halitique	80
	14. - Exemple de déformations graphique de la structure actuelle sur les profils réalisés à partir de la Dolomie moyenne utilisée comme datum horizontal	97
	15. - Isopaques du faciès gréseux du Grès à roseaux en Lorraine	102

Tabl. 1. - Valeurs diagraphiques repérées sur les enregistrements de la figure 2. Interprétation lithologique correspondante	24
2. - Caractéristiques diagraphiques des principaux sels constituant les évaporites	25
3. - Puissances comparées des formations keupériennes et liasiques infé- rieures et moyennes dans les sondages de Toul Domgermain, Villey-le- Sec et Nancy-Thermal 3	96
A à I - Références et caractéristiques des sondages profonds utilisés. Voir ANNEXES	123
Pl.* I - Situation du domaine étudié et implantation des sondages profonds utilisés.	
II - Présentation du bassin de Lorraine - Champagne. Courbes isopaques des Marnes irisées inférieures et moyennes, structure actuelle, tracés des profils présentés planches VI et XII.	
III A-B - Corrélations latérales établies dans la zone axiale lorraine. (voir fig. 8 et tabl. A en annexe).	
IV - Détail de l'intervalle 1 - 2 de la planche III A (voir fig. 8 et tabl. B en annexe).	
V - Détail de l'intervalle 15 - 16 de la planche III B (voir fig. 8 et tabl. B en annexe).	
VI - Profil longitudinal montrant les corrélations établies entre les domaines lorrain et champenois dans la zone axiale du bassin.	
VII - Définition diagraphique des unités constituant les Marnes irisées inférieures et moyennes à partir des logs des sondages d'Ancerville (Champagne) et de Champigneulle (Lorraine).	
VIII - Coupe transversale du bassin salifère lorrain (voir fig. 10 et tabl. C en annexe).	
IX - Géométrie des corps halitiques au niveau de la marge méridionale du gisement salifère lorrain. Profil Erbéviller - Dombasle-sur-Meurthe (voir fig. 11 et tabl. D en annexe).	
X - Le site de Cerville : exemple de "fenêtre à toit du Sel déprimé". Profil VA 9 - Erbéviller (voir fig. 12).	
XI - Extension des unités halitiques et structure actuelle (isohypses du toit des Argiles de Levallois) sur la feuille à 1/50 000 Nancy.	
XII - Evolution latérale de la série keupérienne en Champagne. Profil trans- versal Nord - Sud.	
XIII - Extension des unités halitiques dans le bassin de Lorraine - Champagne.	
XIV A-B - Rapports entre la Formation intermédiaire argilo-gréseuse (courbes isopaques - A -) et le Sel sous-jacent en Lorraine (extension des unités halitiques - B -).	

* Ces planches hors-texte, ainsi que la légende commune correspondante, sont insérées dans une pochette en fin de mémoire.

C - Ensemble supra-halitique	54
1 - Les Marnes à anhydrite	55
2 - La Formation intermédiaire argilo-gréseuse	55
3 - La Dolomie moyenne	56
D - Conclusion	57
IV - EVOLUTION LATÉRALE DE LA SÉRIE TYPE	58
A - Le domaine lorrain	59
1 - Aspect géométrique global	59
2 - Marge méridionale du gisement halitique	60
3 - Les "accidents" intra-bassin	63
4 - Généralisation	67
B - Le domaine champenois	68
1 - Extrémité occidentale	69
2 - Bordure nord	70
3 - Bordure sud	72
4 - Conclusion	72
V - RAPPORT ENTRE LE SEL ET SON ENCAISSANT	73
A - Équivalents latéraux du sel	74
1 - Les faits	74
2 - Enchaînement des lithofaciès	76
3 - Application à la compréhension des coupes lithologiques	76
4 - Conséquences	78
B - Signification du Toit du Sel	79
1 - Morphologie du Toit du Sel	79
2 - Manifestations de la dissolution actuelle du Sel	80
3 - Applications : Le Toit du Sel = Front de dissolution ?	81
4 - Conclusion	84
VI - CONCLUSION	85
Troisième partie : EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE	88
I - ENSEMBLE INFRA-HALITIQUE	88
II - ENSEMBLE HALITIQUE	89
A - Extension des unités halitiques	89
B - Implications	92
1 - Migration du lithotope haligène	92
2 - "Naissance" du Bassin Parisien	93
3 - Adéquation à la signification du Toit du Sel dans la zone centrale du domaine lorrain	94
4 - Mise en place et évolution de la structure actuelle	96
5 - Origine de la subsidence	98
III - ENSEMBLE SUPRA-HALITIQUE	100
A - Les faits	100
1 - Marnes à anhydrite	100
2 - Formation intermédiaire argilo-gréseuse	101
3 - Dolomie moyenne	104

	139
B - Implications	105
1 - <i>Signification du Toit des Marnes à anhydrite</i>	105
2 - <i>Bathymétrie du bassin</i>	107
3 - <i>Le problème du Grès à roseaux</i>	109
IV - CONCLUSION	110
CONCLUSION	112
BIBLIOGRAPHIE	117
ANNEXES	123
ILLUSTRATIONS	135

Sp 297-82

MARCHAL Claude (1982).-

Le gîte salifère lorrain-champenois du Keuper et les formations associées

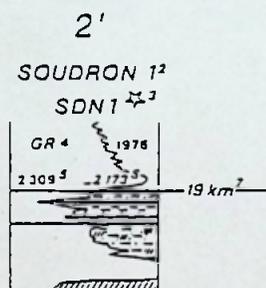
Etude géométrique - Implications génétiques.

NOM	Prêté le ...	Rendu le ...
FAUVEL.	30.11.82	—
HUGUET	30.01.85.	4.03.85.
BOURQUIN	6.06.88.	15.07.88.
SIDER.	16.10.89	30.01.90.
COIFFAIT-MARTIN	29.4.93	15.12.94

LÉGENDE COMMUNE



I - DESIGNATION DES OUVRAGES



1 - Numéro d'ordre de l'ouvrage le long d'un profil.
Ce numéro, remplacé par une lettre sur la planche V, est reporté en regard du point d'implantation sur la planche II pour les ouvrages intervenant dans les profils des planches VI et XII ou sur les cartes en figures dans le texte pour ceux des planches III A-B, IV, V, VIII, IX et X.

2 - Localité de référence de l'ouvrage.

3 - Désignation de l'ouvrage et son utilisation dans la recherche.

Les références complètes au titre du Code Minier pour les sondages sont indiquées dans les tableaux.

☆ = Hydrocarbures (tableau graphique et structurel)

○ = Sel gemme (tableau)

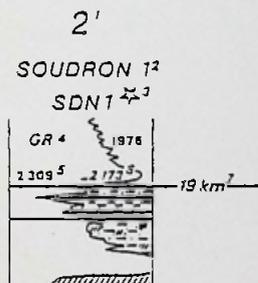
4 - Type

(s) =

LÉGENDE COMMUNE



I - DESIGNATION DES OUVRAGES



1 - Numéro d'ordre de l'ouvrage le long d'un profil.
Ce numéro, remplacé par une lettre sur la planche V, est reporté en regard du point d'implantation sur la planche II pour les ouvrages intervenant dans les profils des planches VI et XII ou sur les cartes en figures dans le texte pour ceux des planches III A-B, IV, V, VIII, IX et X.

2 - Localité de référence de l'ouvrage.

3 - Désignation de l'ouvrage et symbolisation de l'objet de la recherche.

Les références complètes (numéro d'archivage national établi au titre du Code Minier lorsqu'il est connu, référence S.C.G. pour les sondages pétroliers, etc...) sont rappelées dans les tableaux récapitulatifs placés en annexe.

☆ = Hydrocarbures (tableau E), ● = Houille (tableau F), ▼ = reconnaissance stratigraphique et structurale (tableau G), ○ = Eau (tableau H), □ et † (puits de mine) = Sel gemme (tableaux A, B, C, D et I).

4 - Type d'enregistrement diagraphique représenté et/ou nature du (ou des) document (s) à l'origine de la lithologie figurée.

Dans l'éventualité où la restitution de la lithologie figurée résulte de l'interprétation des seules diagraphies brutes indiquées (absence de log habillé), le sigle correspondant est souligné.

GR = Gamma ray, LL = Latérolog, Cutt. = sondage destructif (cuttings), Car. = sondage carotté, P.m. = coupe levée lors du fonçage d'un puits de mine.

Dans ces trois derniers cas, le log présenté n'est que la transcription de la coupe lithologique qui a pu être relevée dans les archives du Code Minier (B.R.G.M.).

5 - Profondeur du toit de la Dolomie moyenne (et du toit de la Dolomie limite de la Lettenkohle).

6 - Cote absolue correspondante.

7 - Distance entre deux sondages voisins, chiffrée en km.

II - FIGURES LITHOLOGIQUES

	Dolomie		Argilites bariolées		Sel gemme a - diffus ou non précisé b - rouge fibreux
	Grès		Anhydrite massive		Gypse a = massif b = fibreux
	Argilites grises vertes ou noires (ou non précisées)		Anhydrite diffuse (ou état non précisé)		Phase argileuse dispersée
	Argilites rouges ou pourpres		Sel gemme massif P = Polyhalite		

COURBES ISOPAQUES DES MARNES IRISEES INFERIEURES ET MOYENNES

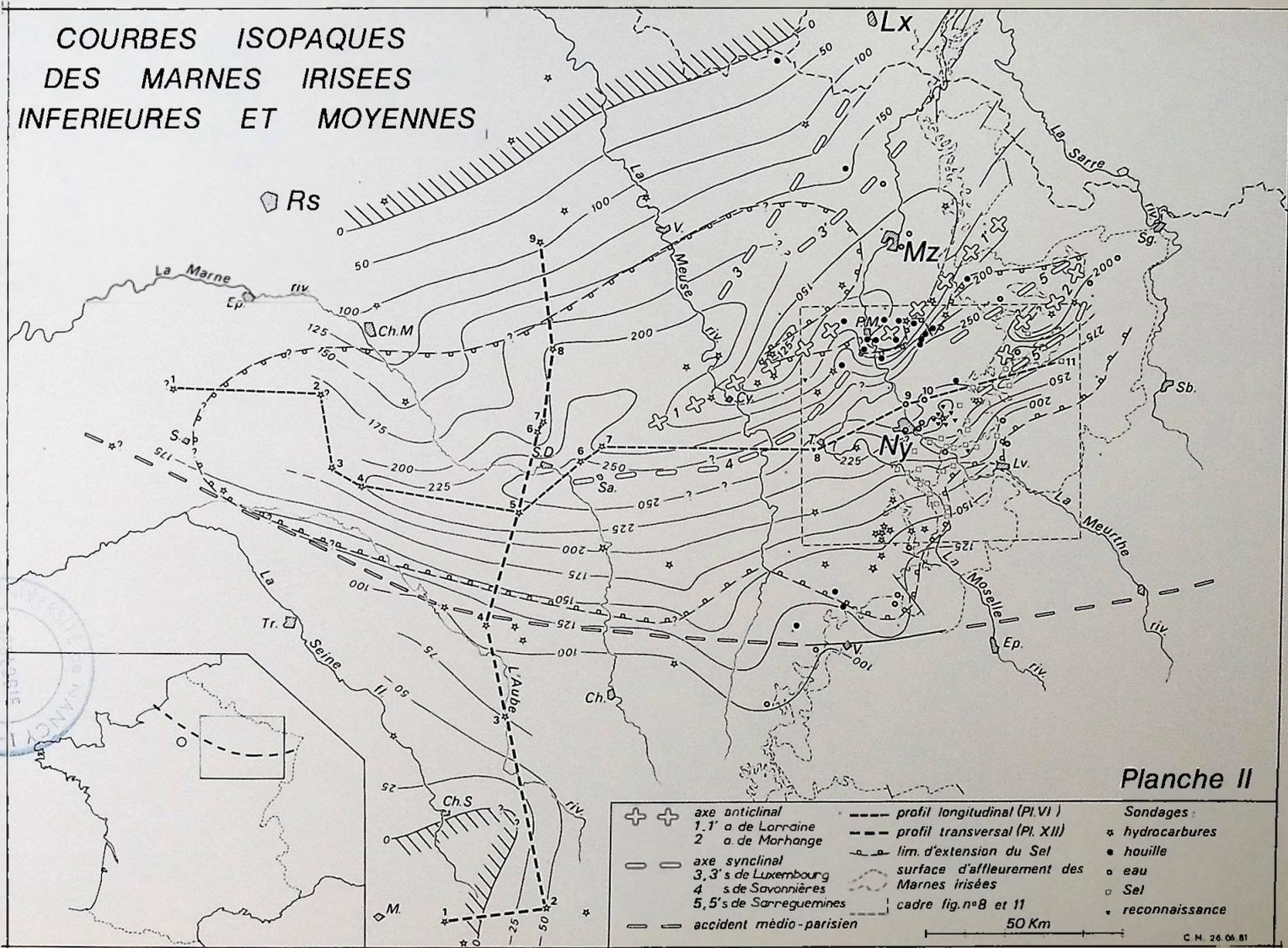
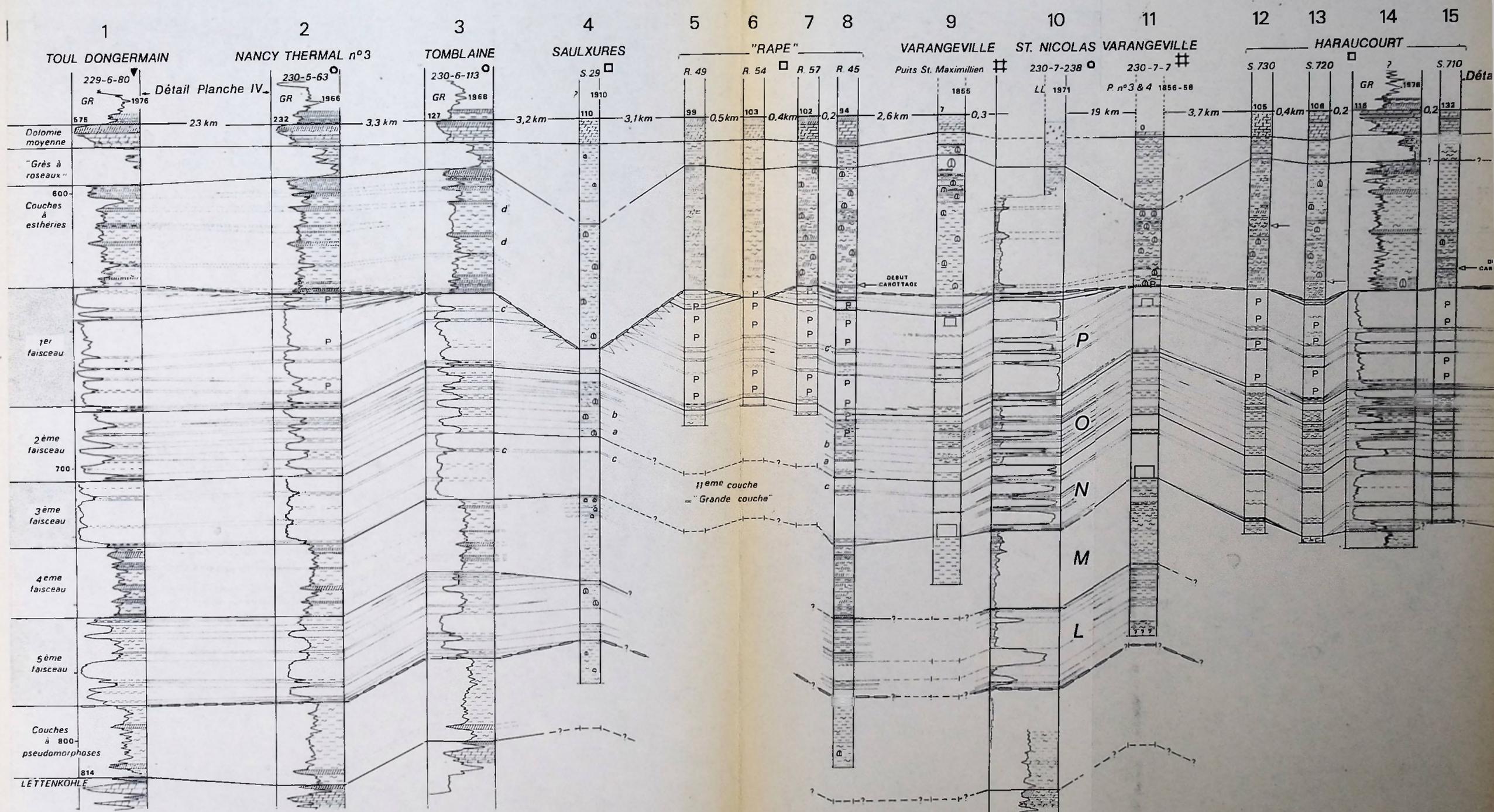


Planche II

Planche II



ZONE AXIALE LORRAINE

Planche IIIA

ZONE AXIALE LORRAINE

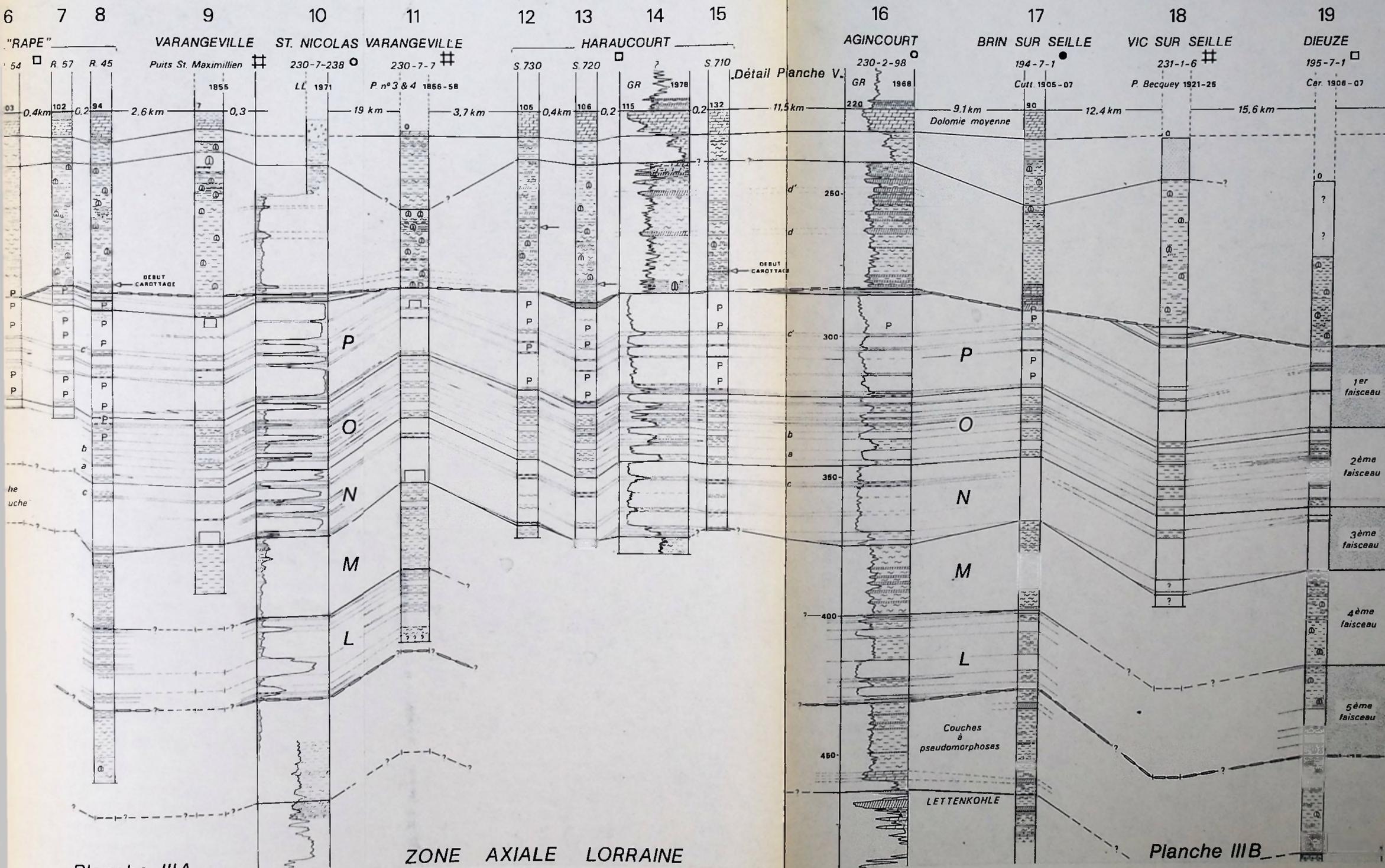
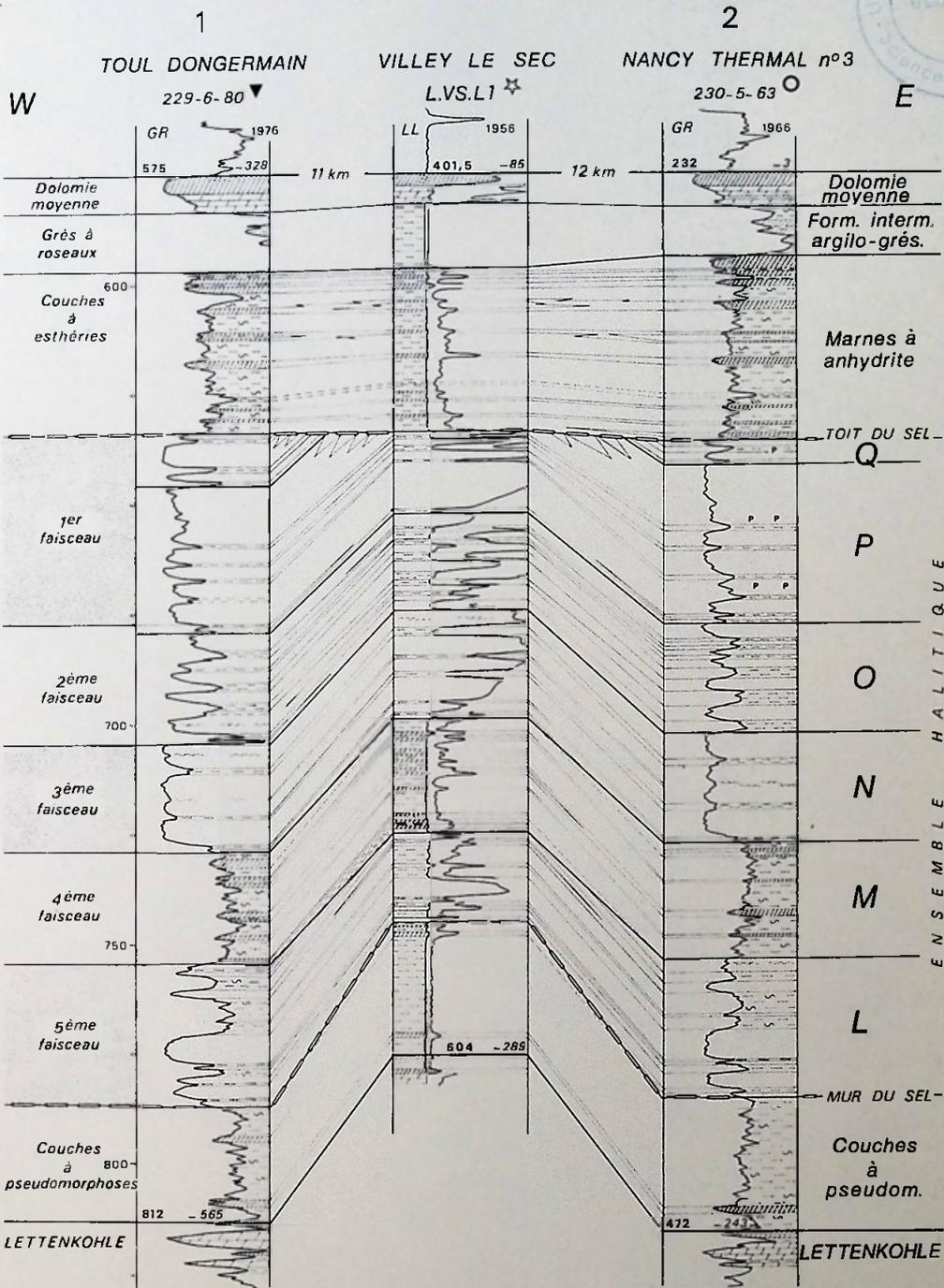


Planche IIIA

ZONE AXIALE LORRAINE

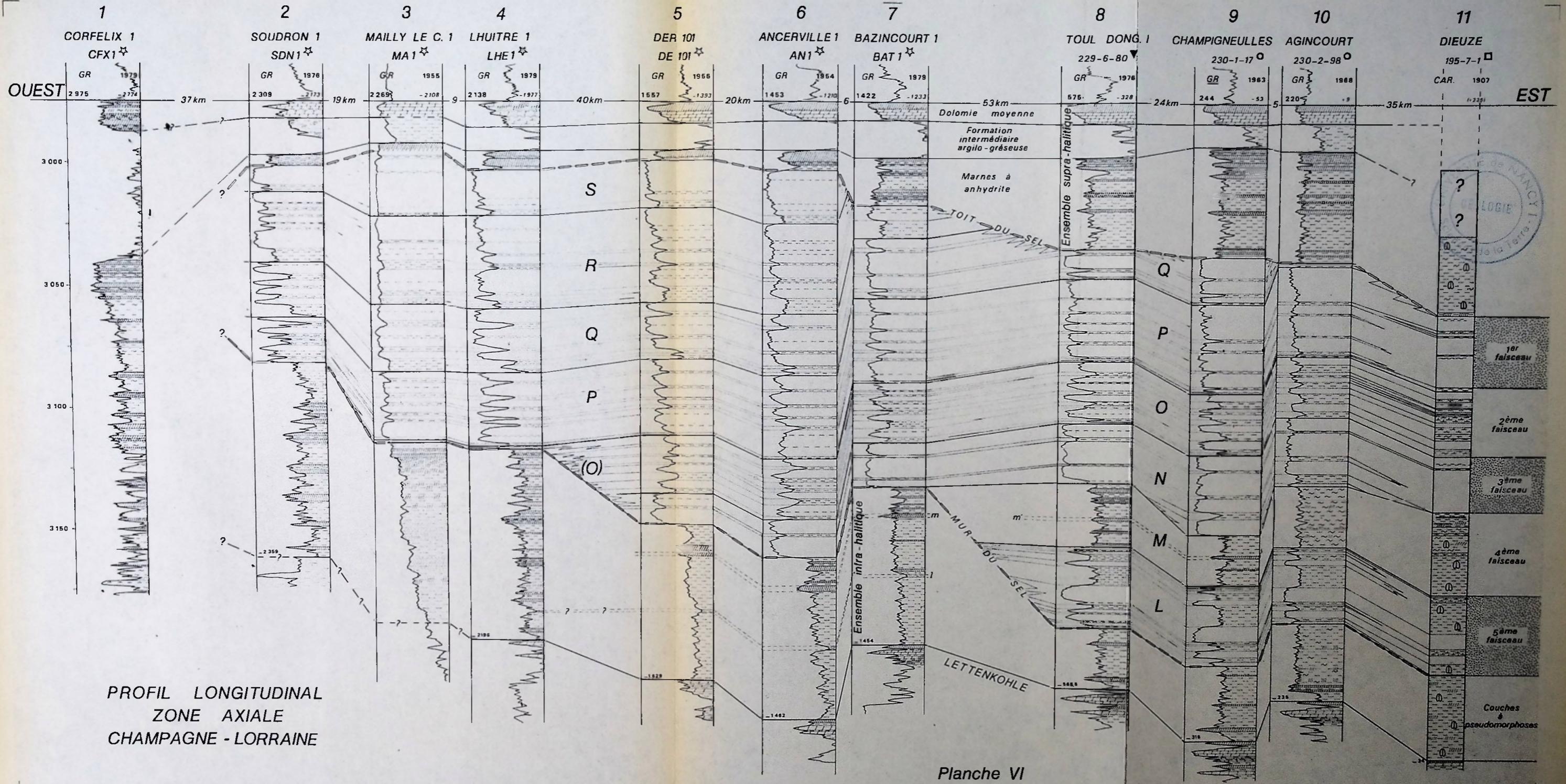
Planche IIIB



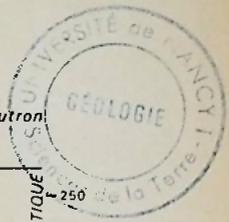


DETAIL DE L'INTERVALLE 1-2 PI.IIIA

Planche IV

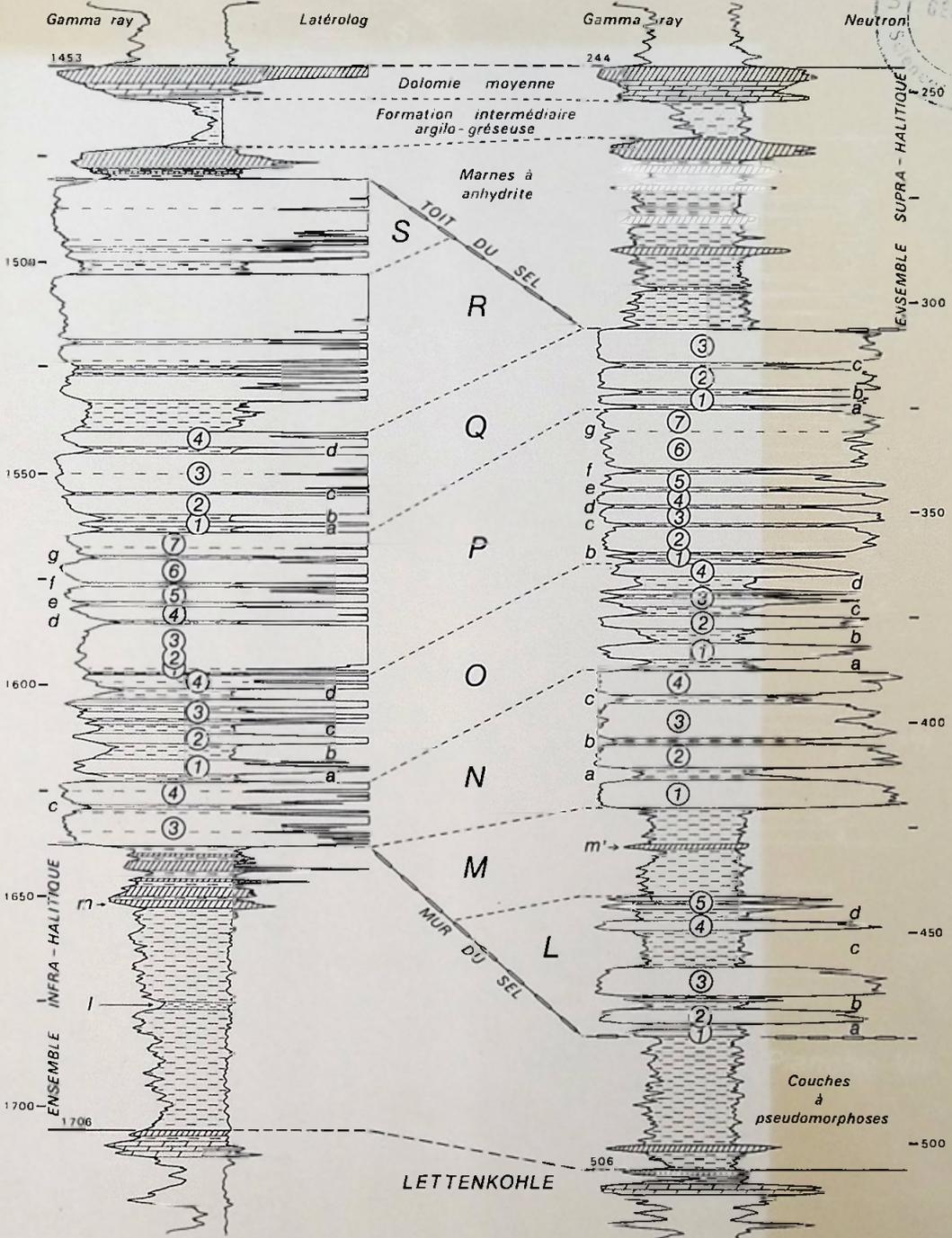


PROFIL LONGITUDINAL
ZONE AXIALE
CHAMPAGNE - LORRAINE



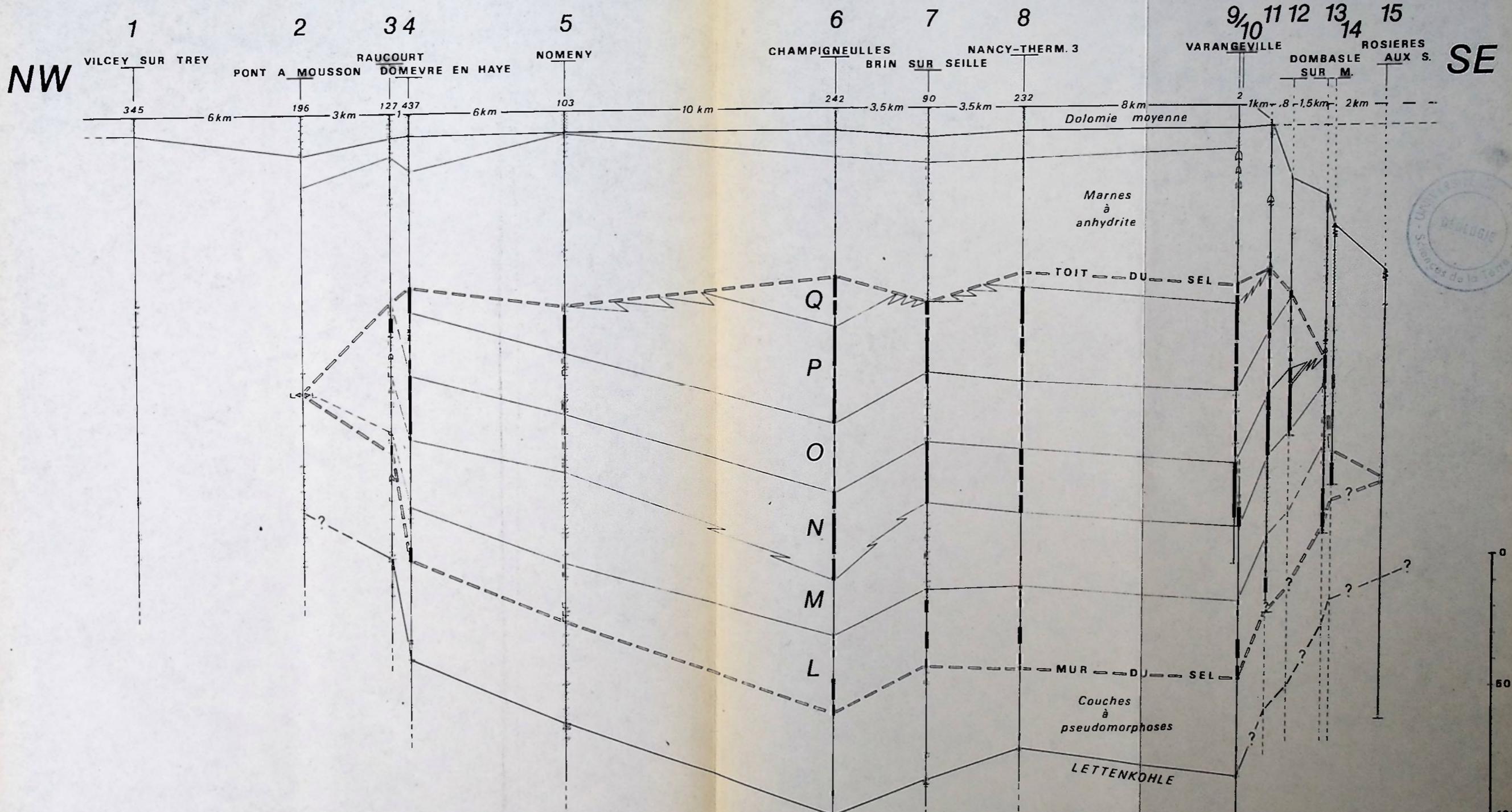
CHAMPAGNE
SONDAGE D'ANCERVILLE

LORRAINE
SONDAGE DE CHAMPIGNEULLES

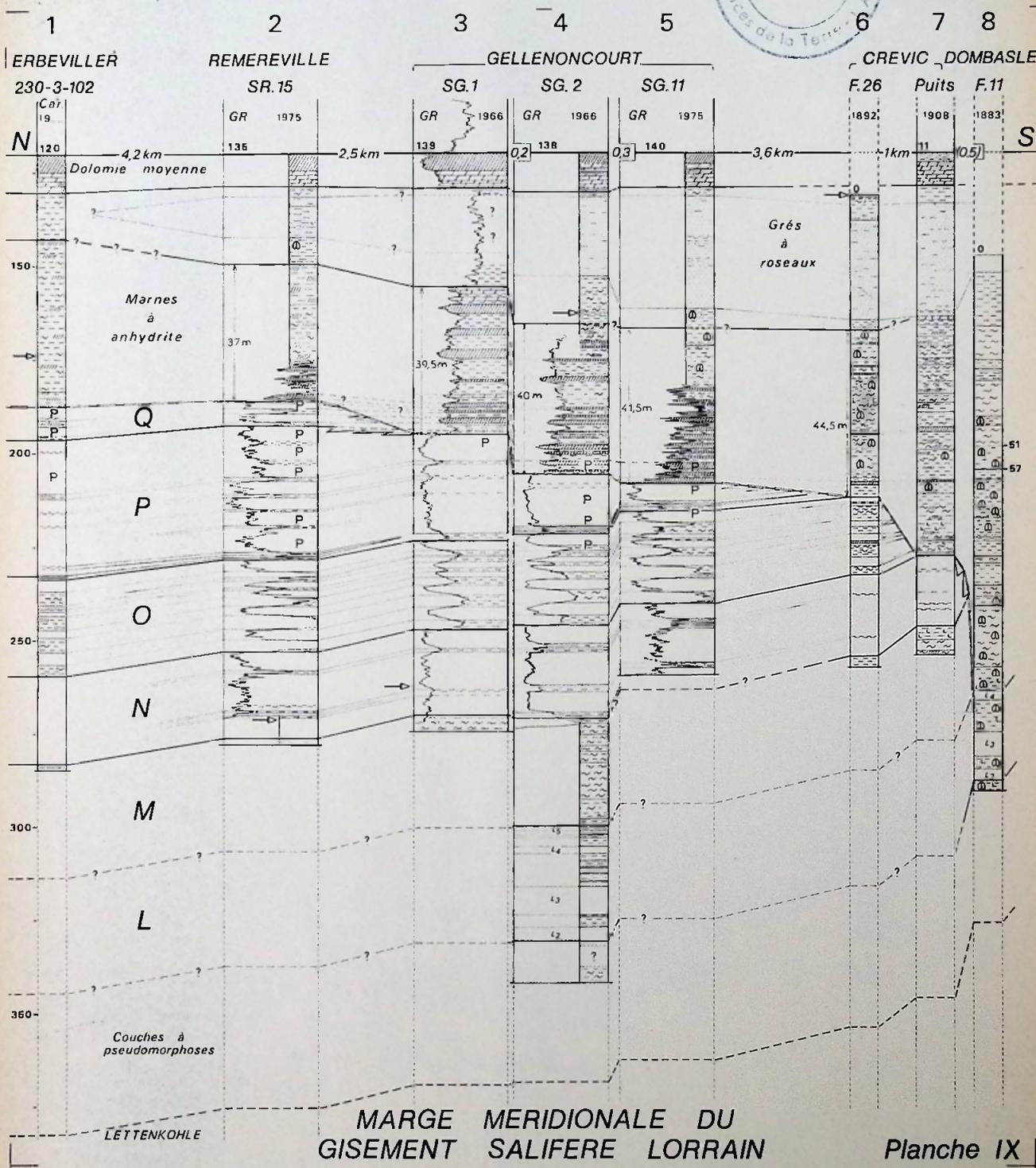
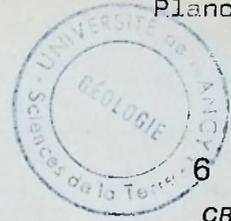


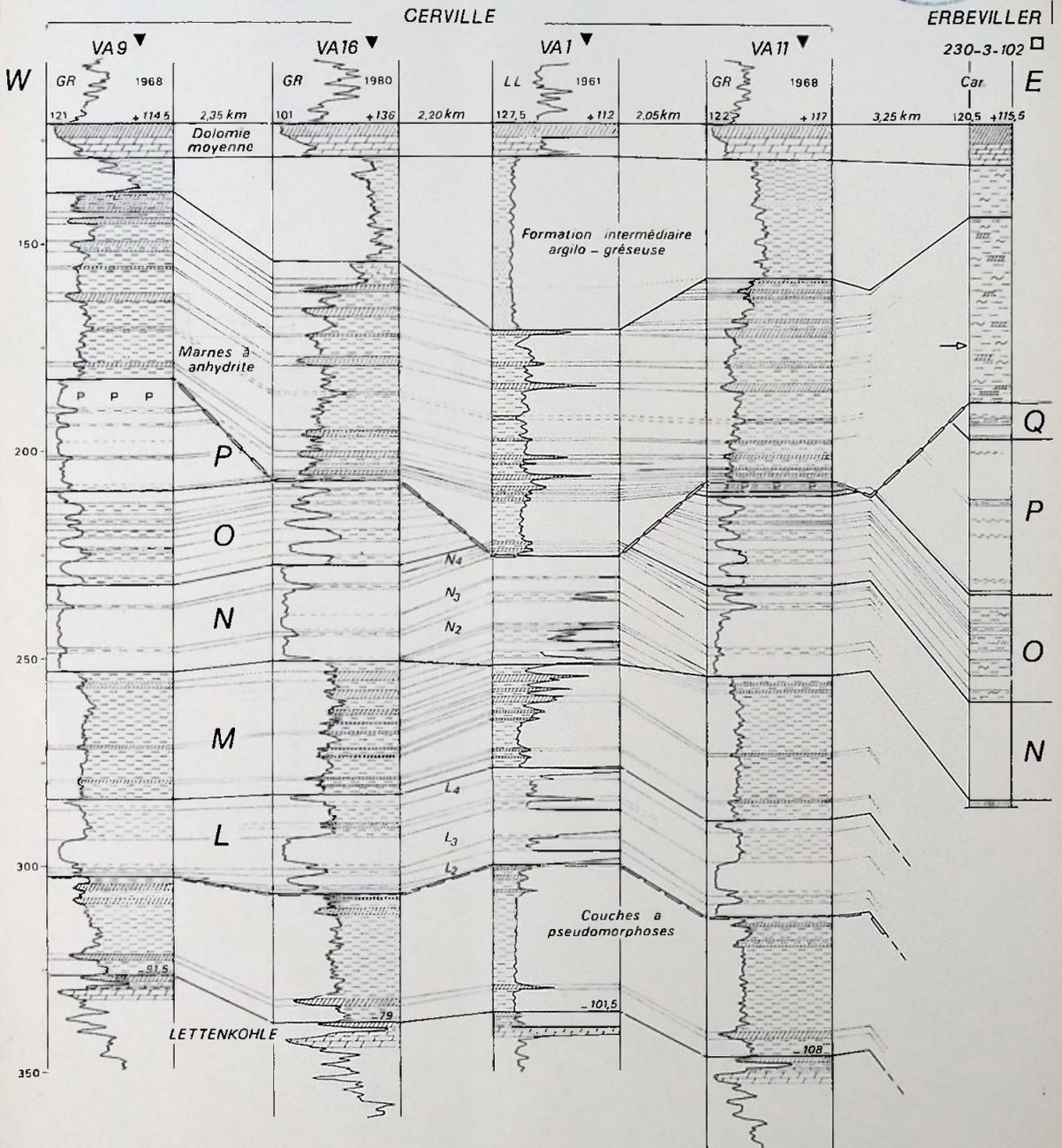
LOGS DE REFERENCE

Planche VII



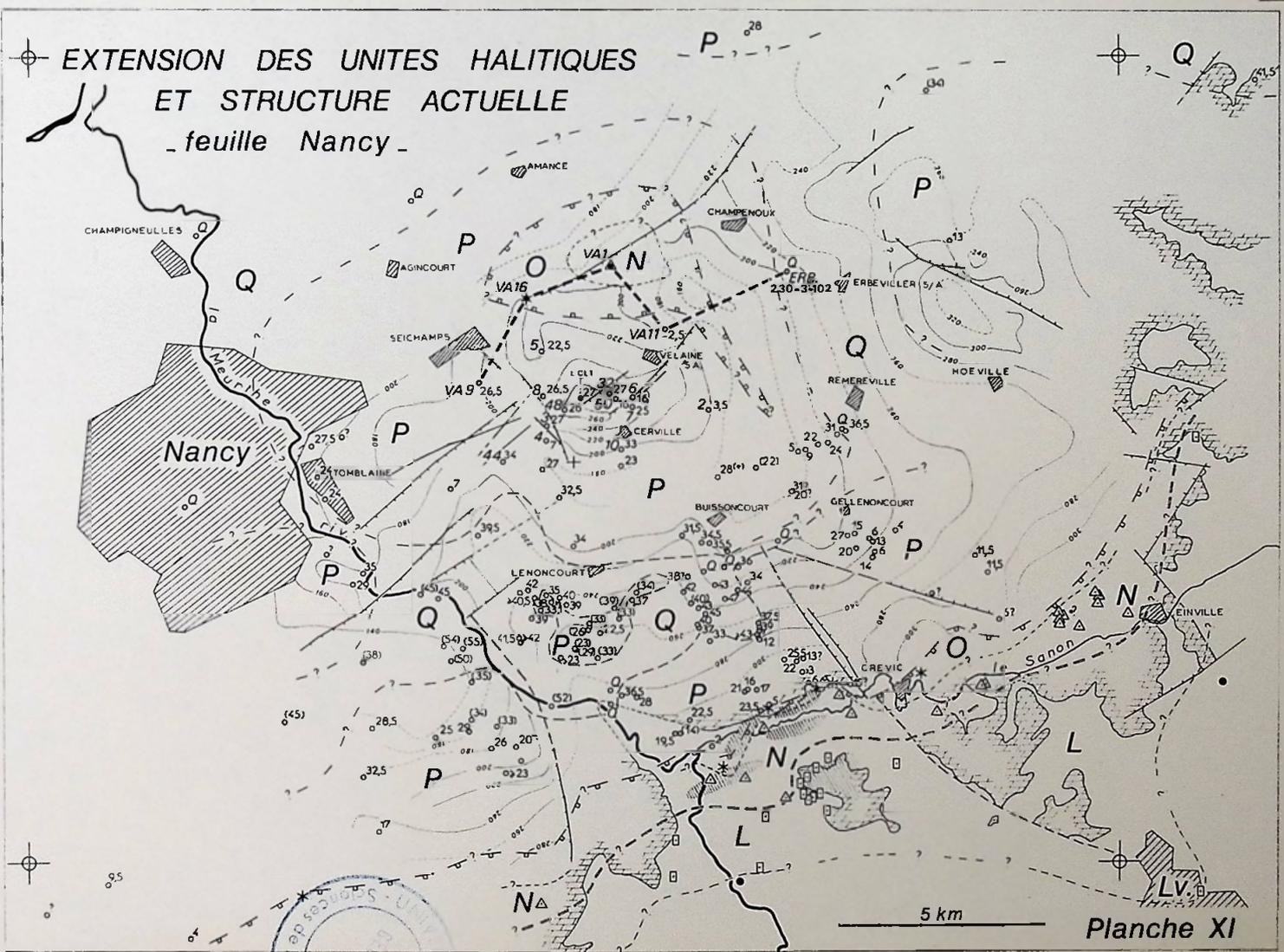
COUPE TRANSVERSALE DU BASSIN SALIFERE LORRAIN





SITE DE CERVILLE

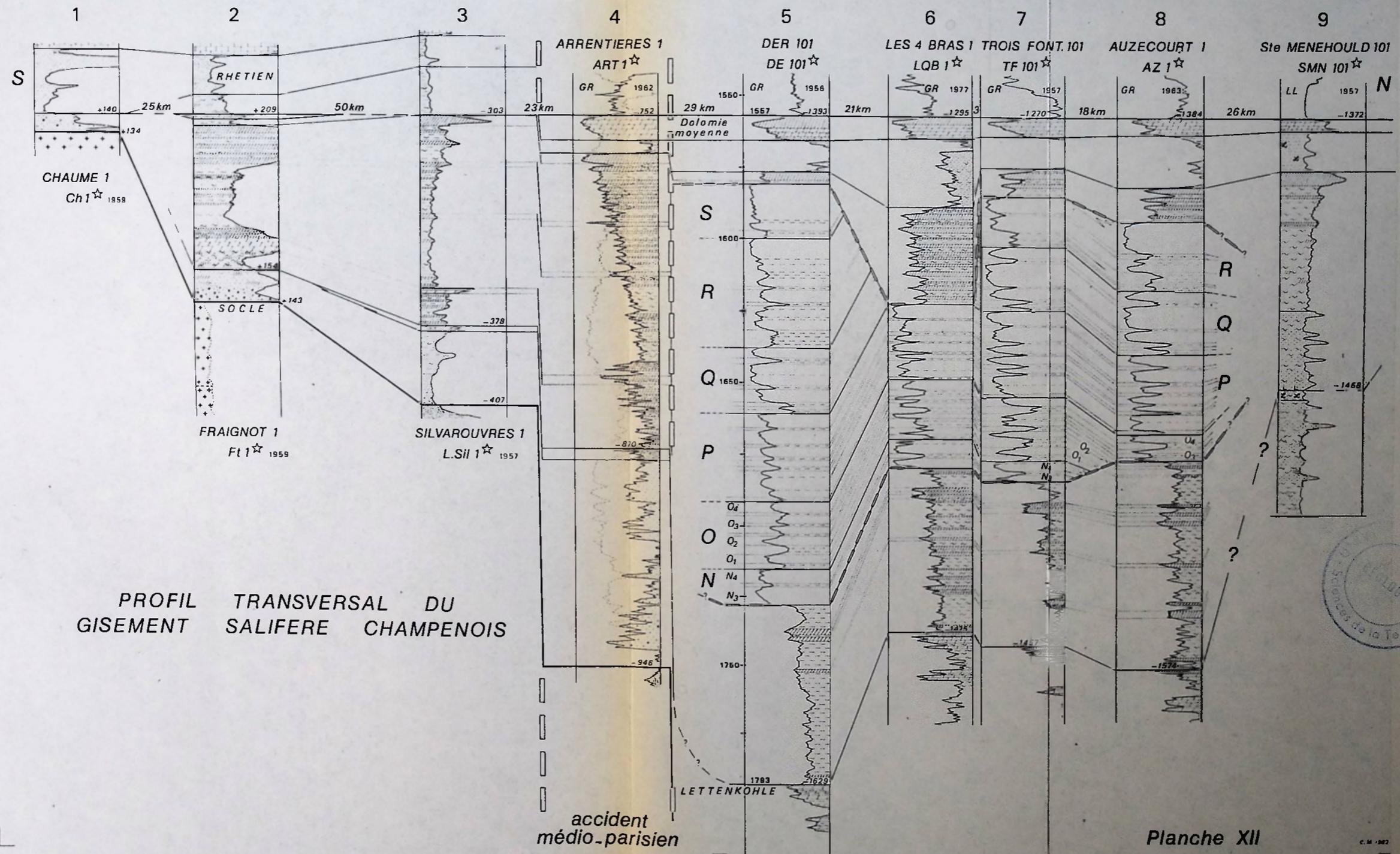
EXTENSION DES UNITES HALITQUES
 ET STRUCTURE ACTUELLE
 - feuille Nancy -



5 km

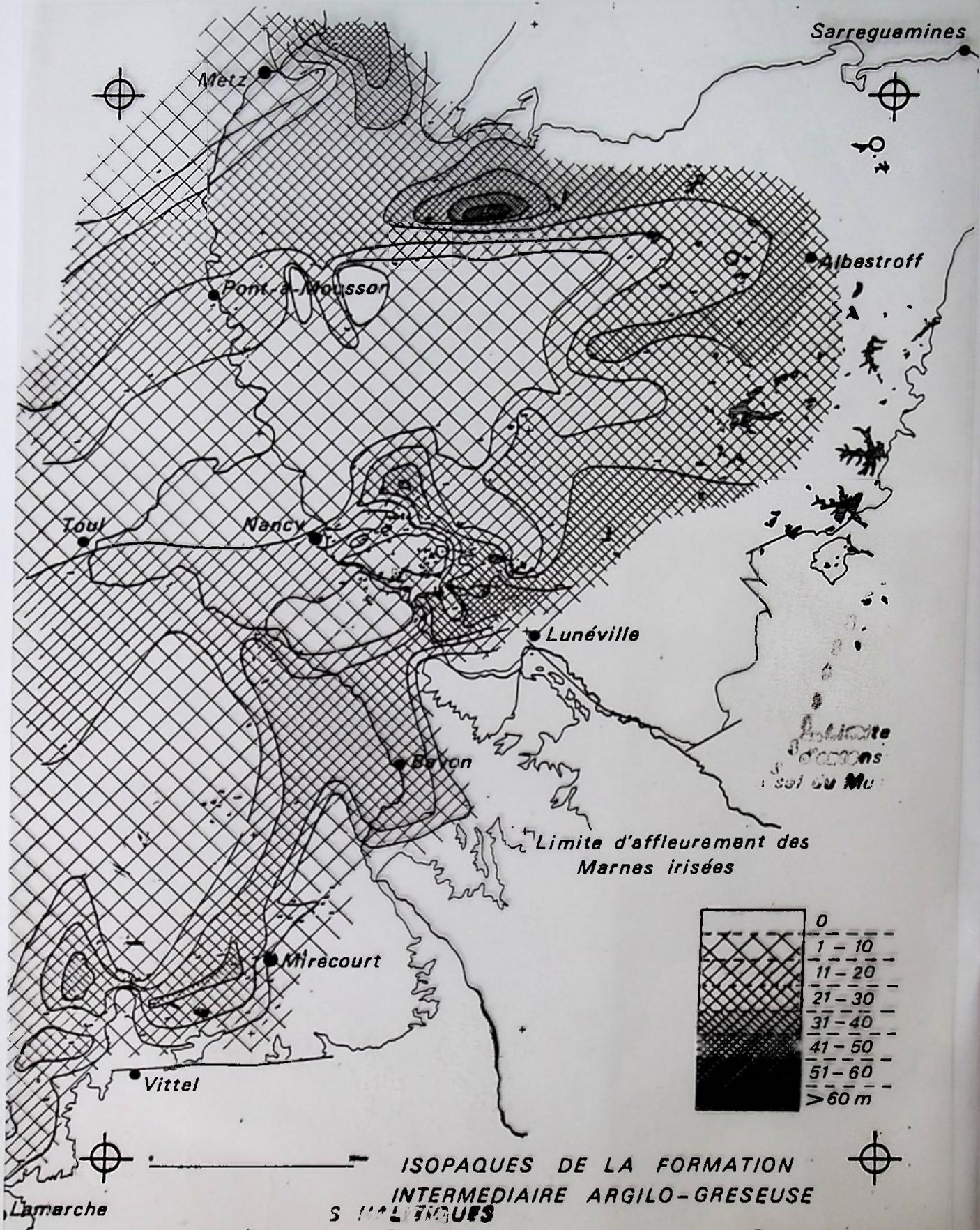
Planche XI

Planche XI



PROFIL TRANSVERSAL DU GISEMENT SALIFERE CHAMPENOIS

accident médo-parisien



Sarreguemines

Metz

Pont-a-Mousson

Albestroff

Toul

Nancy

Lunéville

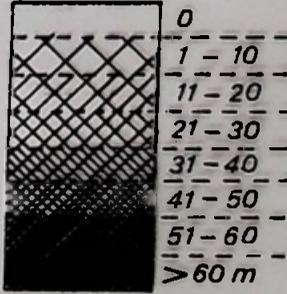
Bryon

Limite d'affleurement des
Marnes irisées

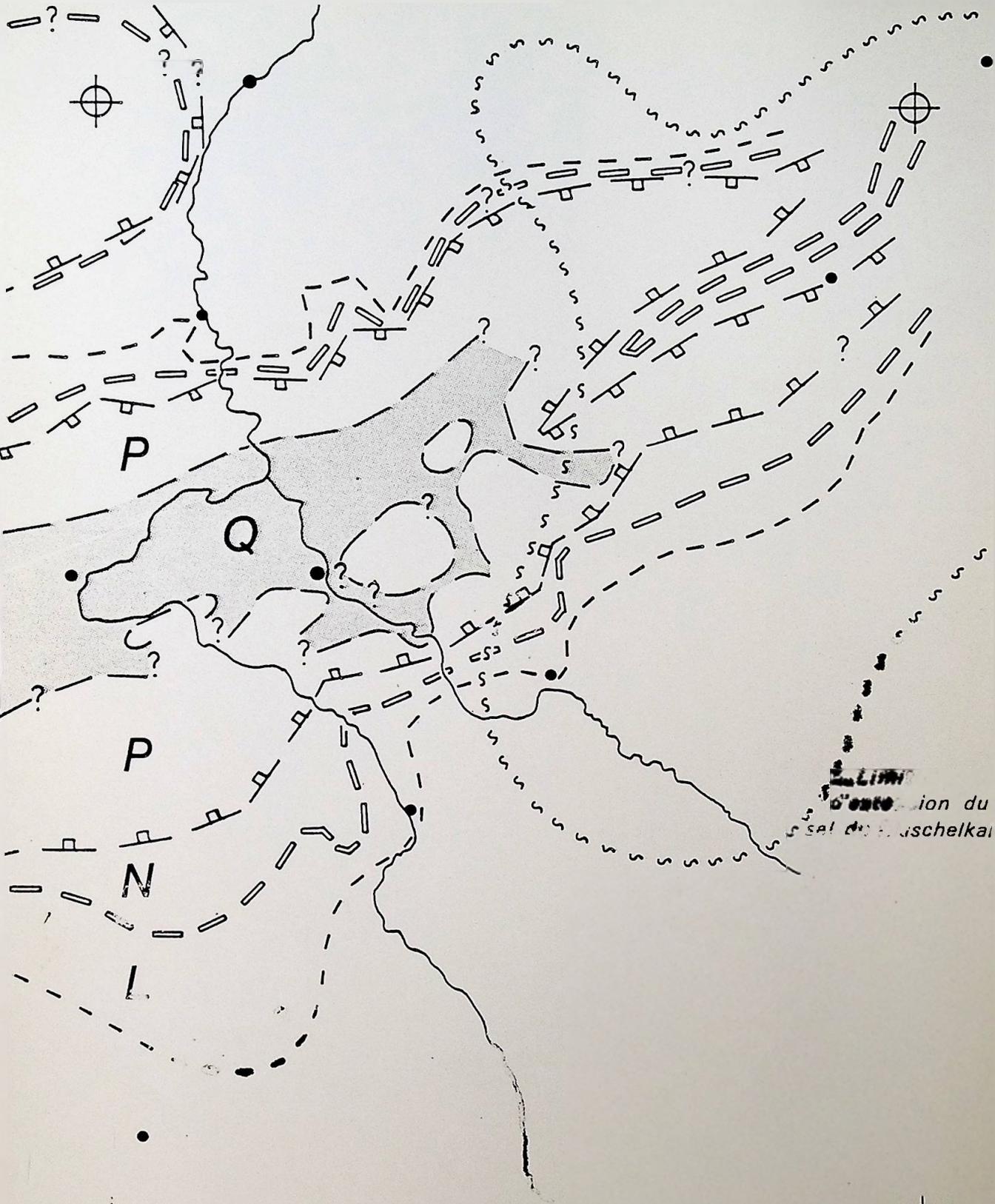
Mirecourt

Vittel

Lamarche



ISOPAQUES DE LA FORMATION
INTERMEDIAIRE ARGILO-GRESEUSE
S. MALLEQUIERES
(S. P. 2000)



EXTENSION DES UNITES HAUTSUISSES
 EN LORRAINE (détail de la carte n° 113)

RESUME

Les données de sondages, et tout particulièrement les enregistrements diagraphiques, constituent l'unique support de cette étude des Marnes irisées inférieures et moyennes (Keuper inférieur et moyen) de Lorraine et de Champagne dont le principal intérêt réside dans la présence d'un important gîte évaporitique (halite et sulfate de calcium pour une moindre part).

La confrontation systématique des données de sub-surface a permis d'intégrer dans une série lithostratigraphique de référence commune les particularités architecturales propres à chacun de ces deux domaines. L'étude spatiale des corps sédimentaires ainsi définis, halitiques essentiellement, a mis en évidence la continuité du Sel entre les domaines lorrain et champenois ainsi que son diachronisme au sein des Marnes irisées inférieures. Cette disposition reflète la transgression d'Est en Ouest des faciès évaporitiques dans un bassin peu profond et soumis à une subsidence différentielle. Stabilisée en Champagne à la fin de l'épisode halitique, cette dernière marque les premiers stades de l'individualisation du Bassin de Paris.

La prise en compte des caractéristiques lithologiques et géométriques des différents ensembles sédimentaires conduit à considérer ce bassin keupérien comme un domaine évaporitique original ne correspondant à aucun des modèles classiques existants et pour lequel un modèle particulier reste à mettre au point.

Mots clés

Trias, Keuper, évaporites, sel gemme (= halite), Bassin de Paris, transgression, corrélations diagraphiques, subsidence.