



HAL
open science

Etude, géologique et hydrogéologique de la région d'Avignon

Yves Caridroit

► **To cite this version:**

Yves Caridroit. Etude, géologique et hydrogéologique de la région d'Avignon. Géologie appliquée. Université de Grenoble, 1968. Français. NNT: . tel-00815289

HAL Id: tel-00815289

<https://theses.hal.science/tel-00815289>

Submitted on 18 Apr 2013

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

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

Doctorat de 3^e Cycle
N° d'Ordre:

THÈSE

PRÉSENTÉE

~~T. 31562~~
~~TPc 3592~~

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE DE L'UNIVERSITÉ

Spécialité : Sciences de la Terre
Mention : Géologie appliquée

par

Yves CARIDROIT

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE
DE LA RÉGION D'AVIGNON



Soutenu le -7-1968 devant la Commission d'Examen

Messieurs

R. BARBIER Professeur

Président

R. MICHEL Professeur

Examineurs

J. SARROT REYNAUD
Maître de Conférences



~~23 AOUT 1971~~

4540 98 91 10000
51010 18

Doctorat de 3^e Cycle
N^o d'Ordre:

THÈSE

~~T 31.562~~

~~T P 359Z~~

T GRE

1968

CAR

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE DE L'UNIVERSITÉ

Spécialité : Sciences de la Terre
Mention : Géologie appliquée

par

Yves CARIDROIT

sciences de la Terre
BIUS
JUSSIEU
CADIST

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'AVIGNON

BIUS JUSSIEU
THÈSES
PARIS

BIBLIOTHÈQUE DU CENTRE
DE RECHERCHES
ET D'ÉTUDES
GÉOLOGO-ÉCONOMIQUES
DE GRENOBLE

Soutenue le -7-1968 devant la Commission d'Examen

Messieurs	R. BARBIER	Professeur	Président
	R. MICHEL	Professeur	Examinateurs
	J. SARROT REYNAUD	Maître de Conférences	

LISTE DES PROFESSEURS

DOYENS HONORAIRES : M. MORET
M. WEIL

DOYEN : M. BONNIER

PROFESSEURS TITULAIRES :

MM.	NEEL Louis	Chaire de Physique Expérimentale
	HEILMANN René	Chaire de Chimie
	KRAVTCHENKO Julien	Chaire de Mécanique Rationnelle
	CHABAUTY Claude	Chaire de calcul différentiel et intégral
	BENOIT Jean	Chaire de Radioélectricité
	CHENE Marcel	Chaire de Chimie Papetière
	WEIL Louis	Chaire de Thermodynamique
	FELICI Noël	Chaire d'Electrostatique
	KUNTZMANN Jean	Chaire de Mathématiques Appliquées
	BARBIER Reynold	Chaire de Géologie Appliquée
	SANTON Lucien	Chaire de Mécanique des Fluides
	OZENDA Paul	Chaire de Botanique
	FALLOT Maurice	Chaire de Physique Industrielle
	KOSZUL Jean-Louis	Chaire de Mathématiques M. P. C.
	GALVANI Octave	Mathématiques
	MOUSSA André	Chaire de Chimie Nucléaire
	TRAYNARD Philippe	Chaire de Chimie Générale
	SOUTIF Michel	Chaire de Physique Générale
	CRAYA Antoine	Chaire d'Hydrodynamique
	REULOS René	Théorie des Champs
	BESSON Jean	Chaire de Chimie
	AYANT Yves	Physique Approfondie
	GALISSOT François	Mathématiques
(Melle)	LUTZ Elisabeth	Mathématiques
MM.	BLAMBERT Maurice	Chaire de Mathématiques
	BOUCHEZ Robert	Physique Nucléaire
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	MICHEL Robert	Chaire de Minéralogie et Pétrographie
	BONNIER Etienne	Chaire d'Electrochimie et d'Electrometallurgie
	DESSAUX Georges	Chaire de Physiologie Animale
	PILLET Emile	Chaire de Physique industrielle et Electrotechnique
	YOCCOZ Jean	Chaire de Physique Nucléaire Théorique
	DEBELMAS Jacques	Chaire de Géologie Générale
	GERBER Robert	Mathématiques
	PAUTHENET René	Mathématiques
	VAUQUOIS Bernard	Chaire de Calcul Electronique

PROFESSEURS TITULAIRES (Suite)

MM.	BARJON Robert	Physique Nucléaire
	BARBIER Jean Claude	Chaire de Physique
	SILBER R.	Mécanique des Fluides
	BUYLE-BODIN Maurice	Chaire d'Electronique
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	KLEIN Joseph	Mathématiques
	VAILLANT François	Zoologie et Hydrobiologie
	ARNAUD Paul	Chaire de Chimie M. P. C.
	SENGEL Philippe	Chaire de Zoologie
	BARNOUD Fernand	Chaire de Biosynthèse de la Cellulose
	BRISSONNEAU Pierre	Physique
	GAGNAIRE	Chaire de Chimie Physique
Mme	KOFLER L.	Botanique
MM.	DEGRANGE Charles	Zoologie
	PEBAY-PEROULA J.C.	Physique
	RASSAT A.	Chaire de Chimie Systématique
	DUCROS P.	Chaire de Cristallographie Physique
	DODU Jacques	Chaire de Mécanique appliquée I.U.T.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.	GIDON P.	Géologie et Minéralogie
	GIRAUD P.	Géologie
	PERRET R.	Servomécanisme
Mme	BARBIER M. J.	Electrochimie
Mme	SOUTIF J.	Physique
MM.	COHEN J.	Electrotechnique
	DEPASSEL R.	Mécanique des Fluides
	GASTINEL A.	Mathématiques Appliquées
	ANGLES-d'AURIAC P.	Mécanique des Fluides
	GLENAT R.	Chimie
	LACAZE A.	Thermodynamique
	BARRA J.	Mathématiques Appliquées
	COUMES A.	Electronique
	PERRIAUX J.	Géologie et Minéralogie
	ROBERT A.	Chimie Papetière
	BIAREZ J.P.	Mécanique Physique
	BONNET G.	Electronique
	CAUQUIS G.	Chimie Générale
	BONNETAIN L.	Chimie Minérale
	DEPOMMIER P.	Etude nucléaire et Génie atomique
	HACQUES Gérard	Calcul Numérique
	POLOUJADOFF M.	Electrotechnique

PROFESSEURS ASSOCIES.

MM.	NAPP-ZINN	Botanique
	RODRIGUES Alexandre	Mathématiques pures
	STANDING Kenneth	Physique Nucléaire

MAITRES DE CONFERENCES :

M.	LANCIA Roland	Physique atomique
Mme	KAHANE J.	Physique
M.	DEPORTES C.	Chimie
Mme	BOUCHE L.	Mathématiques
M.	SARROT-REYNAULD	Géologie - Propédeutique
Mme	BONNIER M. J.	Chimie
MM.	KAHANE A.	Physique Générale
	DOLIQUE J.M.	Electronique
	BRIERE G.	Physique M.P.C.
	DESRE G.	Chimie S.P.C.N.
	LAJZEROWICZ	Physique M.P.C.
	VALENTIN P.	Physique M.P.C.
	BERTRANDIAS J.P.	Mathématiques Appliquées
		T.M.P.
	LAURENT P.	Mathématiques Appliquées
		T.M.P.
	CAUBET J.P.	Mathématiques Pures
	PAYANT J.J.	Mathématiques
Mme	BERTRANDIAS F.	Mathématiques Pures M.P.C.
MM.	LONGEQUEUE J.P.	Physique
	NIVAT M.	Mathématiques Appliquées
	SOHM J.C.	Electrochimie
	ZADWORNY	Electronique
	DURAND F.	Chimie Physique
	CARLER G.	Biologie Végétale
	AUBERT G.	Physique M.P.C.
	DELPUECH J.J.	Chimie Organique
	PFISTER J.C.	Physique C.P.E.M.
	CHIBON P.	Biologie animale
	IDELMAN S.	Physiologie Animale
	BOUVARD Maurice	Hydrologie
	RICHARD Lucien	Botanique
	PELMONT Jean	Physiologie animale
	BLOCH D.	Electrotechnique I.P.
	BOUSSARD J. Claude	Mathématiques Appliquées I.P.
	MOREAU René	Hydraulique I.P.
	BRUGEL L.	Energétique I.U.T.
	SIBILLE R.	Construction Mécanique I.U.T.
	ARMAND Yves	Chimie I.U.T.
	BOLLIET Louis	Informations I.U.T.
	KUHN Gérard	Energétique I.U.T.
	GERMAIN Jean Pierre	Construction Mécanique I.U.T.

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES :

MM.	SAWCZUK A.	Mécanique des Fluides
	CHEEKE J.	Thermodynamique
	YAMADA O.	Physique du Solide
	NATR Lubomir	B.M.P.V.
	NAYLOR Arch	Physique Industrielle
	SILBER Léo	Radioélectricité
	NAZAKI Akihiro	Mathématiques Appliquées
	RUTLEDGE Joseph	Mathématiques Appliquées
	DONOH O Paul	Physique Générale

ETUDE GEOLOGIQUE
ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION
D'AVIGNON



Y. CARIDROIT

GAZDAR Jean
KUNY Octave
MILLET Jean
ARMAND Yves
MILLIE A.
BONNET J.
MORVAN Paul
BOUSSARD Paul
BLOCH
FELIX
RICHARD
MAYAN
MAYAN

BOURDIER A.
CHENE J.
YANAGI O.
NATE
NAYON
STIER
WATTE
KUTZUB
DOND

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	1
INTRODUCTION	2

PREMIERE PARTIE	7
A - Stratigraphie de la vallée du Rhône entre Roquemaure et Aramon	7
I - 1 - Le Crétacé	10
I - 2 - L'Hauterivien	12
I - 3 - Le Barrémien	15
I - 3 - 1 - Le massif de Villeneuve-les-Avignon	15
I - 3 - 2 - Le massif Sauveterre-Roquemaure	18
I - 4 - Cénomanién	20
I - 5 - Conclusions	20
II - EOCENE - OLIGOCENE	22
II - 1 - Lutétien	22
II - 2 - Aquitanien	22
III - MIOCENE	23
III - 1 - Burdigalien	23
III - 1 - 1 - Faciès de plateforme	23
III - 1 - 2 - Faciès de fond	27
III - 1 - 3 - Marnes bleues de Caumont	27
III - 2 - Helvétien	31
III - 3 - Conclusions	36
IV - PLIOCENE	37
IV - 1 - Plaisancien	37
IV - 2 - Astien	40
V - PLIO-QUATERNAIRE	41
V - 1 - Alluvions anciennes	41
V - 2 - La basse terrasse	42
V - 3 - Les alluvions anciennes	42

	pages
B - Remarques tectoniques	45
C - Remarques sédimentologiques et paléogéographiques	61

DEUXIEME PARTIE	67
- La reconnaissance du substratum sous la plaine alluviale entre Roquemaure et Aramon ..	68
I - DONNES GENERALES	69
II - PROSPECTION GEOPHYSIQUE	69
III - STRATIGRAPHIE DU SUBSTRATUM	71
III - 1 - Généralités	71
III - 2 - Crétacé	72
III - 3 - Miocène	74
III - 3 - 1 - Burdigalien	74
III - 3 - 2 - Helvétien inf. -Burdigalien	76
III - 3 - 3 - Helvétien	79
IV - REPARTITION DES DIFFERENTS NIVEAUX. CORRELATIONS ENTRE LES AFFLEUREMENTS ET LES SONDAGES	84

TROISIEME PARTIE	89
- Hydrogéologie	89
I - GENERALITES	91
I - 1 - Données géographiques	91
I - 2 - Données topographiques	91
I - 3 - Données hydrographiques	91
I - 3 - 1 - Régime du Rhône	93
I - 3 - 2 - Régime de la Durance	94
I - 3 - 3 - Régime de l'Ouvèze	94
I - 3 - 4 - Variations comparées du Rhône et de ses affluents Ouvèze et Durance	96
I - 4 - Données climatologiques	96
I - 5 - Histoire du Bassin	98

	pages
II - DONNES GEOLOGIQUES	99
II - 1 - Environnement géologique	99
II - 2 - Substratum sous-alluvial	99
II - 3 - Comblement alluvial	101
II - 3 - 1 - Nature du remplissage	101
II - 3 - 2 - Epaisseurs des alluvions	101
III - ECOULEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE DES ALLUVIONS ENTRE ROQUEMAURE ET AVIGNON	103
III - 1 - Données générales	103
III - 2 - Perméabilités des sols	103
III - 3 - Caractéristiques générales de la nappe phréatique des alluvions récentes	105
III - 4 - Caractéristiques générales de l'écoulement	109
III - 5 - Etude détaillée des différents secteurs ..	109
III - 5 - 1 - Zone 1	110
III - 5 - 2 - Zone 2	111
III - 5 - 3 - Zone 3	113
III - 5 - 4 - Zone 4	114
III - 5 - 5 - Zone 5	115
III - 5 - 6 - Zone 6	115
III - 5 - 7 - Zone 7	116
IV - VARIATIONS DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE	119
IV - 1 - Courbes d'égale variation de la nappe phréatique	119
IV - 2 - Facteurs influant sur les variations de la nappe phréatique	124

CONCLUSIONS GENERALES	131

LISTE DES FIGURES

- 1 - Plan de situation
- 2 - Carte géologique
- 3 - Hauterivien supérieur, Bois de Gajan
- 4 - Bordure Nord Est de la "Montagne"
- 5 - Burdigalien - Helvétien - Les Angles
- 6 - Burdigalien - Helvétien - Pont de Bompas - Caumont
- 7 - Marne bleue - Analyse aux rayons X - Caumont
- 8 - Marne bleue - Analyse aux rayons X - Les Angles
- 9 - Helvétien - Plateau de Cabrion
- 10 - Helvétien - Sève - Grand Gigognan
- 11 - Miocène - Log synthétique
- 12 - Plaisancien - Analyse aux rayons X - Fournés
- 13 - Massif Aramon - Villeneuve - Coupes géologiques schématiques
- 14 - Prospection géophysique
- 15 - Marne bleue - Analyse aux rayons X - Sondage RA 112
- 16 - Coupe du sondage RA 112
- 17 - Colonne stratigraphique synthétique des sondages de la vallée du Rhône entre Roquemaure et Aramon
- 18 - Carte géologique du substratum
- 19 - Hydrographie
- 20 - Régime du Rhône
- 21 - Variations comparées du Rhône, de la Durance et de l'Ouvèze
- 22 - Répartition des sédiments dans les alluvions récentes île de la Barthe-lasse
- 23 - Répartition des sédiments dans les alluvions récentes île de Piot
- 24 - Carte piézométrique - nappe moyenne
- 25 - Carte piézométrique - nappe basse
- 26 - Carte piézométrique - nappe haute
- 27 - Courbes d'égale variation - période 1
- 28 - Courbes d'égale variation - périodes 2 et 3
- 29 - Variations comparées des niveaux du Rhône et de ceux de piézomètres caractéristiques pour 1963
- 30 - Influence de la pluviométrie sur la nappe
- 31 - Influence de l'Ouvèze sur la nappe
- 32 - Influence des irrigations sur les variations de la nappe

AVANT - PROPOS

AVANT-PROPOS

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon Père

Qu'il me soit permis de remercier ici toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cet ouvrage. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à :

- Monsieur le Professeur R. BARBIER à qui je dois le sujet de cet ouvrage
- Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD, qui me prodigua ses conseils tant sur le terrain qu'au laboratoire.
- La Section d'Etudes de la Compagnie Nationale du Rhône d'Avignon, en particulier Monsieur MATHIAN, Directeur, qui m'accepta pendant presque une année dans son service, et Monsieur JEANJEAN, Ingénieur, avec qui nous travaillâmes en étroite collaboration.
- Le Cabinet d'Etudes RUBY, en la personne de mon camarade G. BOSSY.
- Madame Y. LE CALVEZ, Ingénieur au B. R. G. M. et Monsieur M. MOULLADE, à qui je dois les déterminations de Foraminifères.
- Monsieur F. DOUVILLE qui n'hésita pas à me confier ses travaux inédits sur la région du Comtat.
- Monsieur GERMAND, Conservateur au Musée d'Histoire Naturelle d'Avignon, avec qui j'eus de profitables conversations.
- Enfin mes plus vifs remerciements vont à mes premiers Maîtres qui m'initèrent à la Géologie dans cette même Provence où je devais revenir réaliser ce travail :
- Monsieur le Doyen G. CORROY et Monsieur le Professeur C. GOUVERNET.

INTRODUCTION

Les études effectuées par la Compagnie Nationale du Rhône dans la région d'Avignon entrent dans le cadre de l'aménagement du fleuve entre Lyon et la Méditerranée pour la production d'énergie et la création d'une voie navigable accessible aux convois importants.

Les problèmes posés au groupe d'études de la C. N. R. sont de trois ordres :

- choix d'un site favorable pour l'implantation des ouvrages de retenue et de l'usine hydroélectrique,
- choix du type d'ouvrage,
- prévisions de l'incidence des travaux hydrauliques (retenue, canal d'amenée) sur la nappe phréatique activement exploitée dans cette région méridionale.

La recherche du meilleur site pour l'établissement d'un ouvrage est étroitement liée à la nature du substratum sous alluvial, aussi la C. N. R. a-t-elle engagé une prospection par géophysique et par sondages mécaniques en amont d'Avignon.

En même temps, afin d'avoir des observations sur la nappe phréatique des alluvions, elle a fait disposer un quadrillage de piézomètres qu'elle relève périodiquement pendant plusieurs années.

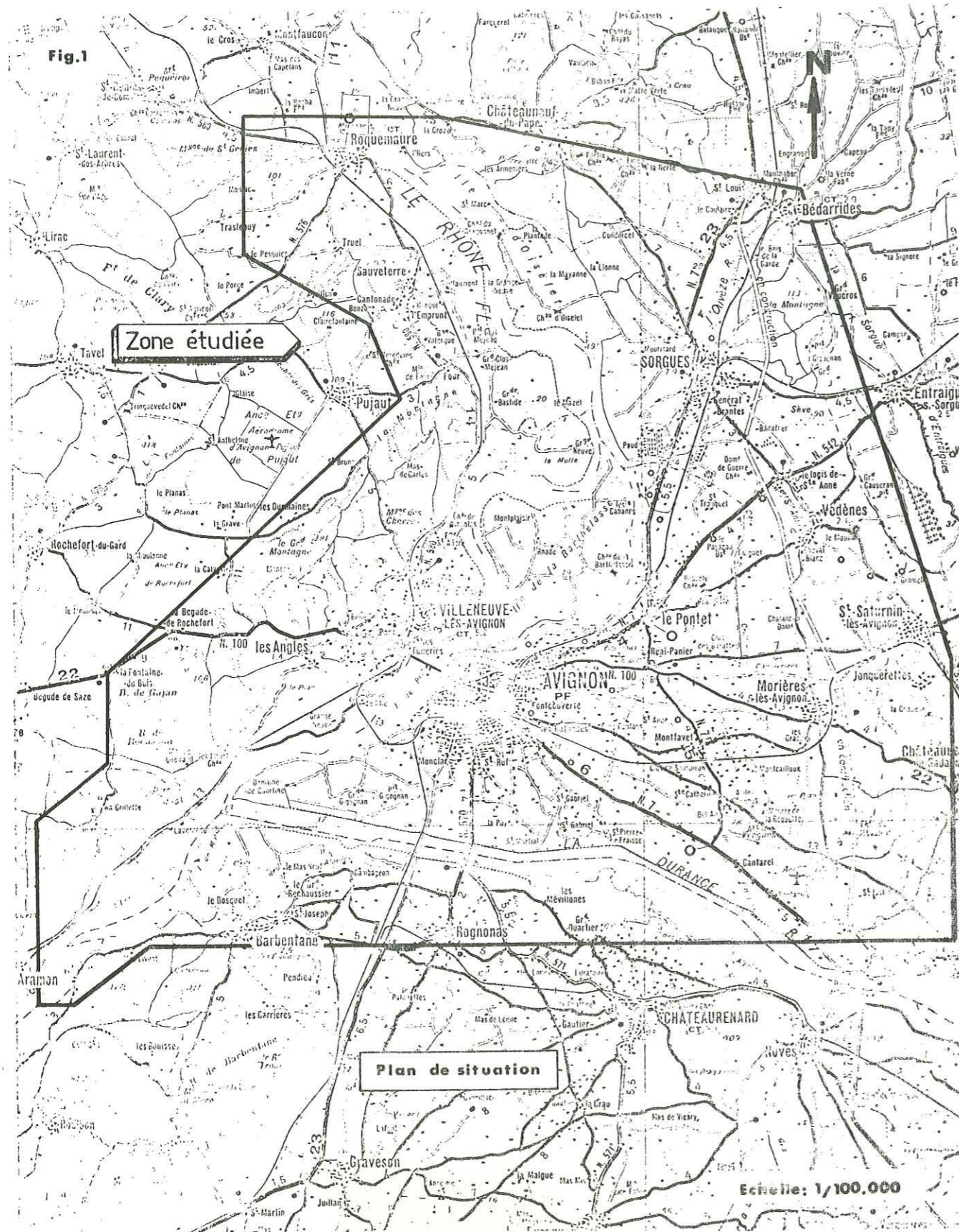
Le but de notre étude était double :

- participer à la reconnaissance géologique du substratum sous alluvial, afin d'en produire une carte détaillée,
- définir les conditions hydrogéologiques générales du bassin d'Avignon.

La reconnaissance du substratum nous a conduit à lever la carte géologique des bordures du bassin afin d'établir les corrélations entre les terrains affleurants et les sondages.

Précisons dès maintenant, en ce qui concerne le lever de carte, qu'il s'agissait plus particulièrement de reconnaître les faciès en fonction des documents existants, plutôt que de remanier totalement la stratigraphie et la tectonique de la région.

Notre travail devait aboutir à la connaissance détaillée de la "cuvette" que représente le bassin d'Avignon.



1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Ce que nous appellerons le "bassin d'Avignon" est en réalité la partie occidentale de la plaine alluviale du Comtat limitée à l'Est par les reliefs des Monts de Vaucluse et du Ventoux et à l'Ouest par les plateaux calcaires des Garrigues.

Des reliefs miocènes partagent la plaine du Comtat en deux parties, la partie occidentale étant représentée par le bassin d'Avignon proprement dit.

Trois types de morphologie sont représentés dans la région, il s'agit :

a) des massifs calcaires

Ils ont une altitude relativement élevée pour la région ; notons 175 mètres au signal du Grand Montagné, soit environ 150 mètres au-dessus de la plaine du Rhône. Ces "plateaux calcaires" ont une morphologie bien particulière au relief peu accentué, mais haché de failles qui déterminent des abrupts pouvant atteindre une centaine de mètres de hauteur.

Une végétation particulière adaptée au terrain calcaire et à la longue sécheresse de l'été correspond dans cette région à la forêt de Chênes verts.

En réalité cette forêt a été partiellement détruite par l'homme et remplacée par la garrigue.

La flore est alors représentée par des espèces calcicoles :

- Chêne kermès
- Olivier
- Myrte, Romarin, Lavandes diverses
- Bruyères
- Cystes
- Liliacées et orchidées
- Graminées xérophiiles
- dans les espaces nus, des plantes annuelles.

Enfin sous forme de bouquets, ou de trainées :

- les Chênes verts
- le Pin d'Alep

b) des collines miocènes

Elles sont d'altitude plus modeste (de 50 à 70 mètres au-dessus de la plaine alluviale). Le relief est "mou", arrondi, sans abrupts. Leur partie supérieure est généralement couronnée par le système de hautes terrasses à galets. Peu à peu la végétation spontanée, sensiblement identique à celle de la garrigue a fait place à la culture de la vigne et des arbres fruitiers.

c) la plaine alluviale

Edifiée par le Rhône, elle s'élargit après le goulet de Roquemaure pour atteindre une dizaine de kilomètres à la latitude d'Avignon.

C'est le domaine de la culture maraîchère, extraordinairement développée dans les îles du Rhône où le fleuve a déposé une épaisseur importante de limons de débordement. Signalons aussi les arbres fruitiers, et les haies de cyprès en coupe-vent si caractéristiques dans les plaines soumises à l'influence du mistral.

La pente générale du Nord au Sud est très faible, puisqu'elle passe de 20 mètres (Roquemaure) à 14 mètres (Aramon) sur une vingtaine de kilomètres, soit une pente moyenne de 0,3 ‰.

Climat

C'est le climat méditerranéen typique, caractérisé par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. A cela il faut ajouter l'influence du vent du Nord dominant (mistral) favorisant une évaporation intense, surtout en été.

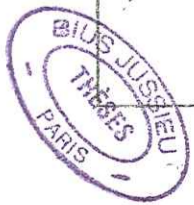
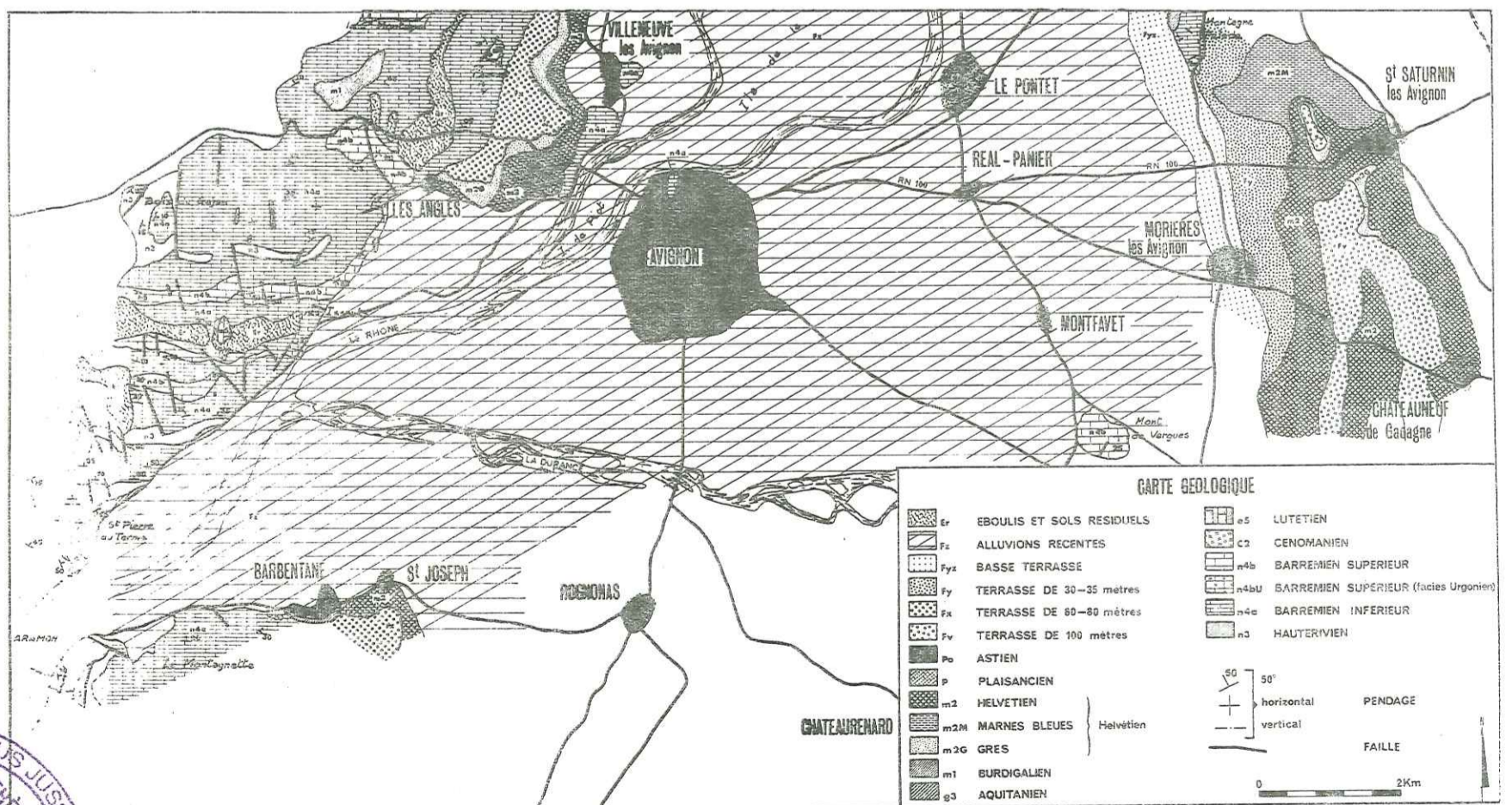
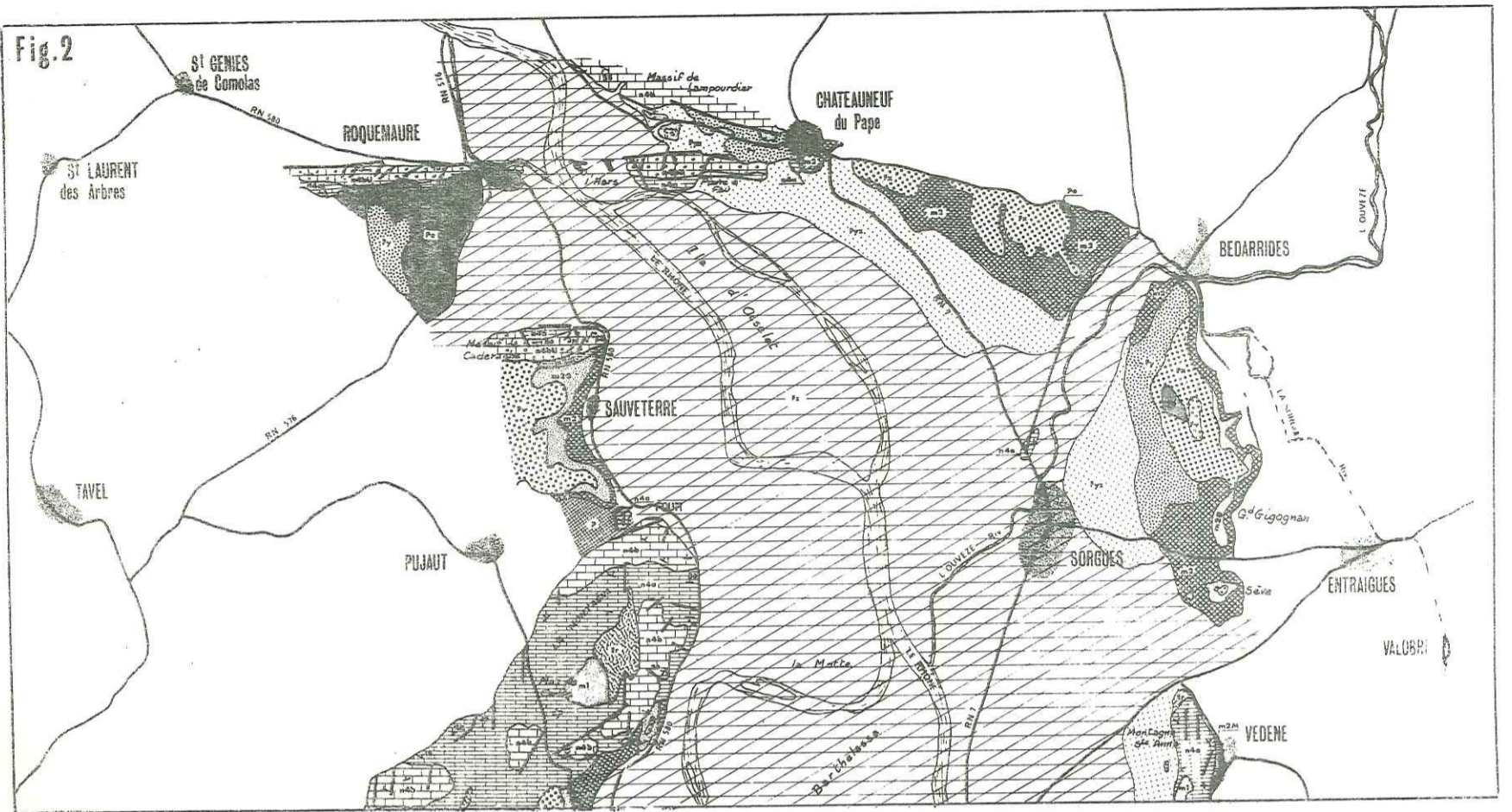
2 - SITUATION GEOLOGIQUE

L'histoire géologique du bassin d'Avignon est étroitement liée à la mise en place des unités structurales provençales proprement dites dont le secteur étudié représente la partie la plus septentrionale à la limite des ensembles "vocontiens".

A cette mise en place des reliefs créacés d'orientation générale est-ouest se sont surimposés les effondrements miocènes et pliocènes découpant obliquement les structures existantes en "graben" qui permettront par la suite au régime hydrographique de s'établir, et en particulier au Rhône de franchir les reliefs à la faveur de verrous.

PREMIERE PARTIE

A - STRATIGRAPHIE DE LA VALLÉE
DU RHÔNE ENTRE ROQUEMAURE
ET ARAMON



I - 1 - LE CRÉTACÉ

Généralités

Le Crétacé, principalement le Crétacé inférieur (Hauterivien et Barrémien) constitue l'"ossature" de la région étudiée, entre Roquemaure au Nord et Barbantane au Sud.

Partiellement masqué par des formations plus récentes, sédimentaires ou alluviales, il affleure cependant en de nombreux points :

- à l'Ouest du "fossé avignonnais", il constitue les plateaux, d'orientation sud-ouest-nord-est entre Aramon et Four, relayés vers le Nord par les "barres" de Sauveterre et de Roquemaure.

Le massif, bordant la partie occidentale de la vallée du Rhône, a une largeur moyenne de 1 200 mètres pour une longueur d'une quinzaine de kilomètres dans le secteur étudié.

La morphologie de ce massif, communément appelé "Massif de Villeneuve" donne l'apparence d'un vaste plateau calcaire qui est la prolongation septentrionale de la garrigue nîmoise. Il réapparaît en Avignon même où il constitue le "rocher des Doms".

- À l'Est du fossé avignonnais, le Crétacé n'apparaît plus que sous forme de petits pointements qui émergent des formations alluviales.

Il s'agit du Nord au Sud :

- du massif situé au Sud de Châteauneuf-du-Pape (Pierre à Feu, Bois de la Vieille, Moulin à Vent). Il prolonge en rive gauche la barre de Roquemaure ;

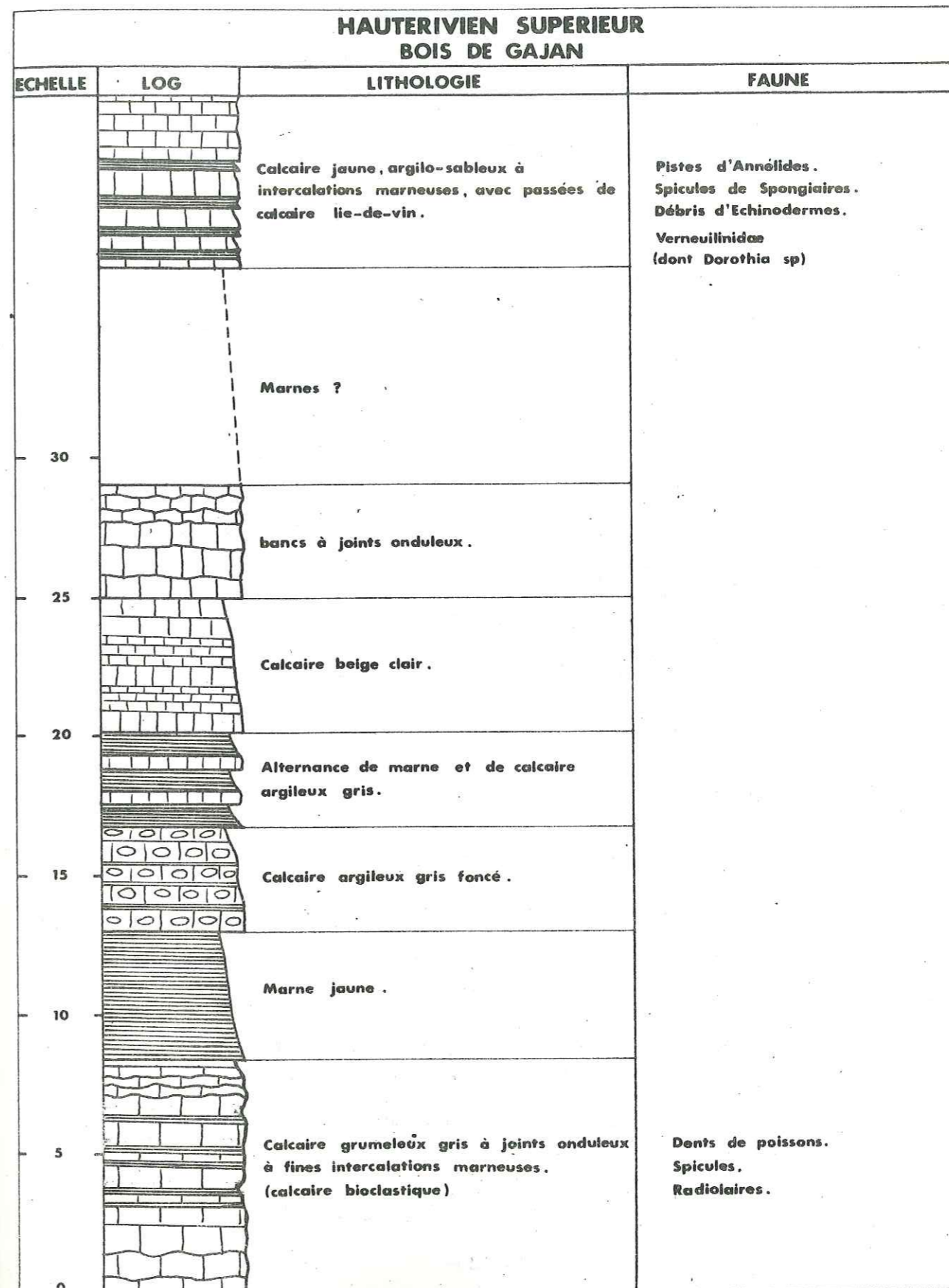
- de l'affleurement situé au Nord Ouest de Sorgues ;

- de la colline de Vedène (Montagne Ste-Anne, Montagne Pelade), à 50 m au-dessus de la plaine ;

- du massif de Mont de Vergues, au Sud de Montfavet, petit pointement de quelques hectares ;

- du massif de Caumont, en bordure de la Durance ;

Fig.3



- Au Nord, à proximité de Châteauneuf-du-Pape, le massif de Lampourdier, où apparaît le contact Barrémien-Cénomancien.

- Au Sud, le Crétacé constitue la majeure partie du massif de la Montagnette.

I - 2 - L'HAUTERIVIEN (n³)

Affleurements

L'Hauterivien affleure essentiellement dans la partie méridionale du massif des Angles, c'est-à-dire entre Aramon et Les Angles, soit :

- au Nord d'Aramon (Les Rompudes, Lavernède) ;
- Bois de Gajan (Creux de l'Arnède, Fontaine du Buis) ;
- au Nord du Château des Issarts (Pas de la Claide, La Chevalière).

Description générale

On peut considérer cet étage, dont seule la partie supérieure est apparente, comme un ensemble de calcaires argileux et de marnes, alternant sur une quarantaine de mètres de puissance.

Les bancs calcaires : de 20 à 50 cm d'épaisseur, ont une patine gris sombre, une cassure gris beige à gris foncé.

La distribution des lits marneux est assez irrégulière, leur épaisseur aussi qui peut varier de 2 à 30 cm.

La macrofaune est extrêmement pauvre, pour ne pas dire inexistante. Il n'est possible de la distinguer que sous forme de débris (Echinodermes, Spongiaires).

La microfaune est représentée par des Foraminifères benthiques.

Coupe type : Bois de Gajan (cf. fig. 3)

Nous avons pu relever la coupe suivante :

- à la base, sur une dizaine de mètres, des bancs calcaires de 30 à 50 cm d'épaisseur à patine gris-foncé, à cassure gris-clair, avec des joints onduleux très marqués.

Les intercalations marneuses jaunâtres, sont de puissance variable mais n'excèdent pas quelques centimètres.

L'étude micrographique des bancs calcaires permet de les définir de la façon suivante :

- calcaires finement bioclastiques, grumeleux, avec plages de recristallisation du ciment de calcite.

Il a été trouvé :

- des débris de Vertébrés (probablement des dents de Poissons),
- de nombreux spicules,
- des Radiolaires.

Dans la partie médiane :

des calcaires à cassure beige-clair, en bancs de taille variable (50 cm à 1 m), à joints onduleux, avec de petites intercalations marneuses (un à quelques centimètres).

Il s'agit encore de calcaires bioclastiques à grain fin.

Dans la partie supérieure :

une dizaine de mètres de calcaires jaunes à passées lie-de-vin, argilo-sableux, à intercalations marneuses. Nous avons pu remarquer des pistes d'Annelides à la surface des joints.

Micrographiquement nous pouvons les définir comme :

- calcaires bioclastiques à grain fin, finement et légèrement gréseux, ils contiennent :

- des spicules de Spongiaires,
- des débris d'Echinodermes,
- de très rares petits Foraminifères benthiques (*Dorothia* sp. et autres *Verneuilinidae*).

Conclusion

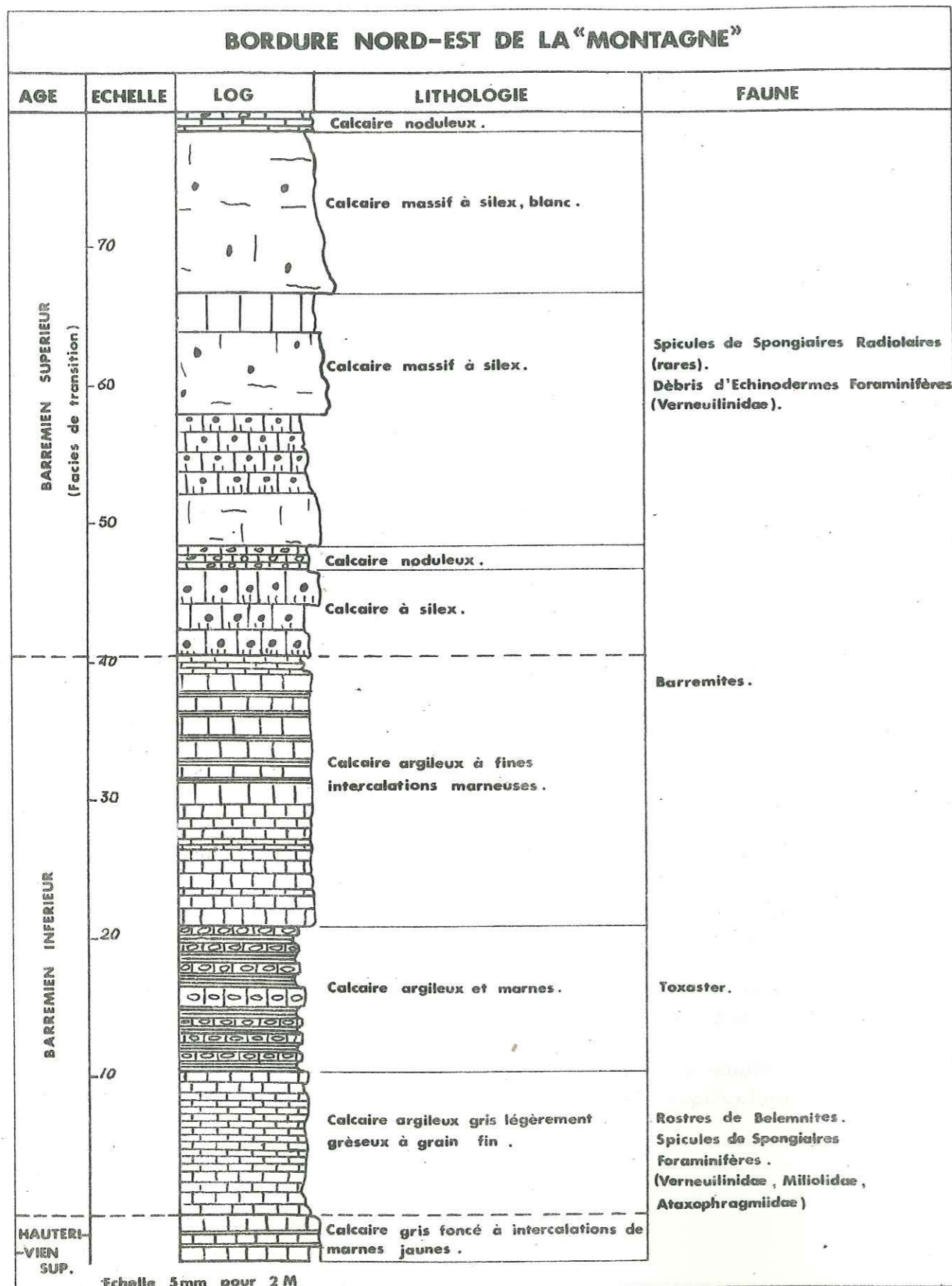
Les critères distinctifs de l'Hauterivien sont surtout d'ordre pétrographique.

Signalons cependant que plus à l'Ouest, et dans le massif de la Montagnette au Sud, les mêmes niveaux ont livré :

- des Echinodermes (g. *Toxaster*),
- des Annelides.

L'étude micrographique permet de définir ces niveaux comme des calcaires bioclastiques contenant des Foraminifères benthiques (*Verneuilinidae*).

Fig.4



I - 3 - LE BARREMIEN (n4)

Les études antérieures (1963-1964), effectuées par la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine (D. FAURE, Y. CONQUY) permettent de distinguer, à partir du Barrémien, deux zones paléogéographiques distinctes, qui correspondent chacune à un massif différent.

Ainsi nous noterons :

- à l'Ouest, un massif dont nous n'avons que l'aboutissement à Roquemaure. Ce massif s'étend, selon une direction sud ouest à nord est depuis Nîmes jusqu'à cette localité.

- A l'Est, une "zone centrale" qui correspond au massif de Villeneuve-les-Avignon et qui représente la quasi totalité des affleurements barrémiens de notre carte. Il s'étend d'Aramon au Sud Ouest à Four au Nord Est, passant par Les Angles et Villeneuve.

Nous resterons en accord avec ces divisions paléogéographiques et les étudierons dans les deux massifs précités.

I - 3 - 1 - Le massif de Villeneuve-les-Avignon

Barrémien inférieur (n4a)

La limite Hauterivien-Barrémien communément admise est représentée par un niveau de "grès" glauconieux, niveau que nous avons retrouvé dans les structures anticlinales du Sud Ouest des Angles.

L'étude micrographique de ce niveau nous a permis de conclure à un grès dolomitique et glauconieux, correspondant à la dolomitisation d'un calcaire gréseux.

Au-dessus se développe la série barrémienne, série dont nous avons relevé une coupe type sur la bordure nord est de la Montagne (cf. fig. 4).

Nous trouvons successivement, de bas en haut :

à la base, sur une quinzaine de mètres, un ensemble de bancs calcaires, relativement peu épais (un à deux décimètres), régulièrement disposés, avec des joints marneux très réduits.

La surface des interbanco présente de nombreux rostrés de Belemnites.

L'étude micrographique de ce niveau a fourni les renseignements suivants :

- calcaire bioclastique à grain fin, finement et faiblement gréseux.

Il contient :

- des spicules de Spongiaires abondants
- des Radiolaires
- de rares petits Foraminifères benthiques, qui sont des Verneulinidae pour la plupart, avec Dorothia sp., ex. gr. hauteriviana Moullade.

En plus notons la présence de très rares Miliolidae et d'Ataxophragmiidae.

D. FAURE signale dans ce niveau :

- Lenticulina sigali, Bart, Bett et Bolli
- Gavellinella barremiana, Bett
- Tritaxia cf. plummaere, Cushman
- Globorotalites bartensteini bartensteini, Bett

- dans la partie supérieure un ensemble de calcaires gris ou jaunâtre argileux, grumeleux, en alternance avec des bancs de marnes.

En lame mince nous avons pu déterminer un calcaire argileux microcristallin, à petits éléments arrondis, traces ferrugineuses et éléments détritiques.

Signalons que les niveaux correspondants du massif de la Montagnette nous ont livré :

- d'abondants débris d'Echinodermes
- de petits Foraminifères avec :
- Verneulinidae
- Ataxophragmiidae
- Miliolidae
- Nodosariidae (Nodosaria, Dentalina, Lenticulina)

Les deux niveaux précédemment décrits correspondent aux calcaires marneux à Spatangues, alternant avec des marnes calcaires à Toxaster.

C'est l'ancien Hauterivien supérieur signalé sur la carte à 1/80 000, 2e édition, 1928, et remplacé par le Barrémien inférieur sur la carte 1/50 000, 1965.

Cette différence est expliquée par D. FAURE, qui constate la présence de cet ensemble marno-calcaire directement sous les faciès du Barrémien supérieur typique et parfaitement définis paléontologiquement.

D'une manière générale la macrofaune est excessivement pauvre. On signale sur la nouvelle édition de la carte géologique :

- Crioceras cf. emeric
- Cymaroceras neocomiensis
- Toxaster
- Nemausina neocomiensis
- Ammonites fallax.

Pour notre part nous n'avons trouvé que des Toxaster et quelques rares débris d'Ammonites, les uns et les autres malheureusement indéterminables.

Barrémien supérieur (n4b)

En continuité avec les ensembles précédemment définis, nous prendrons la même coupe de la bordure nord est de la Montagne.

On remarque la puissance des bancs calcaires augmenter considérablement, et la couleur de grise devenir plus claire. Des silex nombreux et disséminés dans la masse permettent, en cet endroit, de le différencier nettement des niveaux inférieurs.

Il s'agit d'un calcaire cristallin compact, en gros bancs de 5 à 6 m, à puissante patine grise, à pâte fine, à cassure conchoïdale.

L'étude en lame mince nous permet de le définir comme un calcaire bioclastique à grain fin.

Il a été trouvé :

- des spicules de Spongiaires
- de rares Radiolaires
- d'abondants débris d'Echinodermes
- des Verneulinidae, dont Dorothia praeoxycona Moullade.

Il s'agit ici, comme nous l'avons noté plus haut, du Barrémien supérieur, faciès de transition (SAYN et ROMAN) et dont on a observé le passage latéral au faciès urgonien (D. FAURE).

Il est limité au seul massif de Villeneuve-les-Avignon.

I - 3 - 2 - Le massif Sauveterre-Roquemaure

Barrémien inférieur (n4a)

Le Barrémien inférieur se retrouve sur la bordure nord du massif de Sauveterre et sur la bordure sud de la "barre" de Roquemaure.

Il comprend une série marno-calcaire, divisée en deux parties :

- a) les marno-calcaires inférieurs, formés de marnes et de calcaires marneux, grumeleux.

L'étude micrographique effectuée par la S. N. P. A. fait mention de :

- spicules de Spongiaires
- Radiolaires
- Lagenidae
- Lituolidae
- Tritaxia

L'association caractéristique de ce niveau est la suivante :

- Lenticulina jonesi, Reuss
- " guttata guttata Ten Dam
- " " striata Bart et Brand
- " sigali Bart, Bett et Bolli
- " ouarchensis multicella Bett
- Planularia tricarinella (ROEMER).

b) Les marno-calcaires supérieurs, grumeleux, détritiques. Nous définirons le calcaire, comme un calcaire bioclastique à grain fin, avec des débris beaucoup plus grossiers, non élaborés.

Une lame mince effectuée dans ce niveau nous a permis de distinguer :

- des spicules de Spongiaires
- de petits Foraminifères benthiques (Verneuulinidae, Miliolidae, Ataxophragmiidae).

D. FAURE fait mention de la même microfaune que la précédente à laquelle s'associent les formes suivantes :

- Triplasia emslandensis emslandensis Bart et Brand
- Lenticulina calliopsis (TAPPAN)
- Nodosaria obscura Reuss
- Saracenaria cf. forticostata Bett

- Globorotalites bartensteini bartensteini Bett
- Tritaxia plummaere Cushman
- Spiroplectamina sp.

Barrémien supérieur - Aptien inférieur (n4bU)

Alors que le Barrémien inférieur du massif Sauveterre - Roquemaure est représenté par une série marno-calcaire, comme dans le massif de Ville-neuve, le Barrémien supérieur fait place à un faciès complètement différent. En effet nous assistons à l'installation du faciès urgonien typique, nettement individualisé à Roquemaure, Sauveterre (rive droite du Rhône), l'Hers, Châteauneuf-du-Pape (rive gauche).

Dans le massif de Roquemaure deux termes peuvent être distingués :
- à la base, des calcaires graveleux, ou oolithiques, détritiques organogènes.

La faune, riche, comprend :

- Echinodermes et Lamellibranches
- Annélides
- Bryozoaires
- Gastéropodes.

La micrographie définit la roche comme un calcaire bioclastique à grain normal (éléments voisins ou un peu inférieurs au millimètre), à éléments roulés, avec ciment calcitique de recristallisation.

On peut y remarquer :

- de nombreux débris d'Echinodermes, de Bryozoaires, d'Algues (Dasycladacées)
- Miliolidae assez abondants
- Ataxophragmiidae (dont Arenobulimina)
- Orbitolinidae, parmi lesquels :
 - Orbitolinopsis cuvillieri Moullade
 - " kiliani Prever in SILVESTRI
 - Paracoskinolina elongatissima Moullade
 - Orbitolinopsis sp. aff. cuvillieri Moullade
 - Trocholina sp. aff. friburgensis Guillaume et Reichel
 - Nozzazzata sp.

Ce niveau constitue le Barrémien supérieur proprement dit ;

- un niveau supérieur, séparé du précédent par une zone à cherts, est constitué par un calcaire rosé, micrograveleux, pétri d'Orbitolines (*Orbitolina conoidea* - *discoidea* - Gras).

D. FAURE y signale en outre *Cuneolina hensoni* Dalbiez. Les silex y sont nombreux et peuvent donner des bancs entiers.

I - 4 - CENOMANIEN (C4)

Les seuls affleurements de cet étage relevés dans le secteur étudié se situent à l'Ouest de Châteauneuf-du-Pape, dans l'effondrement délimité au Sud par la faille de Roquemaure et au Nord par la faille qui limite le massif du Lampourdier.

Ces affleurements sont partiellement masqués et recouverts par les alluvions de la terrasse Fy.

Nous n'avons relevé qu'un ensemble de grès calcaires. L'étude micrographique de ce grès permet de le définir de la façon suivante :

- grès calcaire, glauconieux, à grain fin de quartz anguleux, avec quelques rares éléments roulés. Le calcaire, argileux, semble faire partie du ciment.

On peut considérer ce niveau comme étant une arénite ayant 25 à 30 % de silice.

Nous y avons distingué : des débris d'Echinodermes, des Bryozoaires (*Cyclostomata*).

Cet épisode gréseux ne représente qu'une fraction de l'étage dont la coupe complète peut être relevée plus au Nord (Montfaucon).

I - 5 - CONCLUSIONS

L'étude de terrain du Crétacé inférieur est assez complexe et pose parfois de sérieux problèmes pour limiter avec précision les différents ensembles. En certain cas seule l'étude des structures nous a permis de trancher avec certitude.

Lors de notre passage la dernière édition de la carte géologique n'était pas encore parue. Les seuls documents de base dont nous disposions étant :

- la deuxième édition de la carte géologique 1/80 000 Avignon
- le mémoire de D. FAURE : "le Barrémien du Sud du couloir rhodanien".

Sur le terrain il se dégage cependant les critères distinctifs suivants :

- Hauterivien supérieur: calcaire marneux, à patine foncée, à joints onduleux (la seule série qui présente ce caractère). Epaisseur des bancs atteignant au maximum 40 cm.

Nombreuses intercalations marneuses. Nombreuses passées de calcaire "en miches".

Quelques pistes d'Annélides.

La limite supérieure de l'étage est représentée par un niveau de grès glauconieux très constant.

- Barrémien inférieur (massif de Villeneuve-les-Avignon) : calcaires marneux à "Spatangues".

La falaise de St-Bruno (bordure occidentale de "La Montagne") permet de remarquer :

- à la base (10 m), des calcaires à patine grisâtre, à cassure beige jaunâtre, avec intercalations de marnes jaunes. Les bancs ont une fissuration caractéristique "en miches".

- en position médiane (10 m), des bancs calcaires, régulièrement rangés, à patine gris-foncé à cassure esquilleuse, à débit parallépipède régulier.

- en sommet (50 m), une série de bancs calcaires de 40 à 50 cm à patine grise, formant falaise. Nous y avons trouvé quelques rostrés de Bélemnites.

L'ensemble de la série renferme des Echinodermes ("Spatangues") tant sur la bordure de la Montagne que dans les autres affleurements.

Il s'agit du genre *Toxaster*. Malgré la mauvaise conservation des fossiles, il semblerait que l'on puisse les identifier comme *Toxaster amplus*.

- Barrémien supérieur (massif de Villeneuve-les-Avignon).

Calcaire massif, blanc, très caractéristique, avec de nombreux silex sous forme de cherts disséminés dans la masse. La puissance de bancs peut atteindre une dizaine de mètres (Sud de Four).

- Barrémien supérieur - Aptien (Roquemaure)

Calcaire massif, gris à blanc, en bancs moins épais (un à quelques mètres). Présence d'*Orbitolina conoidea discoidea*. Très nombreux silex.

En ce qui concerne les silex, bien que leur présence ne soit pas un caractère spécifique d'un ensemble, elle constitue cependant un repère commode. Dans le secteur prospecté, tout le Barrémien supérieur renferme ces accidents siliceux.

II - EOCENE - OLIGOCENE

II - 1 - LUTETIEN (C5)

Nous signalerons deux affleurements, d'extension relativement réduite, situés au Nord d'Aramon :

- Dève
- Mas de Queiraud

Le Lutétien est représenté par un calcaire blanc, crayeux, plus ou moins bréchique, surmontant des marnes rouges non fossilifères (Dève), et reposant en discordance sur le substratum crétacé.

Il s'agit d'un calcaire lacustre blanc à Planorbis pseudoammonius, Strophostoma lapicida. L'étude micrographique permet de le définir comme un calcaire bioclastique à éléments relativement grossiers (0,5 à 2 mm).

La carte 1/50 000 Avignon, signale en outre : Bulimus hopei, Ryllia matheroni.

Les marnes rouges inférieures, non fossilifères, peuvent représenter, soit le Lutétien inférieur, soit le Rognacien supérieur. Elles signalent de toute façon l'installation du régime lacustre et continental se prolongeant avec le dépôt du calcaire blanc.

II - 2 - AQUITANIEN (g3)

L'Oligocène est représenté par des ensembles de brèches résiduelles affleurantes sur les bordures de massifs crétacés.

Aux environs de St-Pierre-du-Terme, la brèche est formée de gros éléments calcaires (400 mm et plus) emballés dans une argile rougeâtre. L'épaisseur de la formation est de quelques dizaines de mètres en cet endroit.

Ailleurs, des amas bréchoïdes qui bordent les falaises peuvent être rattachés à ce niveau.

Cette brèche provient de l'éboulement sur place de reliefs préexistants.

III - MIOCENE

Deux termes de ce système sont représentés dans le secteur étudié :

- Burdigalien
- Helvétien.

Le miocène est venu s'insinuer entre les reliefs crétacés, et les recouvrir en certains points.

Il affleure de part et d'autre de la vallée du Rhône.

A l'Ouest, il est adossé au massif de Villeneuve, tandis qu'à l'Est il détermine les collines qui s'étendent de Châteauneuf à Caumont.

III - 1 - BURDIGALIEN (ml)

Deux faciès différents de cet étage sont la conséquence de la paléogéographie locale au début de la transgression miocène.

On peut ainsi distinguer :

- un faciès de fond, correspondant à une sédimentation marneuse ou marno-sableuse ;
- un faciès de plateforme, sur les massifs néocomiens, formant de s hauts fonds. La sédimentation y étant alors molassique.

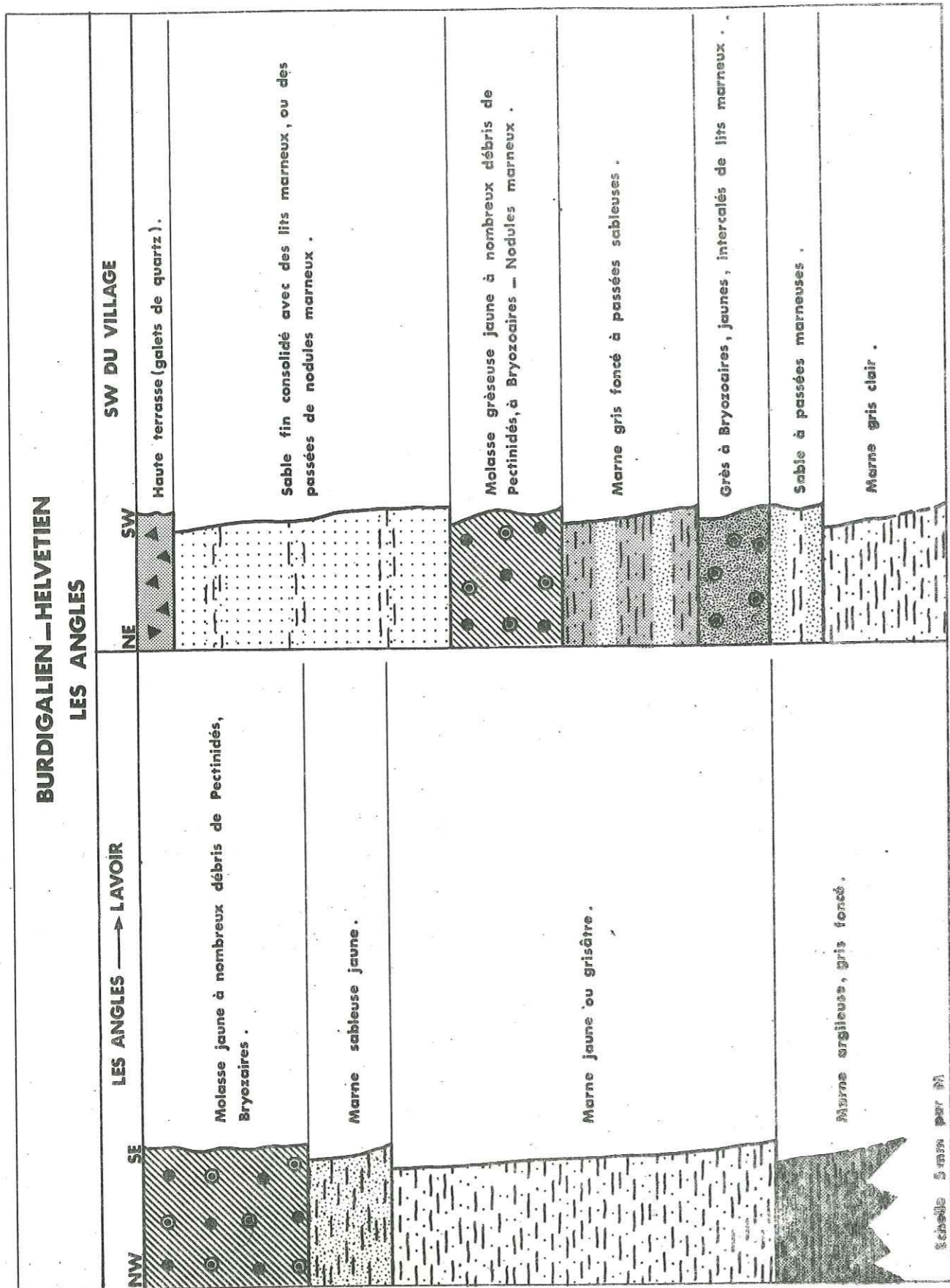
III - 1 - 1 - Faciès de plateforme

- Zone littorale : au contact même des bordures, le Burdigalien transgressif débute par un conglomérat molassique à galets et blocs verdis.

Ce conglomérat est formé principalement de gros rognons de silex et de fragments arrondis de calcaire néocomien, en galets de 30 à 40 cm, enrobés dans un liant molassique.

G. DEMARCQ fait état d'une riche faune à caractère saxicole, citant les espèces suivantes :

- Aturia aturi
- Cypraea
- Erato loevis
- Triton affine
- Trochus
- Chlamys opercularia
- Lima squamosa
- Cardita michaudi
- Cidaris avenionensis
- Psammechinus monilis



Ce conglomérat est visible :
 - à St-Pierre- du-Terme et à Lavernède
 - au lieu-dit "Pierre Longue" (Nord Ouest de Villeneuve-les-Avignon)
 - sur la partie orientale du massif de Vedène.

Zones de "hauts-fonds"

Sur les paléoreliefs crétacés, le Burdigalien est représenté par une molasse calcaire grisâtre ou blanchâtre, très fossilifère, localement exploitée, entrecoupée de passées marno-calcaires et de niveaux de galets verdâtres de petites dimensions.

Cette molasse est très fossilifère. La carte à 1/50 000 signale en particulier :

- Chlamys praescabriuscula
- Pecten sub-holgeri
- " subbenedictus
- Echinolampas
- Clypeaster
- Lithothamniées
- Bryozoaires.

Le sommet, plus marneux aux carrières des Angles, était attribué autrefois (L. JOLEAUD) à l'Helvétien inférieur. La faune à caractère mixte (Helvétien-Burdigalien), avec Chlamys gentoni, ne permettrait pas de trancher si les caractères pétrographiques de cette "marne" n'étaient d'affinité burdigalienne.

Affleurement

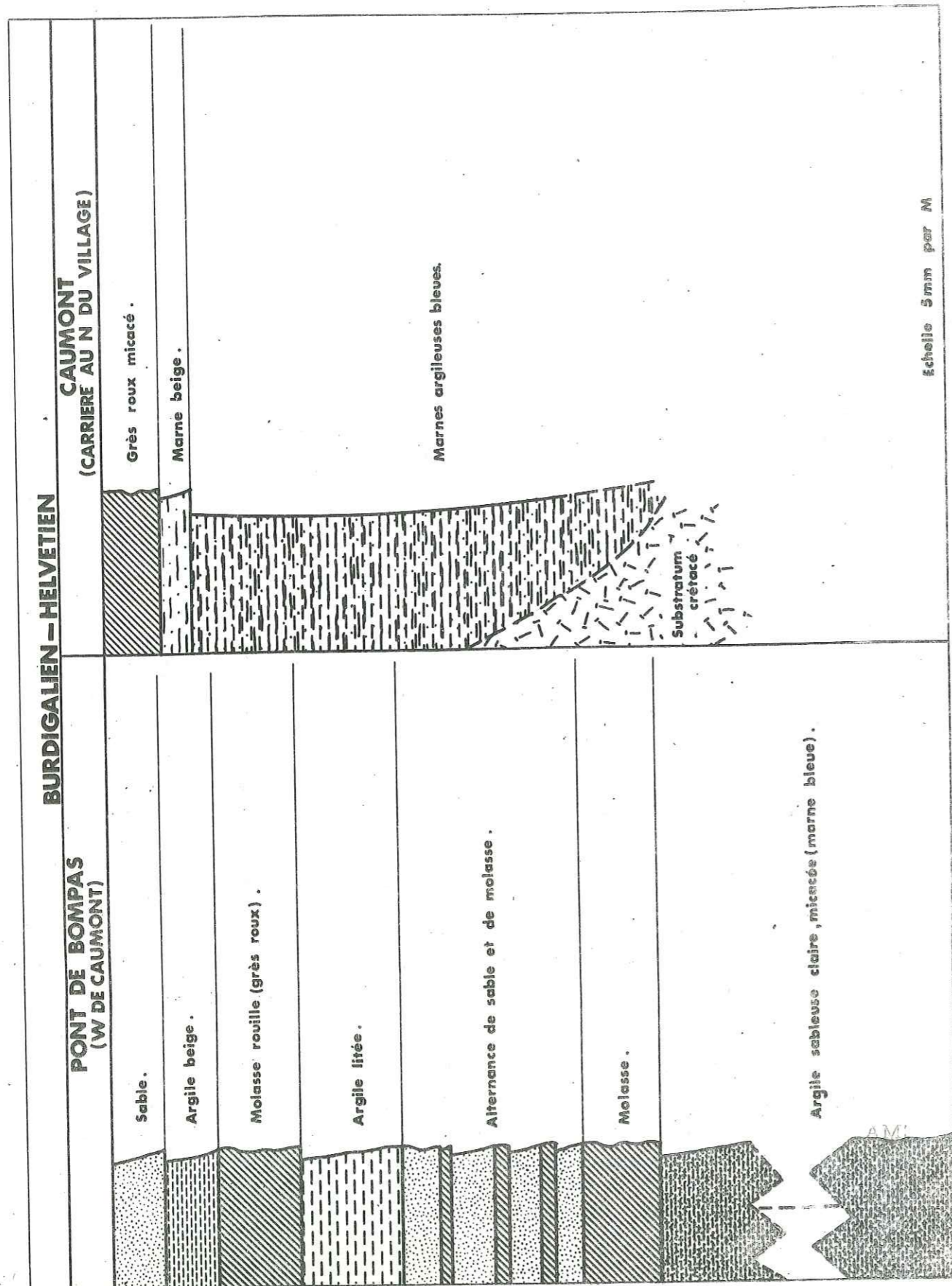
Les principaux affleurements sont situés sur le massif de Villeneuve :

- au Nord d'Aramon (St Pierre-du-Terme - Lavernède)
- au Nord Ouest des Angles (Les Carrières)
- au Nord de Villeneuve (Mas de Carles)

Sur le flanc occidental du massif de Vedène, où les travaux de terrassement de l'autoroute A 7 ont dégagé un gisement particulièrement intéressant.

III - 1 - 2 - Faciès de fond

Le faciès de "marnes bleues" a été particulièrement bien étudié par G. DEMARCQ sous le nom de marne bleue de Caumont, dans un affleurement caractéristique situé au contact du massif crétacé de Caumont.



Nous rappellerons ici que les marnes bleues reposent sur le substratum crétacé par l'intermédiaire d'un conglomérat à galets verdis marquant le début de la transgression miocène.

III - 1 - 3 - Marnes bleues de Caumont

Ce sont des marnes argileuses bleutées ou gris bleutées, peu ou pas stratifiées, plastiques, micacées, parfois légèrement sableuses.

Une analyse aux rayons X (cf. diagramme, fig. 7) effectuée au diffractomètre enregistreur, nous a permis de tirer les faits suivants :

- présence d'illite, de chlorite et de traces de montmorillonite. On observe en effet sur le diagramme un pic assez large entre 14 Å et 15 Å. Un traitement au glycérol de la poudre et un nouveau diagramme, montre que ce pic se dédouble en un pic à 14 Å et un pic à 17,7 Å, ce dernier caractérisant sans ambiguïté la montmorillonite.

- Présence de quartz et de calcite en quantité abondante.
- Présence d'un peu de dolomie

En conclusion, l'échantillon de marnes bleues est une marne légèrement dolomitique et comprenant du quartz détritique. Les minéraux argileux sont l'illite et la chlorite, avec des traces de montmorillonite.

Un deuxième échantillon de ce niveau, provenant du gisement situé au Sud Ouest des Angles (chemin du Lavoir) nous a permis de distinguer (cf. fig. 8) :

- illite et chlorite
- quartz et calcite très abondants
- dolomie très abondante
- quelques traces d'éléments feldspathiques

soit une marne dolomitique, comprenant une phase détritique.

Macrofaune

Le gisement situé au Nord Ouest de St-Saturnin-les-Avignon a livré (G. DEMARCQ) :

- Chlamys multistriata
- " cf. gentoni
- " angelonii
- Ostrea squarrosa
- Teredo - Scalaria - Cyrtoceras
- Coralium - radioles de Cidaris
- Bryozoaires
- dents de Lamnidés
- Charcharodon

- C = Calcite
- Cl = Chlorite
- D = Dolomie
- F = Feldspaths
- I = Illite
- M = Montmorillonite
- Q = Quartz

Marne bleue

Caumont

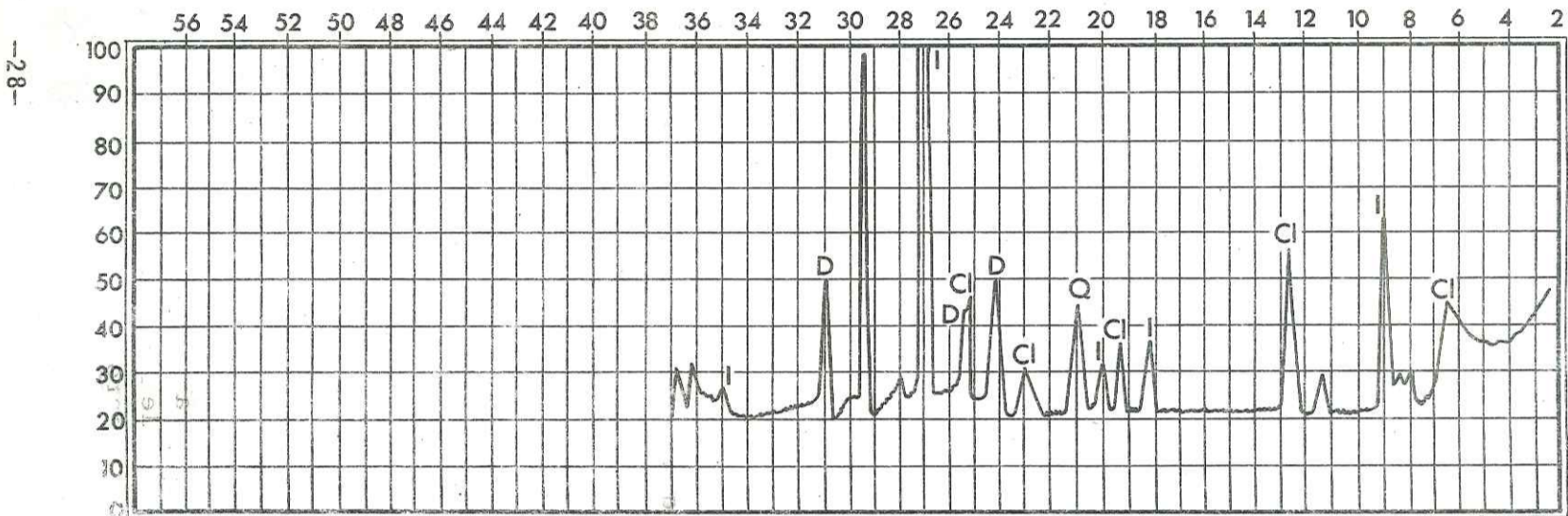


Fig. 7

- C = Calcite
- Cl = Chlorite
- D = Dolomie
- F = Feldspaths
- I = Illite
- M = Montmorillonite
- Q = Quartz

Marne bleue

Les Angles

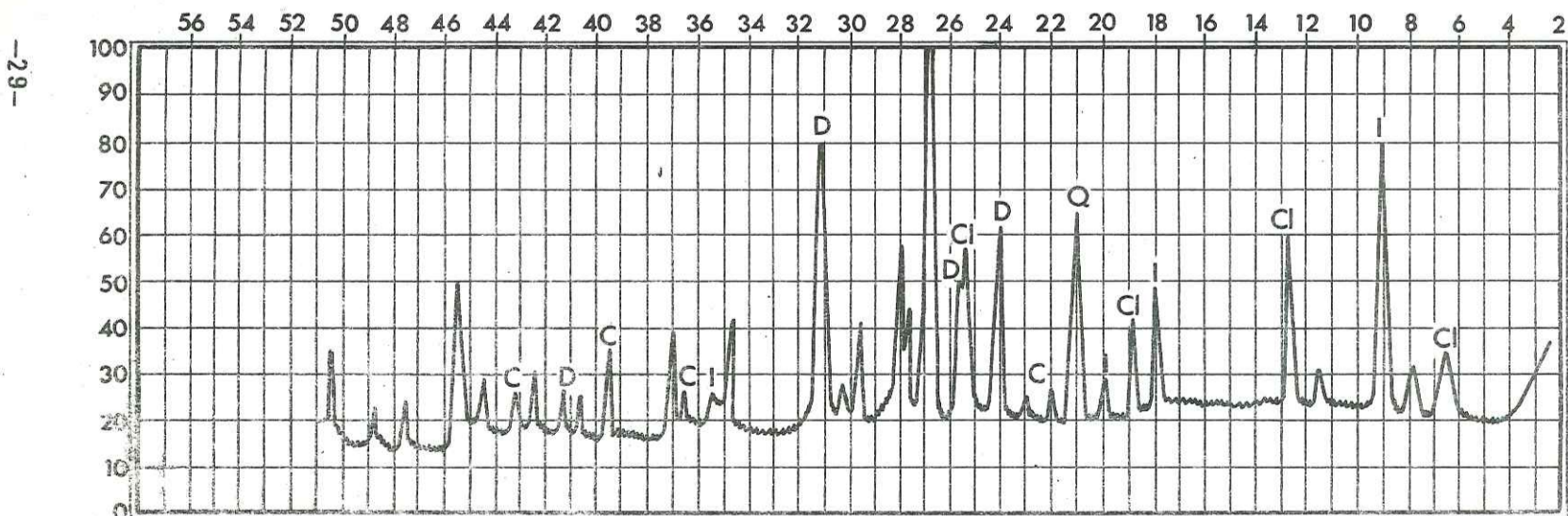


Fig. 8

Microfaune

Des lavages effectués sur cette marne, ont permis de différencier :

- Spiroplectamina sp.
- Lenticulina rotulata
- Siphonodosaria sp.
- Bulimina pupoides
- Plectofrondicularia
- Elphidium semistriatum
- Nonion boueanum
- Streblus beccarii
- Globigerina bulloides
- Globigerinoïdes triloba

Sur un échantillon provenant du lavoir des Angles :

- Streblus beccarii
- Caucasina sp.
- Nonion sp.

Si la microfaune du premier échantillon est incontestablement miocène, celle du second est trop rare et non caractéristique. Elle ne permet pas de préciser son âge.

Affleurements

- Caumont
- St-Saturnin - Vedène (des carrières exploitent le niveau des marnes bleues)
- les Angles
- Sauveterre

Remarques sur le faciès des marnes bleues

Antérieurement aux études actuelles, le faciès marneux de la région d'Avignon était considéré comme représentatif de l'Helvétien inférieur. Ainsi L. JOLEAUD le désignait sous le terme général de "schlier" de la plaine d'Avignon

Cependant, ce dernier auteur signalait déjà des équivalences selon le lieu de sédimentation.

Ainsi par divisions bathymétriques, l'Helvétien inférieur est représenté de la façon suivante :

	Zone bathyale	Zone néritique	Zone littorale
Helvétien inférieur	schlier de la plaine d'Avignon	sables grès à Bryozoaires sables	conglomérat
		sables marneux (St-Saturnin) argile bleue (Caumont) marnes à Hinnites (Les Angles)	
Burdigalien supérieur	?	calcaires et marnocalcaires à <u>Pecten praescabriusculus</u> (Les Angles)	

On voit donc que dans la zone bathyale aucun faciès n'est figuré.

G. DEMARCQ (1962), en tenant compte des conditions paléostratigraphiques locales, fait des marnes bleues un faciès vaseux qui envahit toutes les parties basses du bassin dès le Burdigalien.

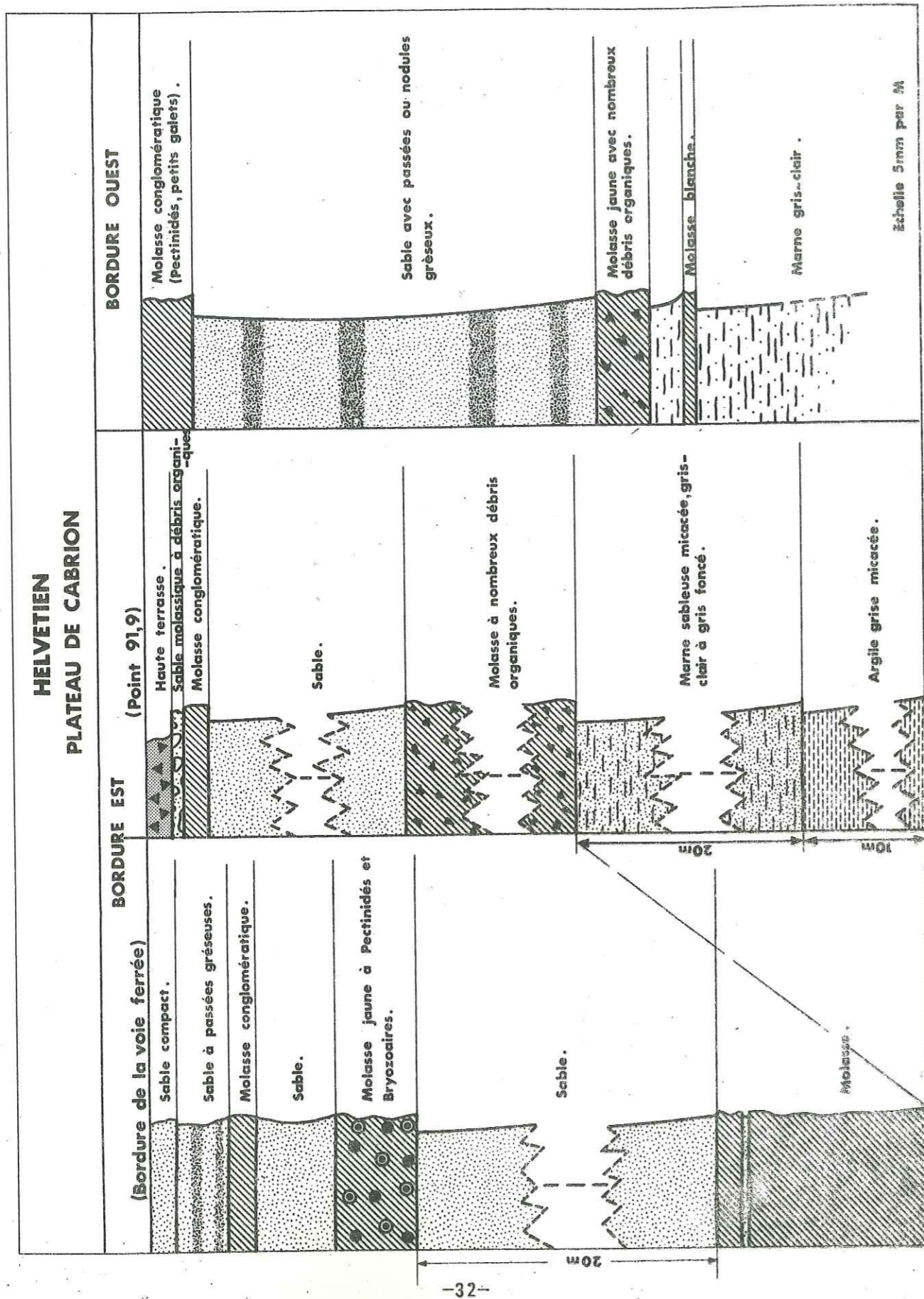
Nous considérerons, et ceci sera confirmé par les sondages, que la marne bleue appartient à la fois au Burdigalien et à la partie inférieure de l'Helvétien.

III - 2 - HELVETIEN (m2)

Les faciès marneux Burdigalien - Helvétien inférieur ont été traités au paragraphe précédent. Nous considérerons donc que la "marne bleue" de Caumont, dans sa partie supérieure doit être rattachée à l'Helvétien.

En position supérieure à ce faciès, ou parfois avec des variations latérales de faciès, viennent des sables jaunes, plus ou moins gréseux, qui seront considérés comme représentant la base de l'Helvétien.

La dernière édition de la carte géologique d'Avignon groupe sous le même terme (m2) tout l'ensemble des formations helvétiques rencontrées dans la région, avec des variations de faciès, soit sous forme de marnes bleues (m2 M) soit sous forme de grès molassiques du Comtat (m2G).



Il semble, d'après les coupes relevées (cf. fig. 9 et 10), que l'on puisse cependant faire état de deux niveaux stratigraphiquement différents, à savoir :

- à la base, au-dessus des marnes bleues, des ensembles sableux et gréseux, à intercalations marneuses et à passées molassiques. Ces ensembles auraient une puissance variable, d'une quarantaine à une vingtaine de mètres.

- au sommet, une molasse gréseuse, rouille ou brun rouille, sur une épaisseur atteignant une dizaine de mètres au maximum. Ce terme, très constant, se retrouverait de part et d'autre de la vallée du Rhône.

Nous rejoindrions alors, de cette manière, l'étude de L. JOLEAUD qui distinguait :

de haut en bas :

- 1) grès lumachelle (grès à Cardites)
- 2) sables et grès
- 3) grès à Bryozoaires
- 4) grès marneux et sable
- 5) schlier

faisant du terme 1 l'Helvétien supérieur et des termes 2 à 5 l'Helvétien inférieur.

D'ailleurs dans sa thèse, G. DEMARCO, englobe les niveaux 2 à 5 dans l'Helvétien inférieur, laissant les grès roux (grès Lumachelle) dans l'Helvétien moyen.

a) niveau inférieur

- argiles-sables marneux-sables

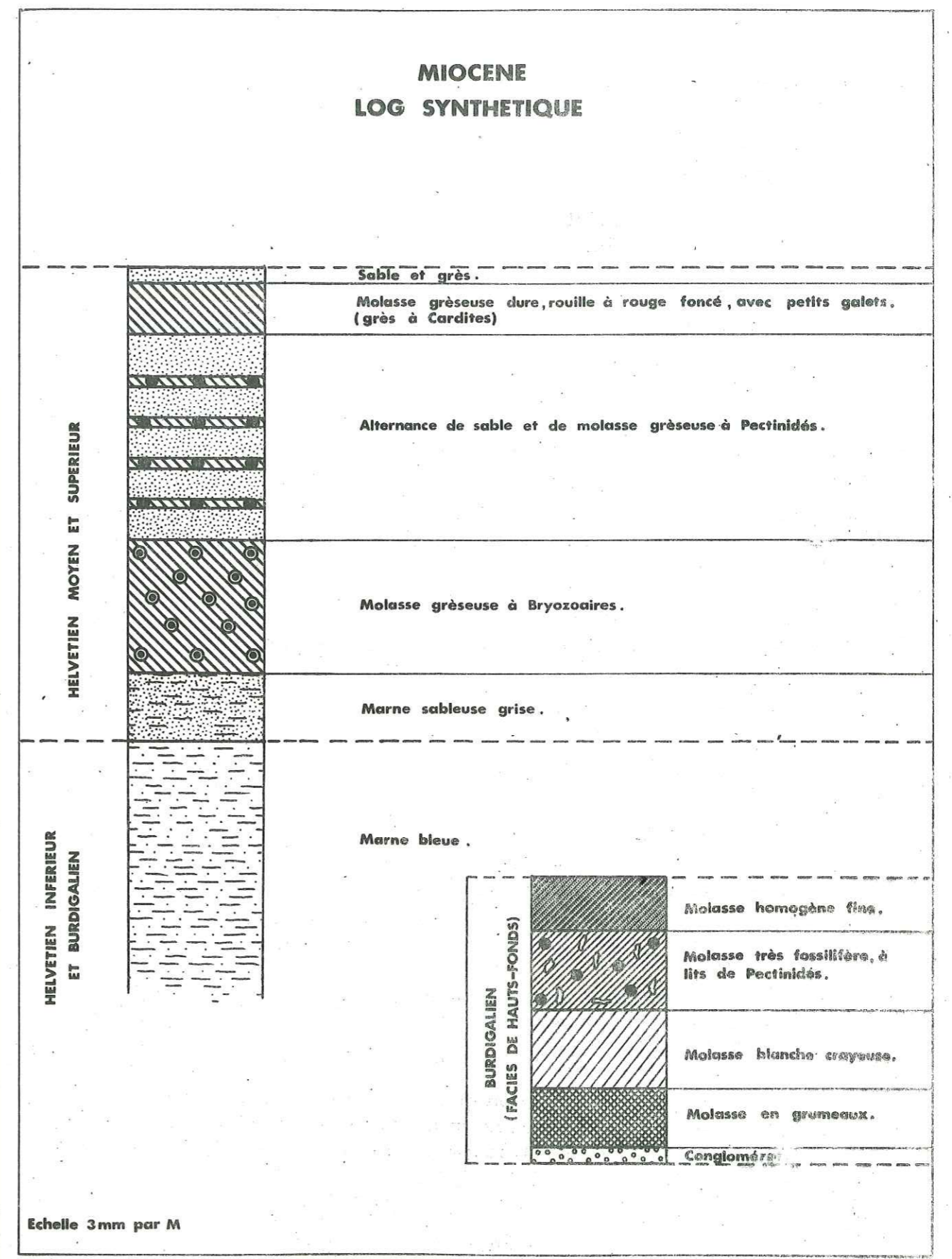
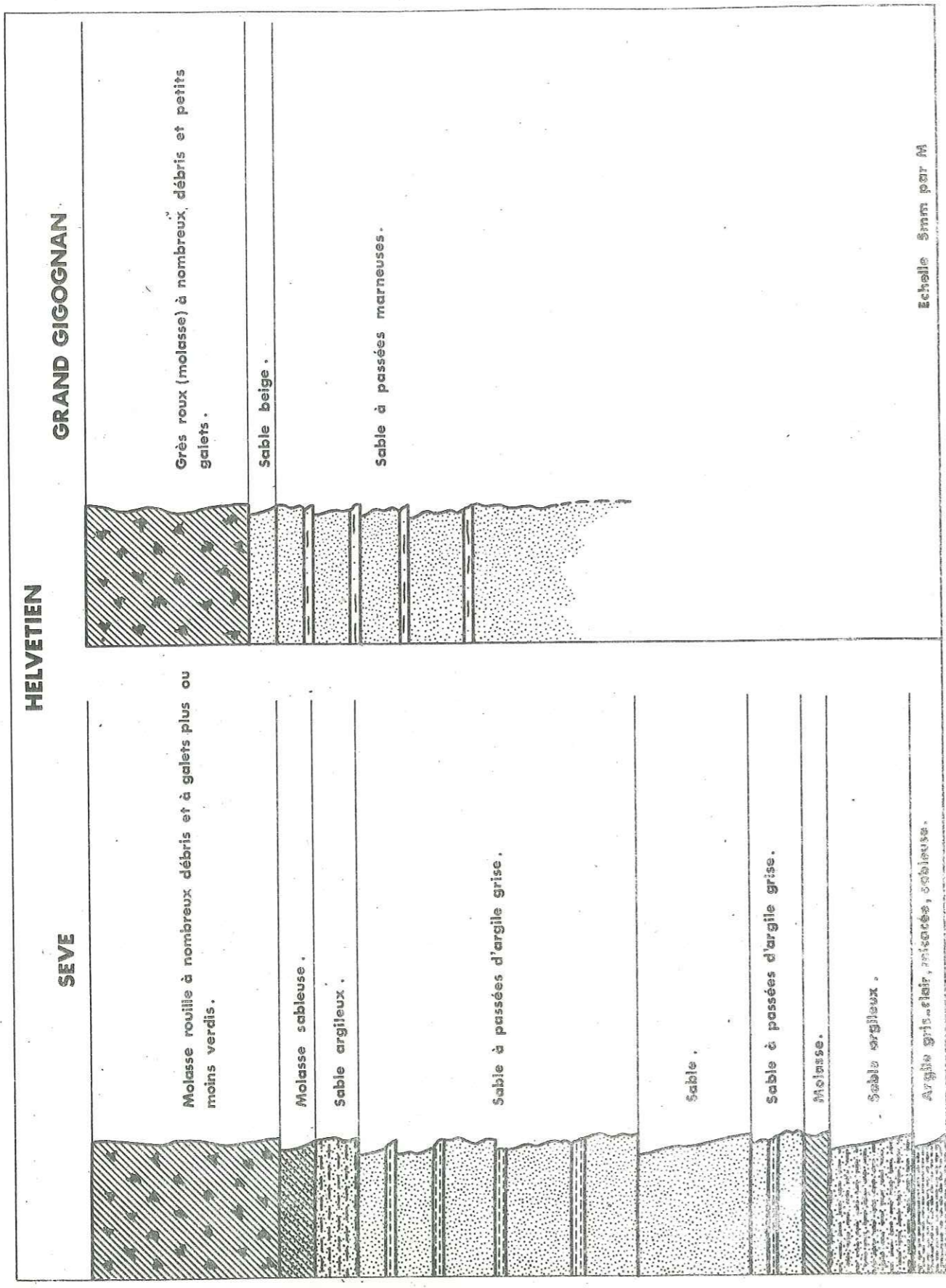
Ils semblent représenter la base de cet étage, ce qui est particulièrement net en bordure du Plateau de Cabrion (cf. fig. 9). A partir du bord de la plaine alluviale on remarque :

- une argile grise, micacée, correspondant vraisemblablement à la marne bleue de Caumont.

Sa puissance, visible, est de l'ordre de 10 m.

- une marne sableuse, gris clair, micacée, compacte, sur une vingtaine de mètres.

- une molasse claire, jaune, à débris de Bryozoaires et de Pectinidés. Son épaisseur varie de 5 à 10 m.



- un sable, moyen sur une vingtaine de mètres d'épaisseur.

Faune

Elle est représentée par :

- Chlamys gr. scabrella
- " gentoni
- Ostrea
- Anomia
- Hinnites

b) niveau supérieur

Il s'agit, en continuité sur les ensembles précédents, des grès molassiques du Comtat, ou grès à Cardites.

Ce sont des grès durs, avec de nombreux organismes, et de petits galets, souvent vacuolaires. Les coquilles sont très brisées et quand elles ont disparu laissent un vide caractéristique. Les galets, verdis, sont de l'ordre du centimètre.

Ils représentent une sorte de "grès lumachelle" par distinction avec les "grès sableux" rencontrés dans les niveaux plus inférieurs.

Faune

- Bryozoaires
- Chlamys sp.
- Ostrea

III - 3 - CONCLUSIONS

Compte tenu des affleurements et en accord avec les sondages effectués dans le substratum miocène, nous adopterons la succession lithologique qui nous semble la plus marquante, soit de haut en bas : (cf. fig. 11)

- 1 - les ensembles grés-molassiques supérieurs
- 2 - les sables, sables argileux, avec quelques passées gréseuses
- 3 - les marnes bleues

Cette coupe représente en quelque sorte les grandes lignes de la sédimentation dans les zones situées en dehors des hauts-fonds crétacés.

Ces faciès seront à rattacher à l'Helvétien (1 et 2) et à la fois au Burdigalien - Helvétien (1)

IV - PLIOCENE

IV - 1 - PLAISANCIEN (p)

La base du Pliocène correspond à la dernière transgression marine qui intéressera la basse vallée du Rhône.

Dans le secteur étudié il n'existe que très peu, d'affleurements du Plaisancien marin. Nous citerons :

- l'extrémité nord est de l'étang de Pujaut
- à St-Genies-du-Comolas (NW de Roquemaure)

Le Plaisancien existe dans la région de Thézier-Fournès où il affleure sur de vastes étendues. Nous y avons échantillonné, bien que cette région se trouve en dehors de notre carte, mais pour la raison qu'il s'agissait là du Plaisancien typique.

A Fournès (au lieu-dit "les fosses de Fournès") nous avons pu remarquer la succession suivante :

- la partie inférieure, représentée par des marnes grises dans l'ensemble, litées, avec des alternances de marnes grises et de marnes jaunes ;
- la partie supérieure, représentée par des marnes jaunes à beiges. Ces deux niveaux ont au moins une cinquantaine de mètres de puissance.

Une analyse aux rayons X des marnes plaisanciennes nous a donné les résultats suivants (cf. fig. 12) :

- présence d'illite, caractérisée par ses raies principales (9,9 - 4,45 - 2,56 A) ;
- présence de chlorite, caractérisée par des raies (14 - 7 - 4,68 - 3,53 A) ;
- présence de quartz en quantité relativement abondante ;
- présence de calcite, en quantité abondante (forte raie à 3,03 A, et doublet 1,920 et 1,870) ;
- présence de dolomie en faible quantité.

L'échantillon analysé est une marne très légèrement dolomitique et comprenant du quartz détritique. Les minéraux argileux sont l'illite et la chlorite.

Plaisancien

Fourrés

C = Calcite
 Cl = Chlorite
 D = Dolomie
 F = Feldspaths
 I = Illite
 M = Montmorillonite
 Q = Quartz

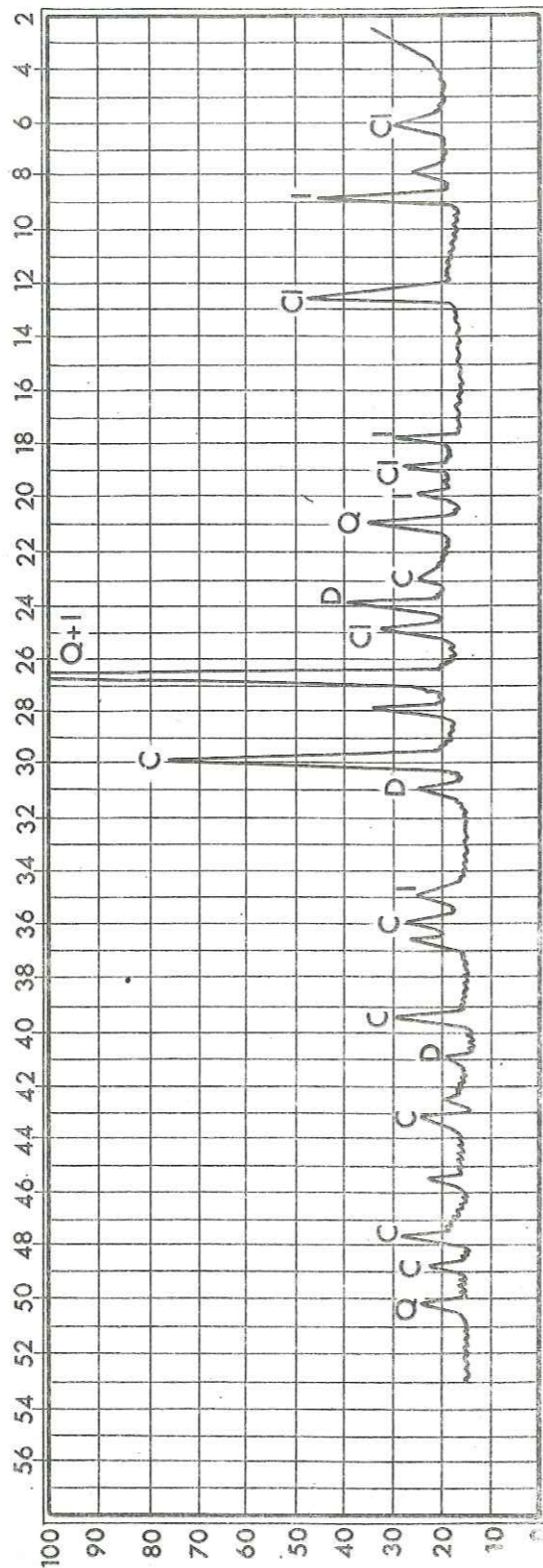


Fig.12

Macrofaune

On trouve généralement :

- Nassa semistriata
- Corbula gibba
- Turritella
- Amussium cristatum

Microfaune

Des lavages effectués sur les deux niveaux précédemment cités ont permis de distinguer les espèces suivantes :

- a) niveau supérieur (marnes beiges)
 - Bulimina ovata
 - " pyrula
 - " aculeata
 - Nonion boueanum Plaisancien
 - " sol
 - Streblus beccarii
 - Pseudoparella le calvezi
- b) niveau inférieur (marnes grises)
 - Bolivina spathylata Plaisancien
 - Pseudoparella le calvezi

St-Genies-de-Comolas

Nous avons pu y remarquer des ensembles marneux, situés à la base, semblables à ceux de Fourrés, avec cette différence qu'ils renferment de gros nodules pyriteux. La partie supérieure de la coupe est à rattacher à l'Astien.

REMARQUES

Les niveaux plaisanciens qui affleurent en dehors de périmètre cartographié, ont retenu notre attention afin que nous puissions, le cas échéant, les comparer avec les prélèvements issus de sondages.

En effet nous verrons plus loin que les marnes bleues de la base du Miocène sont très voisines de celles du Pliocène marin. Des critères distinctifs indéniables devaient pouvoir nous permettre de trancher avec certitude pour l'un ou pour l'autre étage.



IV - 2 - ASTIEN (Po)

Ce faciès continental est représenté, d'une part à St-Genis-de-Comolas (au Nord de la barre de Roquemaure), d'autre part sur le flanc occidental de la "Montagne", au Nord Est de Sorgues.

St-Genies-de-Comolas

L'étage débute par un microconglomérat, auquel fait suite un ensemble sableux ou gréseux. Nous avons observé des ripple marks sur les bancs gréseux supérieurs.

La partie sommitale est représentée ici par des sables graveleux, à galets de tailles diverses, à passées conglomératiques.

La carte géologique au 1/50 000 signale à St-Laurent-des-Arbres, la faune de Mammifères de Montpellier :

- Rhinoceros leptorhinus
- Mastodon arvernensis

V - PLIO-QUATERNAIRE

V - 1 - Alluvions anciennes

Ces alluvions sont essentiellement représentées par des épanchages de galets de quartzites d'origine alpine déposés sur l'ensemble de la région.

De ces dépôts il reste des terrasses reposant sur les hauteurs dominant la vallée du Rhône, et différenciées selon des critères altimétriques.

D'une manière générale, le corps même des terrasses anciennes (Fv, Fx, Fy) est représenté par des graves sableuses à argileuses, dont le squelette est presque uniquement constitué de quartzites, confirmant son origine alpine.

Selon les endroits, la grave crue constitue le sommet de la formation, ou bien elle est recouverte de quelques décimètres à un mètre de grave limoneuse que l'on peut considérer comme le sol d'altération.

On peut distinguer :

Fv - la terrasse de 100 m

C'est la terrasse villafranchienne. Elle détermine la surface du plateau Caumont - Châteauneuf-de-Gadagne - St-Saturnin-les-Avignon, et celui situé en contre-haut de Sauveterre.

Cette terrasse est constituée de quelques mètres de galets de quartzites roulés dont les plus gros atteignent 300 à 400 mm.

Fx - La terrasse de 60 - 80 m

On la rattache au Riss. Elle recouvre partiellement le Miocène à l'Ouest de Villeneuve-les-Avignon, formant un replat bien net dans la topographie au contact du substratum crétacé.

Cette terrasse existe également entre Châteauneuf-du-Pape et Bedarrides.

Elle est formée des mêmes éléments que la précédente. Au "Coteau St-Jean" les galets de quartzites sont englobés dans une matrice sablo-argileuse.

Sur le plateau de Carnas des passées consolidées en poudingue y sont fréquentes.

Fy - La terrasse de 30 - 35 m

Un lambeau de cette formation, accolé au flanc occidental de la colline située entre Sorgues et Bedarrides doit être rattaché à un ancien cours de l'Ouvèze.

La fraction sableuse, ou sablo-limoneuse semble plus importante que dans les terrasses précédentes.

V - 2 - La basse terrasse (Fyz)

Elle est particulièrement bien développée sur la rive gauche du Rhône. Elle correspond au cours le plus oriental du fleuve.

Nous la trouvons :

- au Sud Est de Châteauneuf-du-Pape
- à l'Est de Morières-les-Avignon, se poursuivant jusqu'en bordure de la Durance.

Cette terrasse à tendance gravelo-sableuse avec un recouvrement plus limoneux excédant rarement 1 m de puissance, est partiellement exploitée aux environs de Sorgues.

V - 3 - Les alluvions récentes (Fz)

Elles occupent la majeure partie de la plaine du Rhône, ayant leur maximum d'extension approximativement à la latitude d'Avignon (4 km).

Ces alluvions sont constituées :

- en surface, sur une épaisseur variable, de sols limoneux, correspondant aux limons de débordement. Leur épaisseur peut atteindre 7 m dans l'île de la Barthelasse, avec une valeur moyenne de l'ordre de 4 m, ceci donc au centre du bassin.

- en profondeur, de niveaux graveleux et sableux.

Le mode de prélèvement des sondages ne nous a pas permis d'effectuer d'analyses granulométriques de ces ensembles.

Notons cependant, que tous les intermédiaires entre le sable grossier et le sable fin ont été rencontrés. Les galets ont des tailles maximales de 120 à 150 mm. Ils sont de nature variée (calcaire, quartzites, roches éruptives et métamorphiques).

V - 4 - Eboulis et sols résiduels (Er)

Sous cette même dénomination nous avons groupé les résidus d'altération des massifs calcaires, concentrés dans leurs parties basses formant cuvette. Nous trouvons là, de petits fragments calcaires associés à une argile résiduelle, qui constituent les sols arables.

Ils sont localisés à la surface du massif de Villeneuve et atteignent là une importance relativement grande (Les Issarts, Les Angles, Mas de Carles).

Nous avons rattaché à cet ensemble, une accumulation de gravier sableux (J) constitué d'éléments roulés de petites dimensions (20 à 50 mm), localement exploités au Sud de "la Fontaine du Buis". Sans doute s'agit-il là d'un remplissage d'origine alluviale à caractère torrentiel.

V - 5 - Eboulis (E)

Ils sont le résultat de la dégradation des massifs calcaires et se retrouvent à leur bordure. Leur accumulation, aplanie postérieurement, peut donner lieu à de fausses terrasses, constituées d'éléments anguleux enrobés dans une gangue à tendance sablo-argileuse.

ETAGE	LITHOLOGIE	FAUNE	MICROFAUNE
Hauterivien Supérieur (n3)	- Calcaire grumeleux gris à joints onduleux, à fines intercalations marneuses (calcaire bioclastique à grain fin, finement et légèrement gréseux). - Marnes jaunes - Calcaire argileux gris foncé devenant plus clair (beige clair). Quelques bancs à joints onduleux. Passées de marnes. - Marnes - Calcaire argilo-sableux jaune, à passées de calcaire lie de vin. Intercalations marneuses.	Toxaster sp. Annelides Débris de vertébrés (dents de poissons) Spicules de Radiolaires. Débris d'Echinodermes. Spicules de spongiaires.	Foraminifères Benthiques Verneuilinidae (Dorothia sp.) Bryozoaires
Barrémien Inférieur (n 4 a) Massif de Villeneuve	- Calcaire argileux beige jaunâtre à intercalations de marnes, la séquence calcaire augmentant dans la partie supérieure. (calcaire bioclastique à grain fin, finement et faiblement gréseux).	Barrémites Belemnites Toxaster (amplus)	Foraminifères benthiques : - Verneuilinidae (Dorothia sp. ex gr. Hauteriviana Moulade) - Radiolaires - Miliolidae
Barrémien Supérieur (n 4 b) Massif de Villeneuve	- Calcaire à silex, à pâte fine, à débit en prismes beige clair à gris très clair à intercalations de calcaire argilo-marneux. - Calcaire massif à silex, blanc (calcaire bioclastique à grain fin).	Spicules de spongiaires. Rares Radiolaires Débris d'Echinodermes recristallisés.	Dorothia praeoxycona Moulade.
Barrémien Supérieur (n 4 bU) Faciès Urgonien Massif de Roque maure	- Calcaire graveleux, jaune rosé - Calcaire micrograveleux (la partie supérieure correspond au Bédoulien)	Débris d'Echinodermes de Bryozoaires Algues	Orbitolinidae Milliolidae Ataxophragmiidae
Cénomaniens (c2)	Grès calcaire un peu glauconieux	Débris d'Echinodermes. Bryozoaires (Cyclostomata).	Orbitolines
Lutétien (e5)	Calcaire lacustre blanc	Planorbis-pseudo-ammonius	
Oligocène (g3)	Brèche rouge à éléments anguleux de calcaire crétacé.		
Burdigalien (m 1)	- Conglomérat verdi - Marnes calcaires - Molasse calcaire	Pecten Chlamys	
Burdigalien Helvétien (m2M)	- Marne bleue		Lagenidae Bulimidae Heterohelicidae Nonionidae Globigerinidae
Helvétien (m 2)	- Sables - grès molassiques - sables à passées argileuses	Himites sp. Chlamys	
Plaisancien (P)	- Marnes bleues et marnes beiges		Bulimidae Nonionidae
Astien (Po)	- Microconglomérat - Sables et grès	Vertébrés	

B - REMARQUES TECTONIQUES

I - GENERALITES

Depuis la fin du Jurassique jusqu'au Crétacé supérieur on assiste à l'émergence lente et continue de l'isthme durancien dont nous avons ici la partie la plus septentrionale.

Cette émergence serait à rattacher à une première phase pyrénéo-provençale en bordure de la mer alpine.

Au Lutétien les massifs calcaires sont en partie exondés, et déjà partiellement plissés, témoin la région de la Choisy où le Lutétien lacustre repose en discordance au fond d'une structure crétacée.

Si l'on tient compte de l'âge aquitain des éléments bréchoïdes rencontrés en certains points (St-Pierre-du-Terme par exemple) on datera les plissements paroxysmaux ante-oligocènes.

Ces plissements se traduisent par des structures grossièrement orientées Est-Ouest, en une succession de synclinaux et d'anticlinaux qui affectent les terrains de l'Hauterivien au Barrémien supérieur.

Signalons aussi que les "failles" de Sauveterre et de Roquemaure pourraient être en réalité des flexures très fortement pentées en direction du Nord.

A ces structures, relativement "larges", s'est surimposée la phase alpine proprement dite. Elle s'est résumée ici à des mouvements verticaux se traduisant par de très nombreuses fractures d'orientation générale SW-NE et NW-SE, et parfois même N-S, hachant littéralement les massifs préexistants.

Cette orientation "alpine", a découpé la région en horsts et graben.

Ainsi peut-on considérer la région de l'étang de Pujaut comme une zone effondrée, le massif de Villeneuve-les-Avignon comme un horst, et la vallée du Rhône comme une deuxième zone effondrée.

Les zones d'effondrement sont alors envahies par les transgressions miocènes et pliocènes.

Les ensembles miocènes (Burdigalien et Helvétien) sont pratiquement horizontaux. Seuls quelques bancs gréseux (Les Angles) présentent une légère pente en direction de la vallée du Rhône témoignant de réajustements post-miocènes.

II - LE MASSIF ARAMON - VILLENEUVE

Il donne l'apparence d'un vaste plateau calcaire qui s'étend d'Aramon à Four selon une orientation nord est - sud ouest. Il est limité à l'Ouest par "l'étang du Pujaut" (actuellement asséché) qu'il domine d'une centaine de mètres, et à l'Est par la vallée du Rhône.

A l'origine, ce massif a été élaboré à partir d'une succession de rides anticlinales d'axe est-ouest, généralement dissymétriques, avec des flancs sud fortement pentés, pouvant aller jusqu'à la verticale, et des flancs nord à pente douce.

Ces structures, relativement simples, ont été l'objet d'une fracturation ultérieure intense par des accidents de direction N-S à NE-SW, qui rendent parfois difficile la compréhension de la structure originelle.

A ces accidents nous rattacherons les fractures qui bordent le massif et en font un horst.

Nous avons représenté une série de coupes transversales schématiques, effectuées perpendiculairement aux axes des plis (cf. fig. 13).

Légende de la figure 13







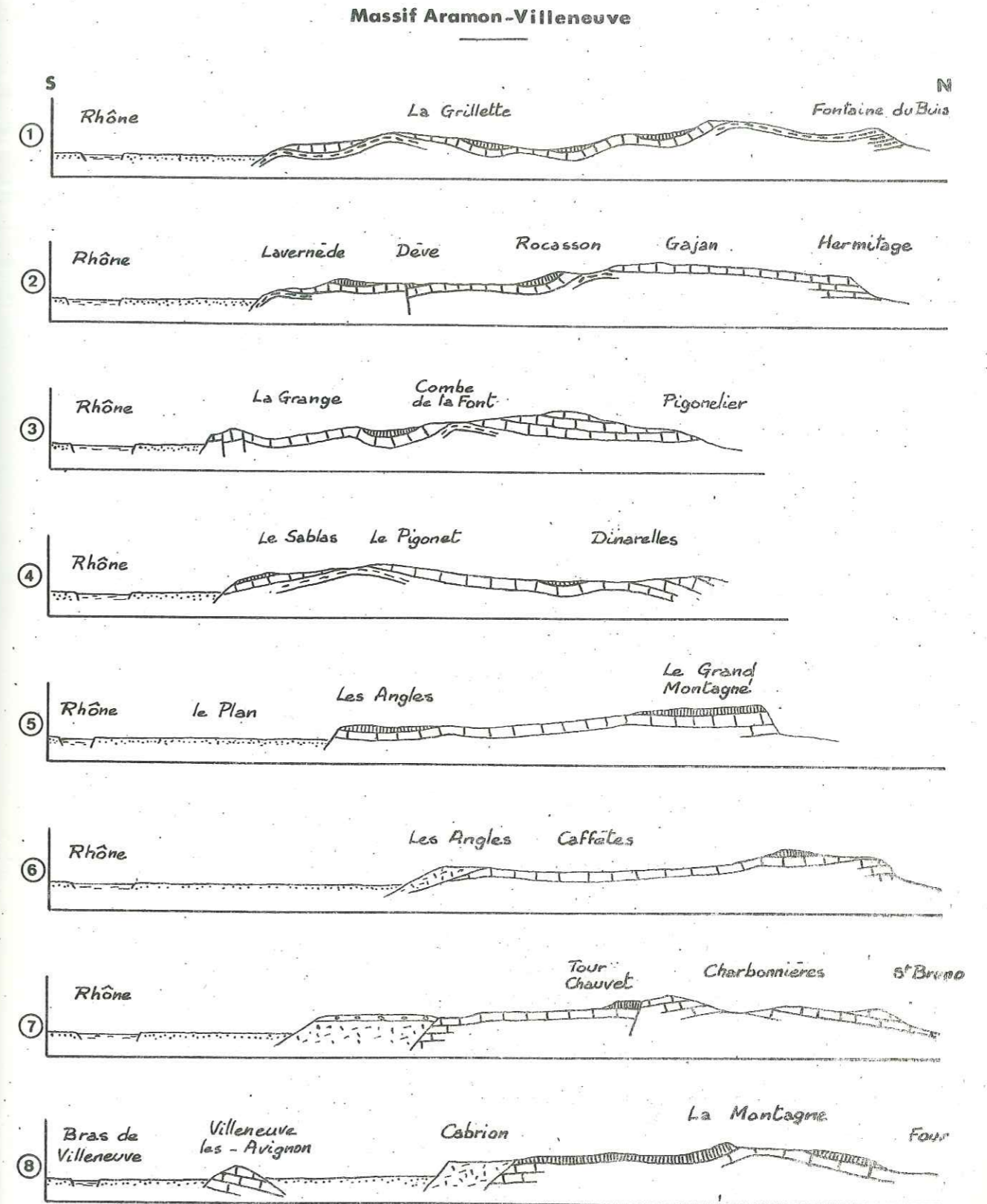
	Alluvions récentes		Barrémien supérieur
	Haute terrasse (Fx)		Barrémien inférieur
	Helvétien		Hauterivien supérieur

Fig. 13



Légende page ci-contre

Echelles : hauteurs 1/20.000
longueurs 1/40.000

Dans la région de St - Pierre - du - Terme et Lavernède, où il affleure (coupes 1 et 2), l'Hauterivien est affecté de plis très serrés, à pente subverticale, qu'il n'a pas été possible de représenter. Plus au Nord les plis deviennent plus "larges" pour aboutir à une structure monoclinale (Fontaine-du-Buis, Gajan, l'Hermitage).

A la latitude du Château-des-Issarts (coupes 2 et 3 Rocasson - La Grange) la bordure sud du Barrémien est très fragmentée. La carte 1/50 000 interprète d'ailleurs la limite Barrémien inférieur - Barrémien supérieur sous la forme d'une faille. A notre avis, il semblerait plutôt qu'il y ait un repli très "serré" (synclinal pincé) dans le Barrémien supérieur.

La coupe n° 4 permet de remarquer une ride anticlinale très nette (Les Sablas - Le Pignonet) dont les flancs sont symétriques. Le noyau hauterivien a été déplacé, par rapport aux coupes précédentes, par une faille oblique. Son axe est devenu NE-SW (cf. carte géologique, fig. 2).

Sur les coupes 5 et 6, d'après les nombreux pendages relevés sur le terrain, il apparaît que les structures sont très atténuées, nous avons l'apparence d'un plateau régulier.

La coupe n° 7 laisse voir l'affaissement d'un compartiment à la hauteur de la Tour Chauvet.

Sur la coupe n° 8, nous remarquerons l'anticlinal de "La Montagne".

Bordures du massif

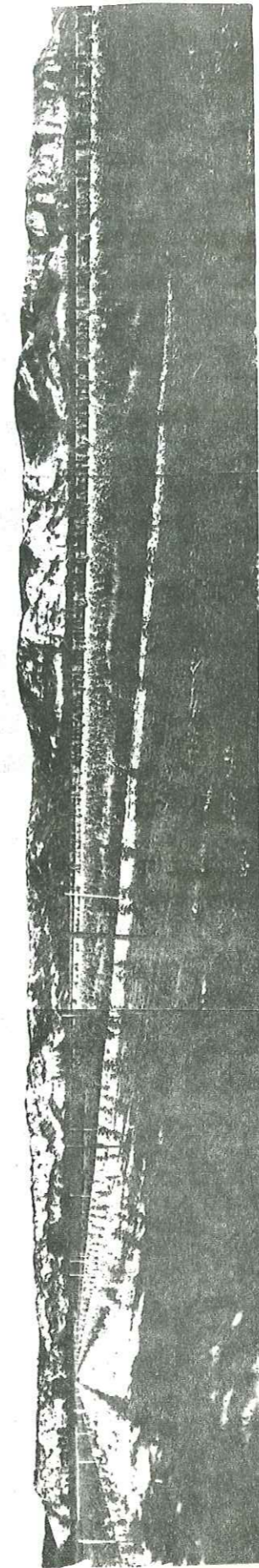
- Extrémité nord-ouest (cf. fig. 13 a).

Une photographie prise depuis l'ancien étang de Pujaut permet de distinguer :

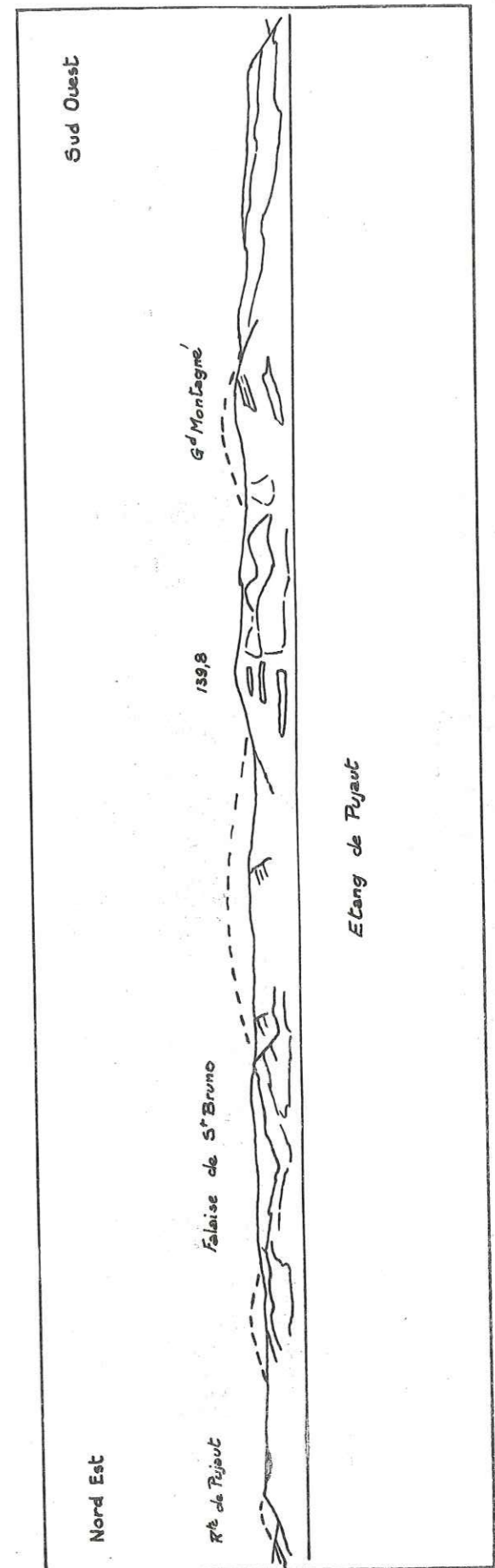
· L'abrupt qui limite le massif. Il s'agit là de la faille bordière qui s'étend depuis Nîmes jusqu'à Four. Elle met en contact le Crétacé et les alluvions récentes recouvrant le Plaisancien.

· La photo a été prise parallèlement au plan de faille.

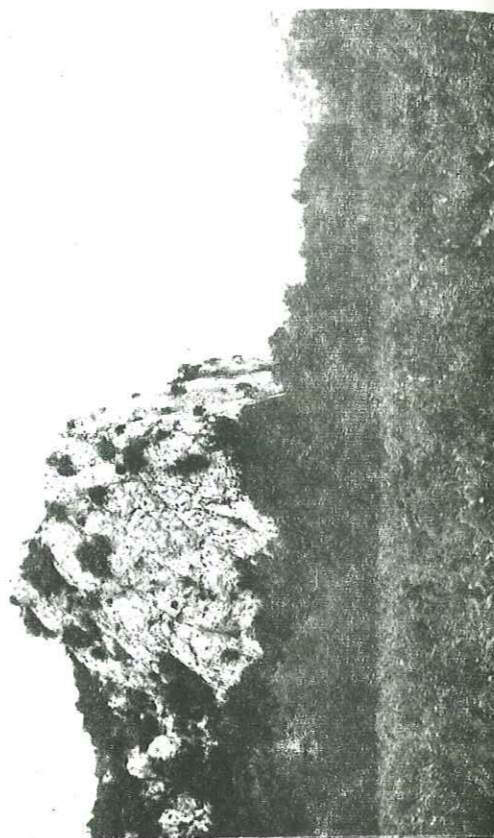
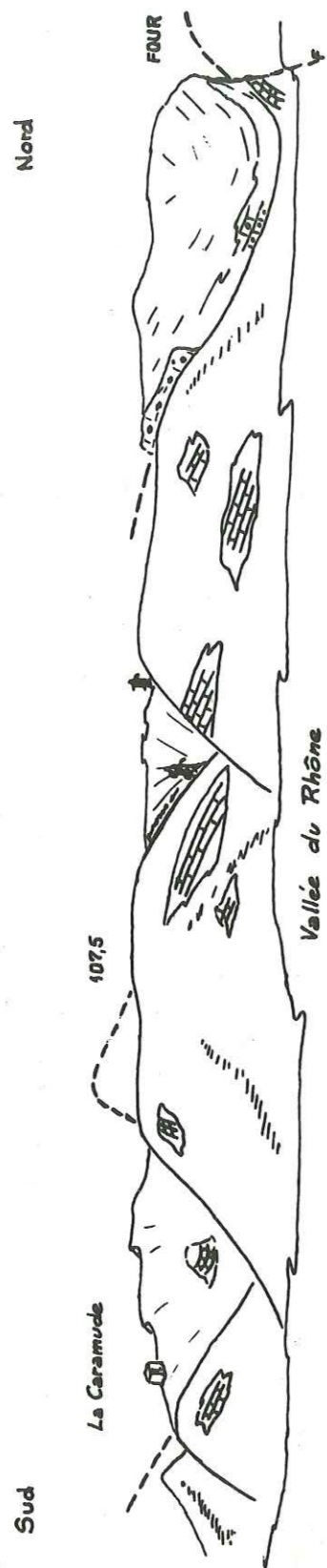
· Les structures anticlinales.



Bordure Nord-Ouest de "la Montagne".



Terminaison Nord-Est du Massif de Villeneuve
(La Montagne)



Anticlinal
de Four

- Extrémité nord est (cf. fig. 13 b)

Il s'agit là de l'extrémité du massif de Villeneuve qui surplombe la vallée du Rhône, donc sur l'autre versant.

Le croquis schématique (il n'a pas été possible de prendre une photographie avec assez de recul), permet de remarquer un anticlinal dissymétrique dans le calcaire du Barrémien inférieur et un synclinal barrémien supérieur (figuré en points) déversé vers l'Est et interrompu par faille à Four.

Contacts Crétacé - Miocène (cf. fig. 13 c)

Les photographies représentent :

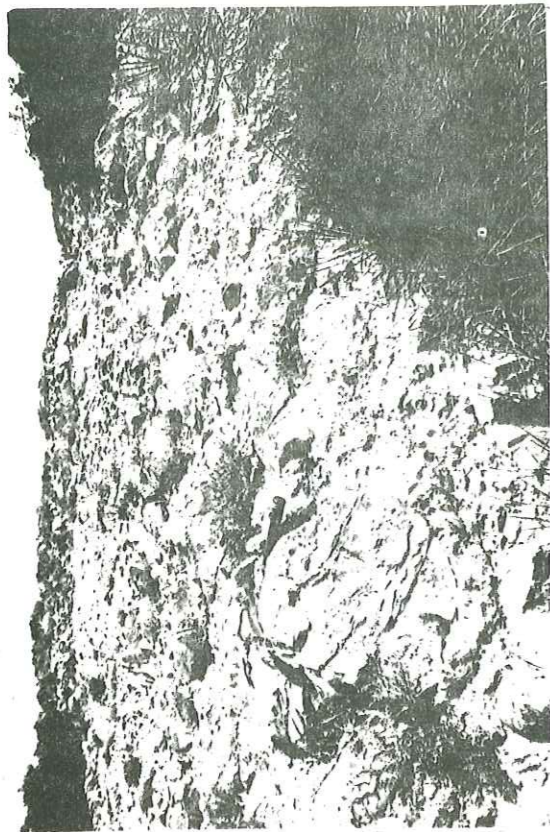
- Au Nord de Villeneuve-les-Avignon, le "rivage" miocène au lieu-dit Pierre Longue. On peut remarquer la surface aplanie du calcaire barrémien perforé par des lithophages. Sur cette surface s'est déposé un conglomérat à gros éléments de calcaire crétacé. Il représente le niveau de base de la transgression miocène sur les reliefs.

- Dans le même secteur, un peu plus au Nord (Cabrion), les ensembles sablo-marneux et gréseux helvétiques (foncés, à gauche sur la photo) sont plaqués contre la falaise calcaire.

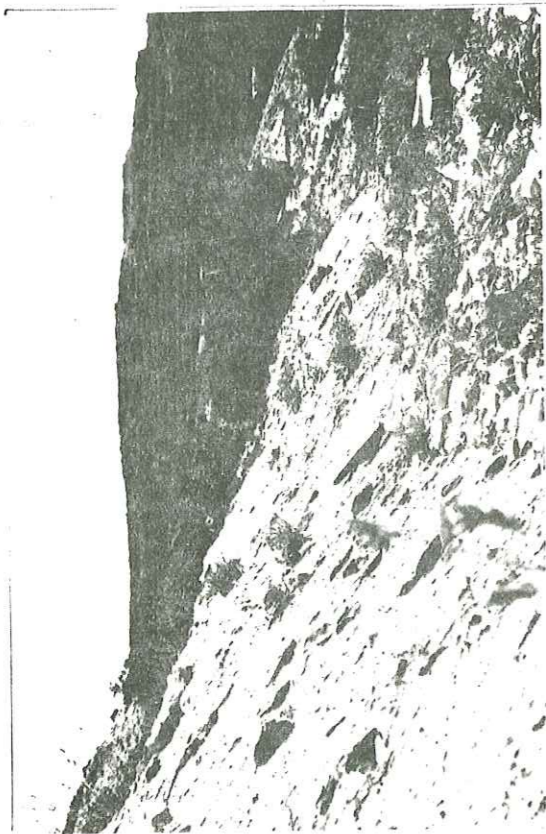
- Plus au Sud (Lavernède), nous voyons la molasse burdigalienne reposant en discordance sur le substratum crétacé.

Fig.13c

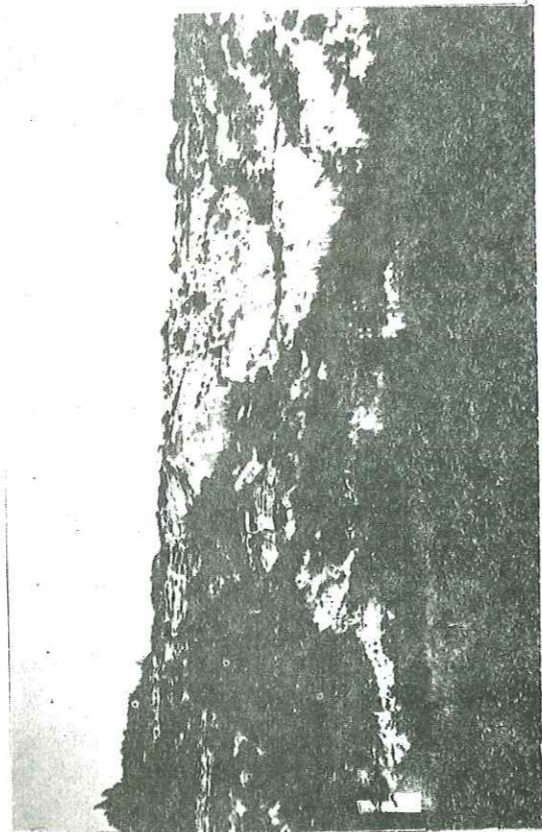
Bordures du massif de Villeneuve



Conglomerat de Pierre Longue



Le "nivage" miocène à Pierre Longue



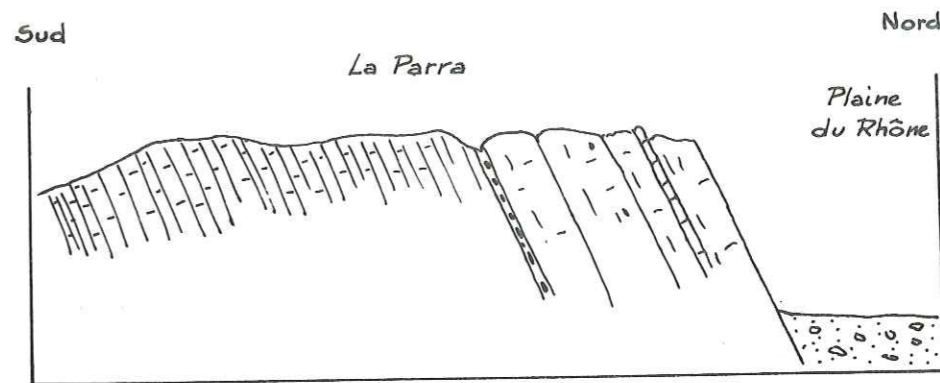
Le contact Barremien - Helvétique (Cabrian)






Le contact Hauterivien - Burdigalien (Lavernède)

Fig.13d

Massif de Roquemaure



Echelle : 1/2000

-  Alluvions récentes
-  Urgonian (Barr.-Apt.)
-  Niveau à cherts



Extrémité de la "barre" de Roquemaure

III - LE MASSIF DE CADERACHE

Il se dégage des ensembles miocènes au Nord de Sauveterre.

Ce massif peut être considéré comme un anticlinal (cf. fig. 2) à pendage sud interrompu au Nord par une faille de direction est-ouest.

De petites fractures NW à NE découpent cette structure selon des directions semblables à celles du massif de Villeneuve.

IV - LE MASSIF DE ROQUEMAURE

Ce massif se présente comme une "barre" de direction est-ouest au-dessus des alluvions du Rhône.

Cette barre est constituée par une série monoclinale très fortement pentée en direction du Nord (cf. fig. 13 d).

La partie septentrionale est généralement interprétée comme une faille. A notre avis, il pourrait tout aussi bien s'agir d'une flexure avec rejeu des bancs de calcaire urgonien les uns par rapport aux autres.

V - MASSIF DE LAMPOURDIER

Il s'étend au Nord-Ouest de Châteauneuf-du-Pape.

Nous n'en avons relevé que l'extrémité méridionale.

La bordure sud de ce massif est jalonnée par une faille, limitant ainsi une zone d'effondrement entre lui et le massif de Pierre à Feu (cf. fig. 2).

Cette zone effondrée est partiellement comblée par des grès cénomaniens affleurants et des calcaires gréseux gargasiens rencontrés en sondages.

VI - LA VALLEE DU RHONE

La vallée du Rhône correspond à un fossé d'effondrement dans lequel s'est insinuée la transgression miocène.

Nous avons effectué une série de coupes géologiques, perpendiculaires à l'axe de la vallée, de Roquemaure jusqu'à la latitude d'Avignon (cf. fig. 13 e et 13 f). Ces coupes ont été élaborées à partir des affleurements et des résultats obtenus en sondages.

Elles permettent les remarques suivantes :

Coupe n° 1

Elle représente le "verrou" de Roquemaure que le Rhône franchit actuellement.

Par gradins successifs on atteint un ancien chenal de profondeur inconnue. En effet, un sondage effectuée en rivière (RA 133), à proximité de la rive droite, a traversé une épaisseur de 50 m d'alluvions sans atteindre le substratum.

Coupe n° 2

On remarquera la prolongation, effondrée du massif de Caderache sous les alluvions.

Les ensembles grés-molassiques qui affleurent à "Laubline" se retrouvent en substratum de l'Ision St-Luc.

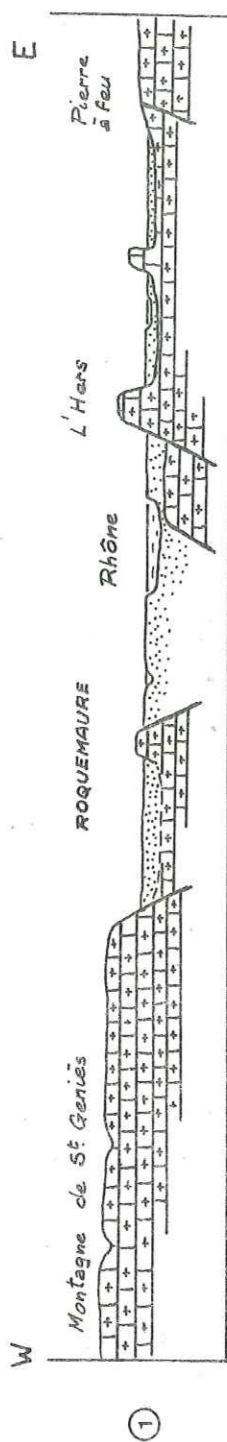
Coupe n° 3

Comme précédemment on remarquera la différence de cote entre les affleurements grés-molassiques et leurs homologues rencontrés en sondage.

Coupes n° 4 et 5

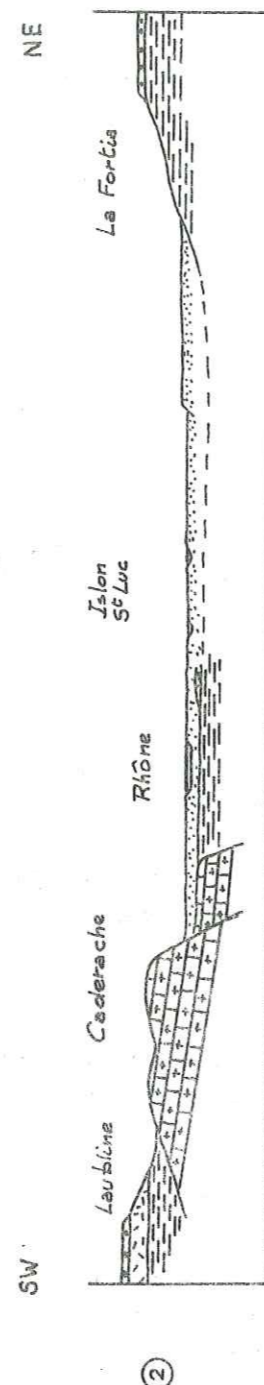
Le massif crétacé de la "Montagne" se prolonge loin sous les alluvions. Il semble logique de représenter le calcaire par une "dalle" unique, aucune différence notable de cote de sa surface ne permettant de croire à une succession de gradins.

Vallée du Rhône
COUPES TRANSVERSALES



Echelles :
- hauteurs : 1/10.000
- longueurs : 1/20.000

①



Echelles :
- hauteurs : 1/10.000
- longueurs : 1/40.000

②

Coupe n° 6

Le Miocène est plaqué au Crétacé. En effet, à la photographie aérienne il apparaît non comme un rivage, mais comme un remplissage adossé contre un relief escarpé, ce que nous avons signalé plus haut.

Le Miocène marneux représente le substratum de toute la vallée.

Coupe n° 7

Sur cette coupe, la présence de molasse burdigalienne (faciès de hauts-fonds) reposant sur un môle crétacé fait penser que celui-ci était relativement haut au début de la transgression miocène.

VII - POINTEMENTS CRETACES DE LA RIVE DROITE DU RHONE

Le massif de Vedène est le pointement le plus important.

Il présente la même fracturation d'orientation nord-sud.

Le massif de Mont de Vergues a des caractéristiques semblables.

Ces pointements, associés à celui de Caumont (en dehors des limites de notre carte) font la preuve d'une remontée du substratum crétacé qui doit très certainement constituer l'ossature des collines miocènes.

Vallée du Rhône

Légende des coupes transversales











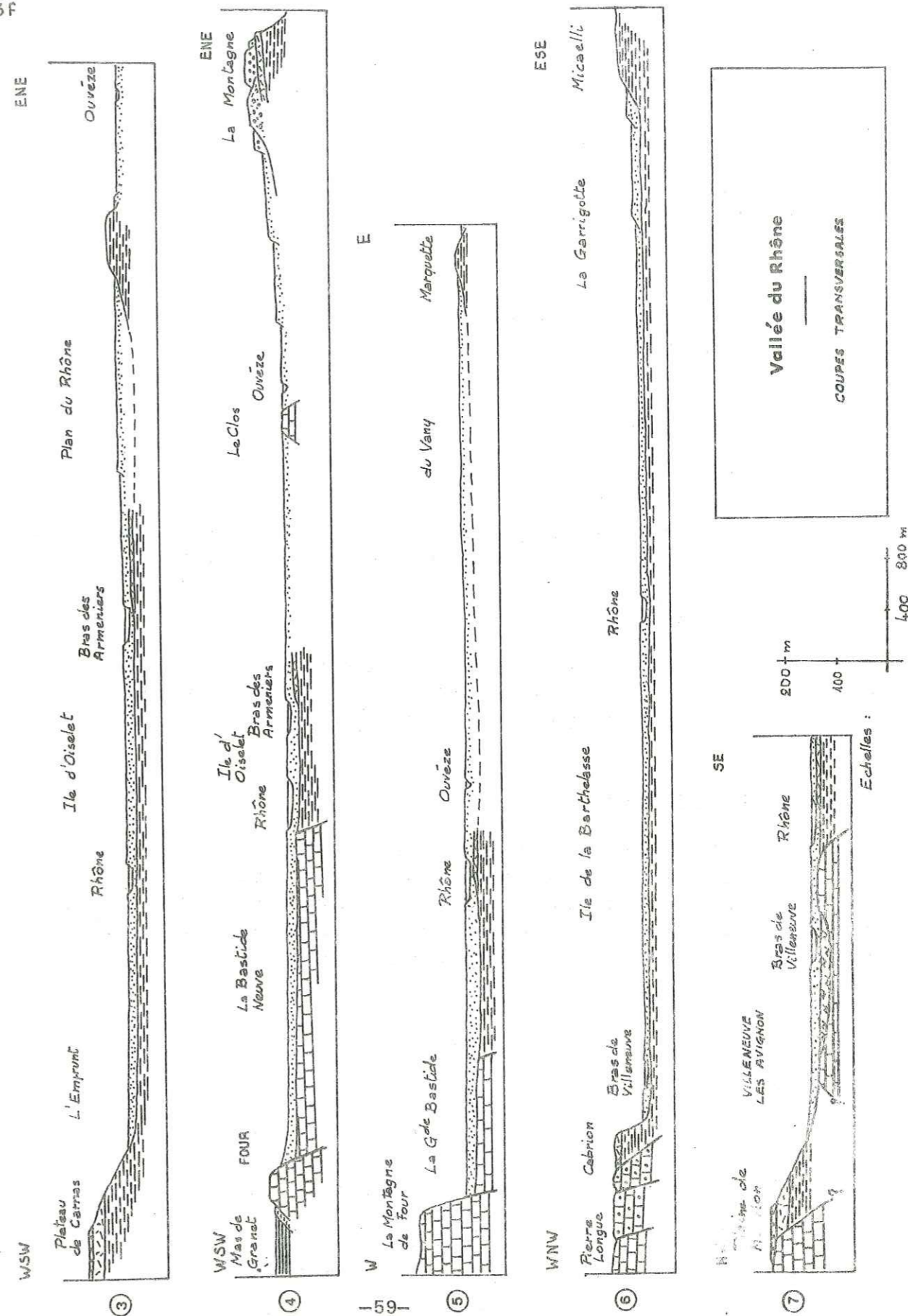
-  Alluvions récentes et basses terrasses
-  Hautes terrasses
-  Astien
-  Plaisancien
-  Helvétien (faciès grésno-molassiques)
-  Helvétien (faciès marneux)
-  Burdigalien (faciès molassiques)
-  Barrémo-Aptien, faciès Urgonien
-  Barrémien supérieur
-  Barrémien inférieur

Fig.13F



VIII - CONCLUSIONS

Nous résumerons l'histoire tectonique de la région étudiée de la manière suivante :

- Aptien inférieur

Fin de la mise en place de l'isthme durancien. Il y a un soulèvement prononcé de l'axe pyrénéo-provençal qui correspond à la première phase orogénique ante-cénomaniennne.

- Avant le Miocène

- Eocène

Des plissements importants donnent la succession d'anticlinaux d'axe est-ouest et établissent ainsi les premières structures.

- Oligocène

Des accidents de direction varisque se développent en relation avec le soulèvement du massif Central et l'effondrement du bâti pyrénéo-provençal découpé par de profonds fossés NE-SW (Vallée du Rhône, étang de Pujaut).

- Fin Miocène - début Pliocène

La fracturation précédente (varisque) rejoue. Dans notre secteur il y a un gauchissement qui se traduit par un relèvement des ensembles miocènes sur les bordures occidentales en même temps qu'il y a un jeu des fractures jalonnant les massifs crétacés. Ceci explique les différences d'altitude de niveaux gréso-molassiques identiques.

C - REMARQUES SEDIMENTOLOGIQUES ET PALEOGEOGRAPHIQUES

A partir de la fin du Jurassique l'océanographie est conditionnée par les mouvements précurseurs de l'orogénèse alpine. Nous assistons à une remontée du fond qui va aboutir à l'émersion de l'isthme durancien au Crétacé supérieur. Par la suite (Miocène-Pliocène) des mouvements négatifs du fond et des effondrements locaux vont permettre un retour au régime marin.

CRETACE

- Hauterivien supérieur

La sédimentation de calcaire argileux alternant avec de nombreuses et d'importantes passées marneuses correspond à un milieu néritique.

La présence de Textularidés confirme cette hypothèse. Nous sommes à cette époque en bordure de la fosse vocontienne, et les sédiments, sans avoir la valeur de faciès très profonds comme dans la région du Diois et des Baronnies, dénotent cependant une zone où le fond de la mer peut être compris entre 70 et 200 m.

La présence de débris organiques (Echinodermes, Bryozoaires) doit faire penser à des remaniements sous-marins plutôt qu'à des faciès sublittoraux proprement dits.

Il est cependant probable que l'Hauterivien inférieur correspond à la limite "milieu néritique-milieu sub-littoral".

- Barrémien inférieur

Bien que l'alternance marno-calcaire se poursuive, la sédimentation carbonatée devient prépondérante.

A la base de la série la présence de Textularidés et de Globorotalidés signale une certaine continuité avec l'étage précédent. Par contre au-dessus la proportion et la puissance des bancs calcaires augmente, les passées marneuses se réduisent aux joints.

En ce qui concerne la faune notons :

- Toxaster
- Spongiaires
- Annelides
- Bryozoaires
- Miliolidés

Le milieu est devenu sub-littoral (50 à 70 m de profondeur), il correspond au plateau continental.

ETAGE	FACIES	FAUNE	BATHYMETRIE
Hauterivien supérieur	Calcaires argileux et marnes	Textularidae (Bryozoaires, Echinodermes : débris)	Mer relativement profonde (néritique)
Barrémien inférieur	Calcaire argileux et passées marneuses Gradient calcaire positif	Toxaster Foraminifères	Remontée du fond (sub littoral)
Barrémien supérieur (Villeneuve)	Calcaire à silex et passées marneuses Calcaire massif à silex au sommet gradient calcaire positif	Spongiaires Radiolaires Echinodermes	Milieu peu profond (Sub littoral)
Barrémien Sup-Aptien	Faciès urgonien	Echinodermes Bryozoaires Algues Orbitolines	Milieu récifal ou peri-récifal Mer chaude
Aptien (Gargasien)	Calcaire gréseux à grain fin, légèrement glauconieux	Verneullinidae Lenticulina sp.	Approfondissement du fond
Cénomaniens	Grès calcaire	Echinodermes Bryozoaires	Littoral
Lutétien	Calcaire lacustre	Planorbes	Continental
Burdigalien	Conglomérat		Rivage
	Molasse calcaire	Chlamys Pecten	Zone épicontinentale
	Marne bleue	Globigerinidae Textularidae	Fosse, mer profonde
Helvétien	Marne bleue	idem	idem
	Sable et argiles - Molasse	Chlamys	Zone épicontinentale
Plaisancien	Argiles bleues	Bulimidae Nonionidae	"ria", mer assez profonde (néritique)
Astien	Sables et grès	Huîtres Gastéropodes	Littoral ou continental

- Barrémien supérieur

Le calcaire massif, clair, correspond, dans le massif de Villeneuve à un faciès peu profond.

La faune composée de :

- Echinodermes
- Spongiaires
- Radiolaires

permet de conclure que le milieu était sub-littoral à très faible profondeur.

Dans le massif de Roquemaure, le régime est franchement récifal. Il se poursuit dans l'Aptien inférieur.

Notons la grande importance qu'ont pris les gros Foraminifères (Orbitolinidae, Miliolidae).

D'autre part la nature même des calcaires (graveleux, micrograveleux) indique la présence de biohermes à proximité.

- Aptien supérieur (Gargasien)

Des sondages effectués dans le cours même du Rhône au Nord de Roquemaure nous ont permis de différencier un niveau gréseux correspondant au Gargasien.

Cet épisode détritique serait un faciès de bordure des reliefs émergés plus au Sud.

- Cénomaniens

La sédimentation de grès est la continuité des faciès détritiques littoraux précédents.

EOCENE

- Lutétien

Les calcaires lacustres à Planorbes sont les premiers témoignages de l'installation du régime continental.

MIOCENE

- Burdigalien

Une partie de la transgression se fait sur les hauts-fonds crétacés, l'autre dans le sillon à l'aplomb de l'actuelle vallée du Rhône.

- Zones de plateforme

La molasse calcaire à Chlamys, Pecten, Lithothamniées, Bryozoaires est le résultat d'une sédimentation en milieu sub-littoral (quelques dizaines de mètres de profondeur).

- Zone de bas fonds

La nature argileuse des sédiments et la présence de certains micro-organismes (Lagenidae, Globigerinidae) permettent de pencher pour une sédimentation en milieu néritique, donc de "vases" marines.

- Helvétien

Le début de l'étage représenté par des marnes bleues traduit la continuité du régime néritique burdigalien.

Par contre, à ces sédiments argileux font suite des ensembles sableux et molassiques signalant une remontée du fond marin.

La série molassique est contemporaine de phases tectoniques, ayant des relations lointaines mais certaines avec des zones d'érosion qui résultent de l'orogénèse alpine.

PLIOCENE

- Plaisancien

Un retour aux "marnes bleues" à Buliminidae signale un nouvel approfondissement de la "ria" plaisancienne contournant la partie occidentale du massif de Villeneuve. Les micro-organismes sont ceux d'un milieu néritique.

- Astien

Il représente, avec ses faciès sableux, donc de rivages (ripple marks) la dernière marque de l'avancée marine sur cette partie de la Provence.

CONCLUSIONS

Les grands traits de l'évolution paléogéographique du secteur étudié sont les suivants :

- à partir de l'Hauterivien supérieur, figurant un faciès encore profond, il y a une lente tendance à l'émersion. La série sédimentaire de l'Hauterivien au Barrémo-Aptien, est une série calcaire pararythmique, avec un gradient positif du calcaire.

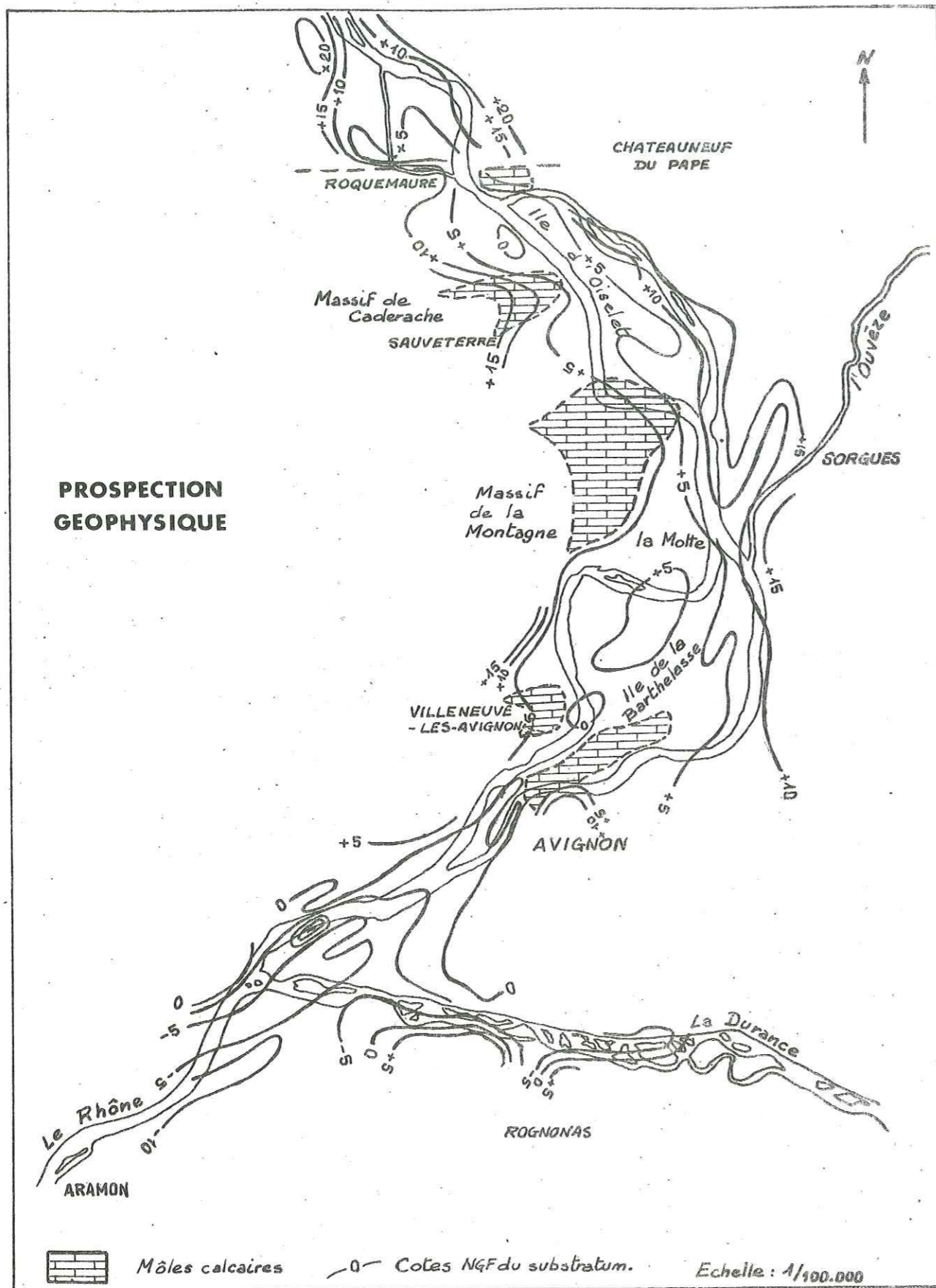
- Au Miocène, à des dépôts argileux profonds font suite des dépôts détritiques de milieu plus continentaux (sables et molasses) en relation avec l'orogénèse alpine.

- Au Pliocène, la mise en place d'argiles signale un nouvel approfondissement.

DEUXIEME PARTIE

LA RECONNAISSANCE DU SUBSTRATUM SOUS LA PLAINE ALLUVIALE
ENTRE ROQUEMAURE ET ARAMON

Fig. 14



I - DONNEES GENERALES

La reconnaissance de la vallée du Rhône entre Roquemaure et Avignon a été entreprise dès 1962 par la Compagnie Nationale du Rhône.

Cette reconnaissance avait pour but de déterminer la nature et l'extension des différents terrains qui forment le substratum de la plaine alluviale afin de prévoir quelles seraient les zones les plus aptes à recevoir les fondations des ouvrages hydro-électriques de l'aménagement d'Avignon.

Cette prospection a été effectuée en deux phases :

1 - une campagne de prospection géophysique sur toute la surface de la vallée entre Roquemaure et Avignon. Les mesures enregistrées à partir de sondages électriques, ou de sondages sismiques, devaient fournir une première approximation sur la topographie du substratum et éventuellement sur sa nature.;

2 - une campagne de sondages mécaniques afin d'étalonner les résultats de la prospection géophysique d'une part, et d'autre part afin de prélever des échantillons des différents terrains rencontrés.

Ils seront suivis de sondages complémentaires destinés à reconnaître les terrains à l'emplacement même des appuis des ouvrages prévus.

II - PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Nous ne mentionnerons ici que les résultats obtenus sans entrer dans les détails de la prospection effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique.

Notons simplement que la plus grande partie de l'étude a été réalisée en "sondages électriques", puis complétée par des sondages sismiques dans les zones où apparaissaient des massifs calcaires.

- Résultats obtenus

A partir des sondages électriques, il a été possible de niveler la surface du substratum, ainsi que le représente la figure 14.

Au Nord d'Avignon

- Entre Roquemaure et l'île d'Oiselet

La "barre" de Roquemaure se prolonge sous les alluvions, ne laissant qu'un défilé qui correspond à la largeur du fleuve.

Jusqu'au droit du massif de Caderache (Nord de Sauveterre), en rive droite, le substratum a une pente faible, alors qu'en rive gauche la pente remonte plus rapidement. Un point bas, délimité par la courbe 0 est situé au centre de ce "bassin", en rive droite.

Plus au Sud, le massif crétacé de Caderache se prolonge très nettement vers l'Est. Il a été décelé jusqu'à 400 m de la rive droite.

Au droit de Sauveterre, la vallée s'élargit à nouveau.

- Entre Sauveterre et "la Motte"

Une prolongation du massif crétacé de "la Montagne", s'étend très loin au Nord Ouest, et descend au Sud jusqu'au coude du bras de Villeneuve. Les courbes + 5, très proches, dessinent une sorte de chenal.

En rive gauche, un thalweg apparaît à l'Ouest de Sorgues (ancien cours de l'Ouvèze?).

- Entre la Motte et Avignon

A l'emplacement de l'île de la Barthelasse, le substratum apparaît comme relativement plat.

Plus au Sud, deux massifs calcaires sont bien mis en évidence, l'un étant le prolongement du pointement du Fort St André à Villeneuve-les-Avignon, l'autre a comme témoin l'affleurement du château des Doms en Avignon même.

A l'Ouest d'Avignon

Entre Villeuve et Avignon, un double thalweg se dessine, occupant toute la largeur de l'île de Piot.

Ce thalweg se prolonge jusqu'à la confluence Rhône-Durance. Un approfondissement notable (jusqu'à -20 N GF) est situé à 800 m en amont de cette confluence.

Au Sud d'Avignon

A l'emplacement même de la Durance actuelle, le chenal est très bien marqué et correspond pratiquement au cours de la rivière.

Notons une amorce de thalweg (Rognonas) qui dessine le début de l'ancien cours de la Durance passant entre Barbentane et Châteaurenard.

En conclusion, outre la détermination de la topographie du substratum, la prospection géophysique a permis de distinguer très nettement les massifs crétacés masqués par les alluvions actuelles. Les sondages mécaniques sont venus confirmer ces résultats.

III - STRATIGRAPHIE DU SUBSTRATUM

III - 1 - Généralités

Dans un premier temps les sondages mécaniques ont été effectués systématiquement entre Roquemaure et Aramon, sur toute la vallée du Rhône, soit sur les berges soit en rivière.

Le matériel employé était représenté par des sondeuses type "Craelius", utilisées en battage dans les terrains alluvionnaires et en carottage continu dans le substratum.

Cette campagne de sondages devait permettre de se faire une idée approximative des caractéristiques mécaniques des terrains traversés.

La distance moyenne entre chaque sondage dans le lit même du fleuve est de 200 m, avec un sondage en rive droite et un en rive gauche. Dans les zones plus intéressantes cet écart peut descendre à 100, voire même à 50 m (171 sondages exécutés au moment de notre étude).

Les sondages "sur berges" sont moins nombreux et principalement concentrés dans l'île de la Barthelasse (en bordure du bras de Villeneuve).

Enfin une série de sondages est disposée entre l'île de l'Oiselet et l'île de la Barthelasse.

Au total, le nombre de sondages exécutés sur "terre ferme" atteignait 147 au moment de notre étude.

On peut donc remarquer que vu le nombre de points d'investigation sur le substratum, il était relativement aisé d'élaborer une stratigraphie détaillée des différentes formations rencontrées et d'en dresser la carte géologique.

Notons toutefois que compte tenu des besoins de la C. N. R., la profondeur moyenne d'investigation était de l'ordre de 20 à 30 m.

Dans les paragraphes qui suivent chaque niveau caractéristique est affecté d'un numéro d'ordre. Cependant, afin de conserver l'unité stratigraphique, les différents niveaux sont regroupés dans leurs étages respectifs.

Le sondage RA 112 (cf. fig. 16), a été comme le plus typique et le plus représentatif des différents terrains rencontrés.

III - 2 - Crétacé

- Niveaux 1 et 2

Il s'agit d'un calcaire recoupé par les sondages dans le "môle" situé entre l'île d'Oiselet et le lieu-dit la Motte, à l'Est du Fort St-André et au Nord d'Avignon. Le substratum crétacé se retrouve au Nord d'Aramon, dans le verrou entaillé par le fleuve entre les collines de St-Pierre-de-Term et de la Montagnette.

- Zone nord (Four-Villeneuve-Avignon)

Nous y trouvons un calcaire à grain fin, dont la couleur est généralement claire (blanc à beige), très fracturé. Dans certains sondages il est intercalé de marnes jaunâtres.

Aucune étude micrographique n'a été effectuée dans ce niveau le nombre de sondages restreint, et le peu d'échantillons ne permettant pas de faire une étude détaillée de la zone. Notons cependant qu'en bordure du massif, un sondage a recoupé environ 3 m de brèche de faille (débris calcaires emballés dans une marne gris-claire) avant d'atteindre le calcaire franc.

Vraisemblablement le massif calcaire enfoui sous les alluvions est à rattacher au Barrémien du massif de la Montagne et du massif de Villeneuve. Il s'agirait donc du Barrémien inférieur et du Barrémien supérieur à faciès de transition.

- Zone sud (Aramon)

Le substratum est représenté ici par un calcaire marneux jaunâtre avec quelques passées marneuses.

L'étude micrographique de ce calcaire a permis de le définir comme un calcaire bioclastique à grain assez fin, un peu grumeleux, avec quelques diaclases calcitisées.

On peut y remarquer :

- d'abondants débris d'Echinodermes de petits Foraminifères benthiques.

Aucun organisme n'étant déterminant il n'est pas possible de dater ce niveau avec précision. La proximité des affleurements hauteriviens de part et d'autre du Rhône permet cependant de pencher en faveur de cet étage.

En conclusion sur les niveaux 1 et 2 représentant le substratum calcaire nous tenons à préciser que notre étude a été très sommaire.

Une série complète de lames minces effectuées sur les carottes des sondages permettraient sans doute de détailler les différents étages rencontrés.

Nous nous sommes particulièrement attaché à définir les ensembles miocènes.

- Niveaux 3a et 3b

En bordure de l'île de Miémar, les sondages implantés dans le lit du Rhône ont rencontré, à partir de 6 m, sous les alluvions :

- au sommet, une marne noire, gréseuse, sur un mètre environ
- en position intermédiaire, un grès marneux gris, lité, à passages plus clairs (de l'ordre du millimètre), à grain fin. Quelques fissures sont soulagées par des recristallisations de calcite. On peut y remarquer des traces de pyrite. La puissance de ce banc est de l'ordre de 3 m (niveau 3b)

- à la base du sondage, un grès très dur, clair, ponctué de grains glauconieux (niveau 3a)

L'étude micrographique a donné les résultats suivants :

- niveau 3a

grès calcaire, légèrement glauconieux et ferrugineux.

On peut y distinguer :

- du quartz anguleux, sans nourissage secondaire, dans un pourcentage de l'ordre de 30 %. Certains éléments sont corrodés à la périphérie.

- des feldspaths (plagioclases)
- de la calcite
- des impuretés (fer), assez nombreuses
- biotite, hornblende, épidote

La microfaune est rare :

- Verneulinidae
- Lenticulina sp.

niveau 3 b

Calcaire gréseux à grain fin, à assez fin, légèrement glauconieux, avec des sels de fer.

Très rares débris phosphatés.

Matière organique ?

Les grains de quartz ont une cassure régulière, certains éléments sont très gros.

Il n'y a pas de Foraminifères.

En conclusion, on peut rapprocher ce niveau des grès aptiens (Gargasien), rencontrés au Nord du massif du Lampourdier. Dans les deux cas il s'agit d'un grès calcaire, foncé, glauconieux, à éléments anguleux.

La microfaune ne permet cependant pas de trancher de façon indiscutable.

III- 3 - MIOCENE

III - 3 - 1 - Burdigalien

- Niveau B

Ce niveau, sédimenté en dehors des zones profondes, a été rencontré :

- entre Villeneuve et Avignon
- au Nord d'Aramon
- dans les sondages bordant le substratum crétacé, généralement recouvert par un autre niveau.

Nous avons pu distinguer, de haut en bas :

- une molasse blanche, crayeuse, à grain fin, un peu sableuse, avec quelques rares débris de Pectinidés. Elle forme un niveau dur et compact se carottant bien (niveau 8b).

Marne bleue

Sondage RA 112 Niveau 9

- C = Calcite
- Cl = Chlorite
- D = Dolomie.
- F = Feldspaths
- I = Illite
- M = Montmorillonite
- Q = Quartz

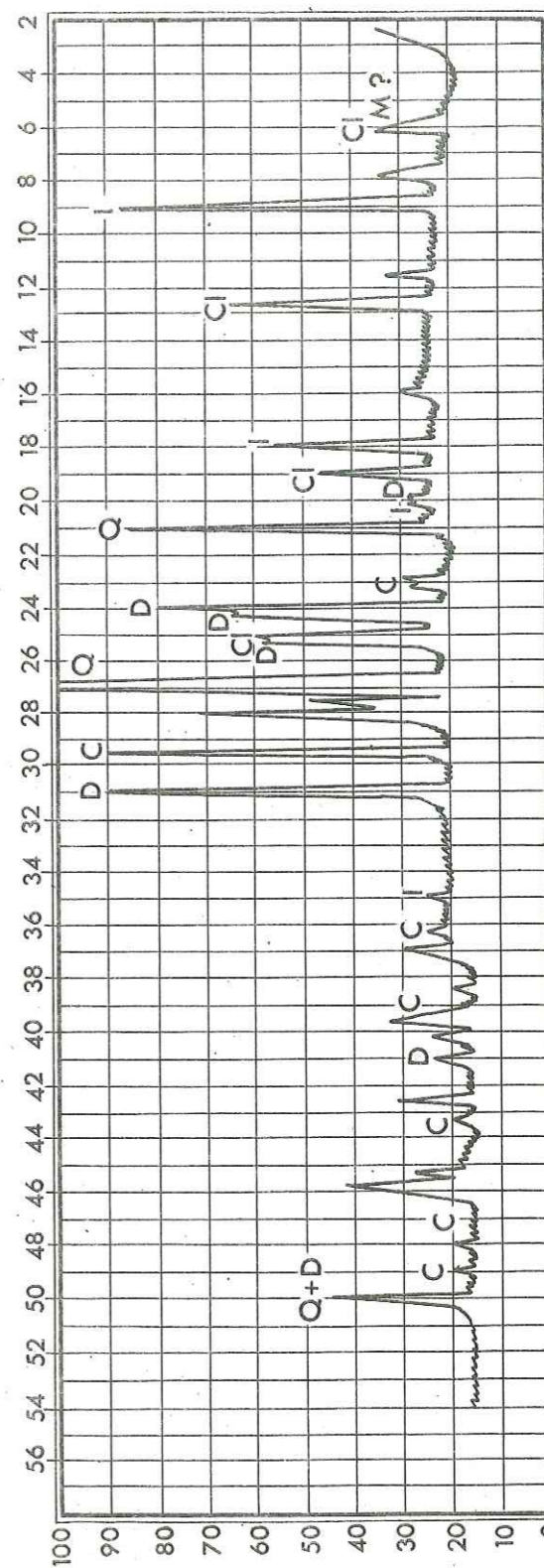


Fig. 15

- un grès glauconieux, avec quelques rares débris organiques (niveau 8 a).

Latéralement, dans la région située au Nord d'Aramon, au contact du calcaire crétacé formant substratum, nous trouvons une molasse grise ou blanche, avec de nombreux galets verdis, contenant des débris de gros Pectinidés, et de nombreux Bryozoaires. Dans cette molasse se différencient des passées de grès verts glauconieux, avec quelquefois des intercalations marneuses.

Un peu au Nord de la confluence Rhône-Durance, elle est recouverte de marne bleue.

Il n'a pas été possible de dégager de Foraminifères dans ces niveaux.

Le niveau 8 en général est pétrographiquement très semblable aux affleurements de molasse burdigalienne rencontrée aux "Carrières" (Nord Ouest des Angles), au Mas de Carles, et surtout à Lavernède et à St-Pierre-du-Terne qui sont les affleurements les plus proches.

De plus cette molasse recoupée en sondages est quelquefois surmontée par la marne bleue inférieure, qui, comme nous le verrons plus loin est considérée comme le sommet du Burdigalien et la base de l'Helvétien.

Il est donc logique de ranger ce niveau dans le Burdigalien.

III - 3 - 2 - Helvétien inférieur - Burdigalien

- Niveau 9

C'est le niveau miocène le plus inférieur recoupé dans un grand nombre de sondages, soit en tête soit sous d'autres formations.

Il est très caractéristique et présente une large extension dans le secteur étudié.

Il s'agit d'une marne bleue ou gris clair, très feuilletée, très micacée, au toucher caractéristique. C'est ce que nous appellerons la marne bleue inférieure.

- Analyse aux rayons X

Le diagramme obtenu (cf. fig. 15 ci-contre) a permis de différencier les éléments suivants :

- illite, caractérisée par ses raies principales (raies à 9,9 - 4,45 - 2,56 Å) ;
- chlorite, raies 14 - 7 - 4,68 - 3,53 Å ;

- quartz, très abondant
- calcite, très abondante
- dolomie, très abondante
- traces d'éléments feldspathiques
- montmorillonite

On peut considérer l'échantillon comme une marne dolomitique comprenant une phase détritique constituée de quartz et d'un peu de feldspath.

Cet échantillon est donc minéralogiquement en tous points comparable à celui provenant d'un affleurement situé au Sud Ouest des Angles (chemin du lavoir) qui analysé aux rayons X a présenté les mêmes caractéristiques (cf. fig. 8 ci-devant).

- Analyse minéralogique (à partir des lavages)

- quartz
- micas, très abondants, surtout muscovite
- chlorite
- distène
- staurotide

Macrofaune

Inexistante dans les sondages

Microfaune

Dans la partie centrale du bassin (La Barthelasse, la Motte), les lavages effectués sur les carottes n'ont livré qu'une microfaune rare.

Citons la présence de quelques Nonionidae et de Foraminifères indéterminables représentés par quelques individus nains.

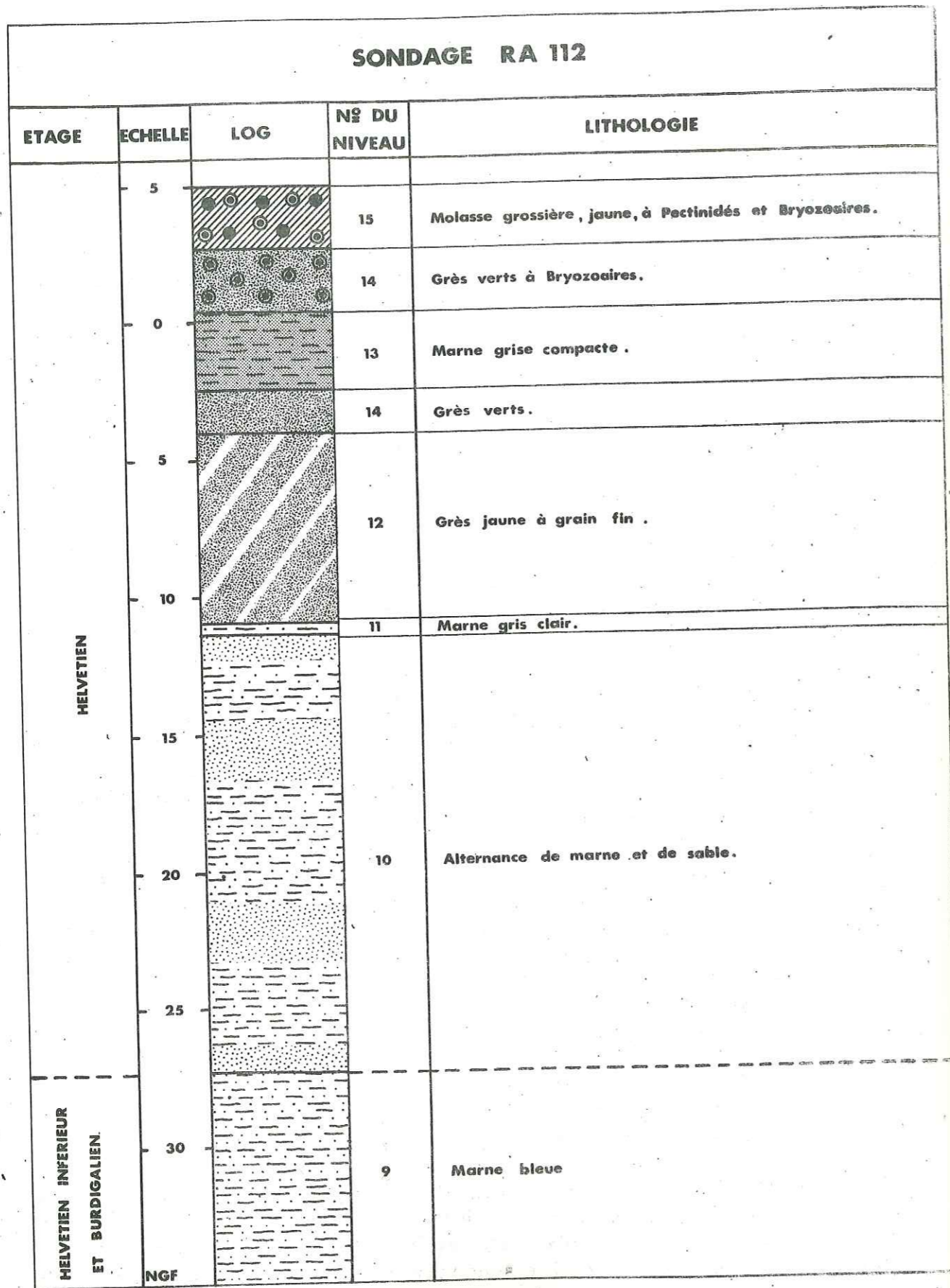
Par contre, au droit du village des Angles, et plus au Sud, les échantillons issus des sondages en rivière ont livré :

- Strebilus beccarii
- Nonion boueanum
- " tuberculatum
- Caucasina sp.
- Lenticulina sp.
- Cibicides ugerianus
- Elphidium cf. listeri
- Globigerina bulloides
- Eponides cf. haidingeri

On rapprochera cette microfaune miocène de celle rencontrée d'une part aux Angles, d'autre part à Caumont (cf. p. 19).

La puissance du niveau 9 est variable. En effet, sur les bordures des ensembles crétacés les sondages ont recoupé 10 à 20 m de marne

Fig. 16



afériorité avant d'atteindre la molasse burdigalienne, par contre, au centre du bassin, L. JOLEAUD cite un sondage effectué en Avignon (usine à eau de Monclar) qui a traversé 83 m de cette formation sans en atteindre le mur

En conclusion, on admettra que le niveau 9 est analogue aux "marnes bleues de Caumont", les critères minéralogiques (analyses aux rayons X en particulier) et paléontologiques nous permettent de l'affirmer

Dans ces conditions, il correspond au "faciès de fond" burdigalien - helvétien inférieur.

C'est le schlier des anciens auteurs.

III - 3 - 3 - Helvétien
Niveau 10

Situé au-dessus de la marne bleue inférieure, ce niveau est représenté par un sable moyen de couleur jaune, avec des intercalations gréseuses et marneuses de même couleur (alternance de marne et de sable).

Minéraux

- quartz

Microfaune

- Streblus beccarii
- Siphonodosaria sp.
- Textularia sp.

La puissance de ce niveau est en moyenne de 20 m. Il correspond au début des formations helvétiques, nous avons généralement retrouvé cette alternance de marnes et de sables à la base de tous les affleurements helvétiques qui bordent la vallée du Rhône, immédiatement au-dessus du niveau 9.

Niveau 11

Vu sa très faible épaisseur, la marne grise, claire, qui constitue ce niveau doit être considérée comme un repère dans la série.

Il s'agit d'une marne assez compacte, litée, très micacée, avec une fraction sableuse relativement importante.

Minéraux

- quartz
- micas
- minéraux argileux

Microfaune

- Streblus beccarii
- Siphonodosaria sp.
- Virgulina schreibersiana
- Textularia aciculata
- " abbreviata
- Elphidium semistriatum
- Uvigerina tenuistriata
- Caucasina sp.

La puissance du niveau 11 peut varier entre 0,50 m et 1,50 m.

Niveau 12

Il est représenté par un grès gris à jaune clair, à grain fin, relativement friable, que l'on peut considérer comme un sable consolidé. Une certaine stratification est soulignée par des niveaux ferrugineux.

Minéraux

- | | | |
|-------------|----------------------|------------|
| - quartz | - épidote | - corindon |
| - muscovite | - staurotide | - disthène |
| - glauconie | - glaucophane (rare) | |

Microfaune

Nous n'avons pu isoler aucun Foraminifère.

La puissance du niveau de grès jaune est variable, et n'excède jamais 10 m. De plus nous avons pu remarquer de nombreux "biseaux".

Niveau 13

Ce niveau correspond à une marne grise, sableuse, compacte, alternant avec des passées sableuses ou argileuses.

La structure est rubanée.

Les éléments identifiables sont surtout des grains de quartz et des palettes de muscovite.

Microfaune

- Echantillon 1
- Spiroplectamina carinata
- " " sp.
- Textularia aciculata
- Dentalina roemeri
- Nonion tuberculatum
- " boueanum
- Elphidium semistriatum
- " complanatum
- Caucasina sp.
- Hopkinsina bonionensis
- Siphonodosaria cf. monilis
- Plectofrondicularia (fragment)
- Streblus beccarii
- Chilostomella oolina
- Globigerina coucinna

(Miocène-Helvétien).

- Echantillon 2
- Streblus beccarii
- Textularia cf. aciculata
- Nonion boueanum
- Caucasina sp.
- Homkinsina bonionensis
- Globigerina bulloides
- Cibicides lobatulus

La puissance de ce niveau miocène est généralement de 4 à 5 m.

- Niveau 14

Ce sont les "grès verts".

Ces grès argileux, compacts, sont moyennement cohérents. Leur couleur verte est due à des punctuations de glauconie. La granulométrie est fine. On peut remarquer d'abondants débris organiques : Bryozoaires, fragments de coquilles de Pectinidés. L'argile qui compose une partie du ciment se présente aussi sous forme de lentilles dans la masse. On peut discerner de vagues traces de stratification.

Faune

- Les Foraminifères sont très rares et en mauvais état
- nombreuses radioles d'Echinodermes
- Bryozoaires abondants.

L'épaisseur, très variable, de ce niveau peut passer de 2 à 12 m.

Minéraux

- quartz (très abondant) avec inclusions
- plagioclases
- micas (muscovite, biotite)
- augite
- andalousie
- disthène

- Niveau 15

Il est représenté par une molasse jaune, constituée par des débris organiques (débris de coquilles de Pectinidés, Bryozoaires) inclus dans un ciment calcaire.

Les éléments figurés sont :

- des débris organiques
- des éléments détritiques, sable et petits galets (0,5 cm).

L'ensemble est légèrement glauconieux.

- Faune

Aucun Foraminifère
 Bryozoaires abondants
 Débris de Gastéropodes
 Débris de Pectinidés abondants

La puissance de ce niveau est difficile à apprécier, car il est souvent situé directement sous les alluvions, donc il a été affecté par l'érosion. En général, les sondages en ont recoupé quelques mètres.

- Niveau 16

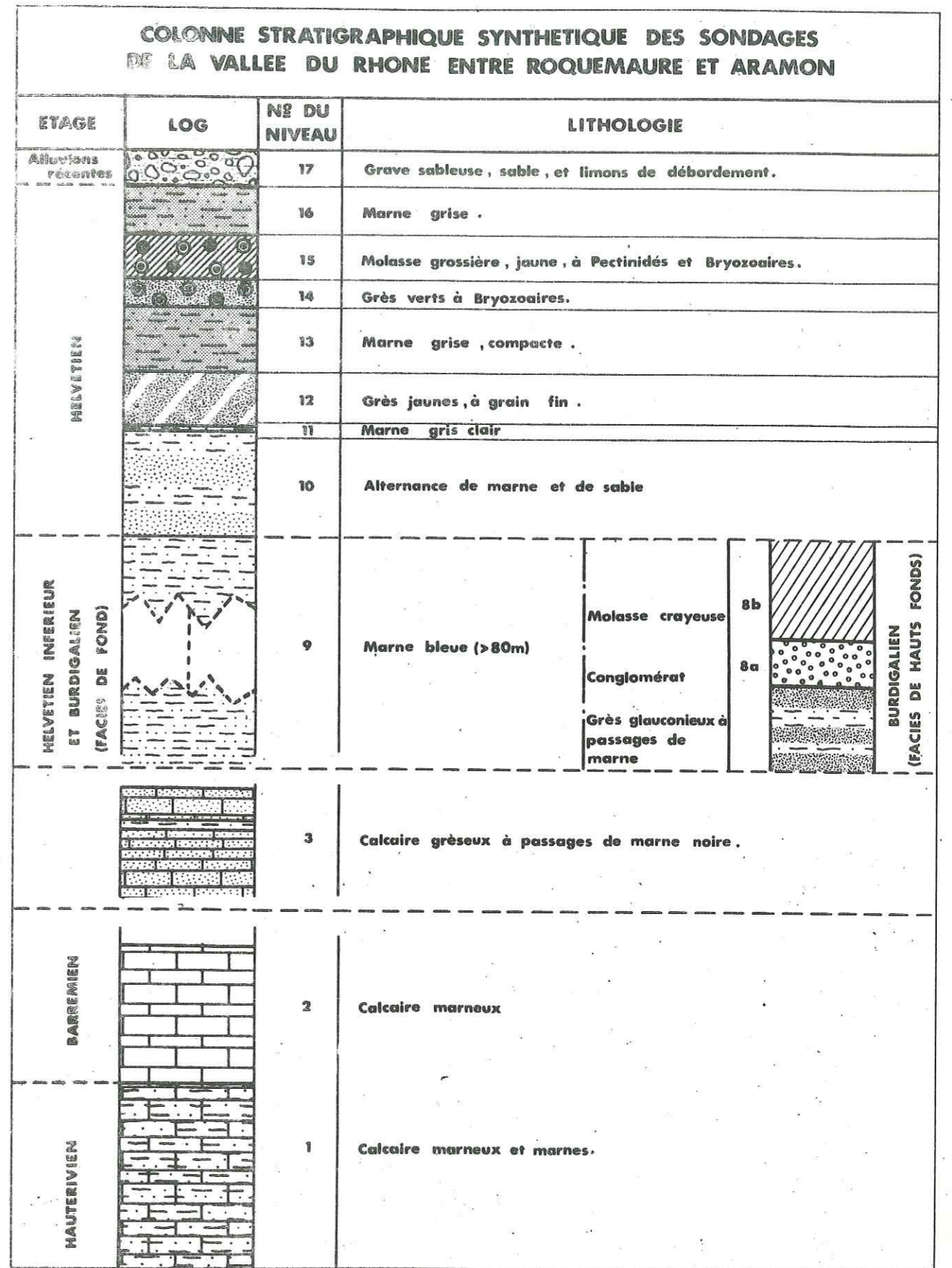
Ce niveau retrouvé en sondages au-dessus du précédent, est représenté par des marnes litées, alternativement grises et jaunes.

Les seuls sondages qui ont recoupé cet ensemble sont ceux situés le plus à l'Est entre Châteauneuf-du-pape et Sorgues.

- Microfaune

- Textularia aciculata
- Streblus beccarii
- Cibicides lobatulus
- Nonion cf. padanum
- " boueanum
- Caucasina sp.
- Spiroplectammina cf. carinata
- Elphidium macellum
- Globigerina bulloides
- " concinna
- Globigerinoides triloba
- Hopkinsina bononiensis
- Siphonodosaria sp.

Au maximum ce niveau atteint quelques mètres de puissance.



4 - REPARTITION DES DIFFERENTS NIVEAUX

CORRELATION ENTRE LES AFFLEUREMENTS ET LES SONDAGES

La "carte géologique" du substratum est représentée ci-après. La topographie du substratum est déterminée par les résultats de la prospection géophysique, et à l'aide des cotes des différents niveaux recoupés en sondages.

1) Môles crétacés

Ce sont les prolongations sous la plaine alluviale, des massifs crétacés qui bordent la vallée.

Nous noterons du Nord au Sud :

- à l'Est de Roquemaure, en rive gauche, la continuité de l'affleurement du massif "Pierre à feu" vers l'Ouest, limité par un jeu de failles du massif de Roquemaure proprement dit. Deux témoins de ce massif ennoyé par les alluvions sont représentés par les pointements du Château de l'Hers. Les cotes moyennes de ce môle sont comprises entre + 10 et +15 NGF.

- au Nord de Sauveterre, la prolongation vers l'Est du massif de Caderache jusqu'à 300 m environ du cours du Rhône. Ce massif a été détecté uniquement par prospection géophysique.

- au Nord-Est du massif de "La Montagne", un môle calcaire très étendu (2300 m sur 2400m) certainement limité par des failles sur ses bordures nord et est, puisque des sondages effectués à proximité ont recoupé de 25 à 50 m de Miocène sans rencontrer le substratum crétacé.

Ailleurs, l'absence de sondages ne permet pas de préciser le contact crétacé-miocène.

- au Nord-Est du Fort St-André et au Nord d'Avignon, un môle assez étendu, partiellement recouvert par la molasse et les grès calcaires burdigaliens.

2) Aptien

Des ensembles gréseux à rattacher au Gargasien ont été détectés dans un sillon creusé sur la bordure est de l'île de Miémar. Ils témoignent de la discontinuité entre la barre de Roquemaure et le massif de Lampour-dier.

3) Ensembles miocènes

- Burdigalien

Le faciès de hauts-fonds gréso-molassique a été retrouvé entre la Montagnette et la portion méridionale du massif des Angles. C'est un argument supplémentaire pour penser que le chenal d'Aramon s'est ouvert tardivement, postérieurement au Miocène.

Entre Avignon et Villeneuve la présence de la molasse sur le crétacé permet de conclure à la présence d'un haut fond à cet endroit lors du début de la transgression miocène.

- Burdigalien-Helvétien

Les différents niveaux évoqués plus haut se distribuent le long de la vallée du Rhône. Les marnes bleues inférieures (niveau 9) sont principalement représentées au Sud des Angles et au droit de "la Motte".

Les faciès gréso-molassiques se retrouvent plus particulièrement au Nord du cours de l'Ouvèze.

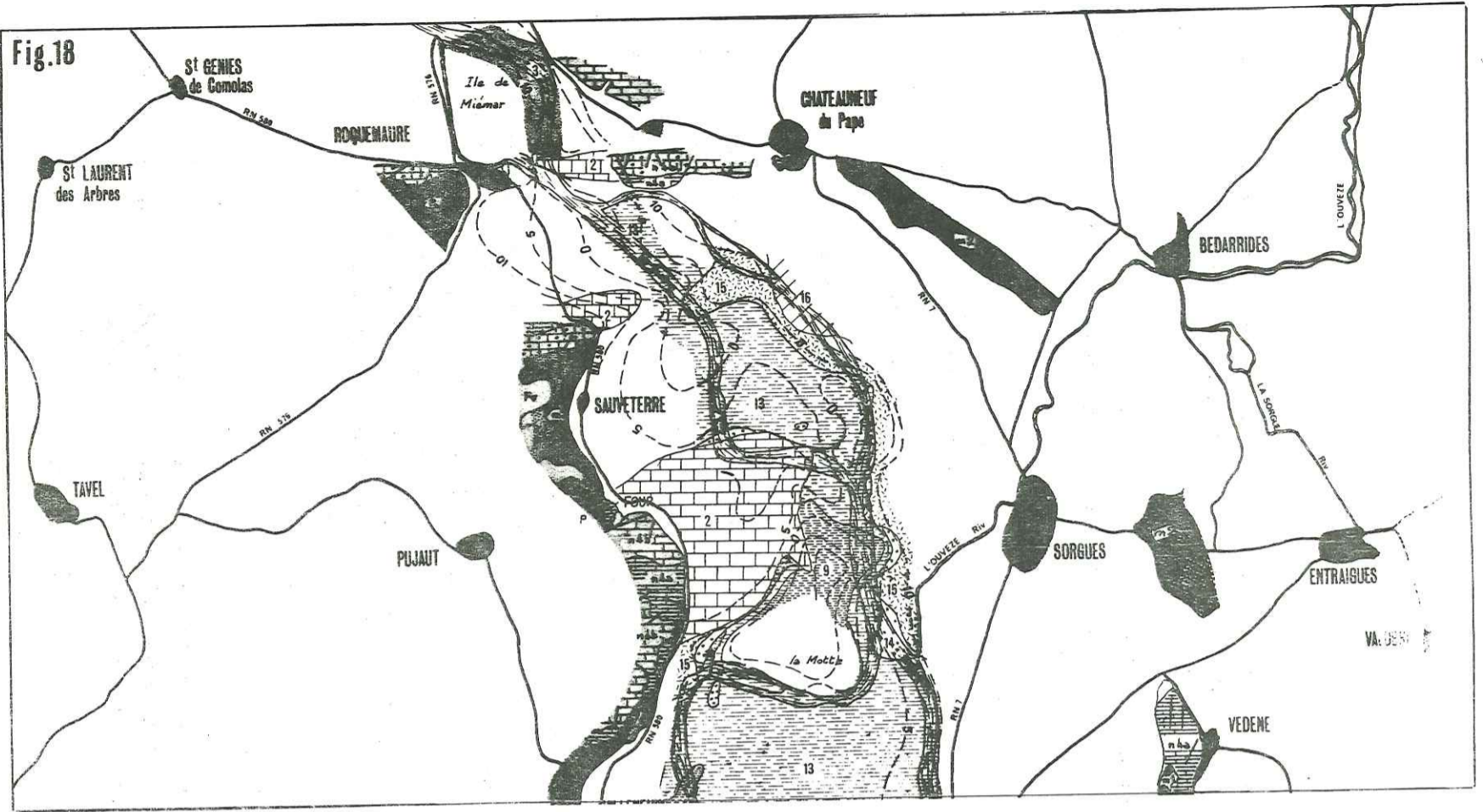
Les faciès argileux (marne bleue, marne grise) sont en tous points semblables à ceux rencontrés en affleurements (Caumont, Les Angles) aussi ne subsiste-t-il aucune ambiguïté quant à leur position stratigraphique et paléogéographique. Ils représentent les sédiments vaseux du début de la transgression miocène dans les zones profondes.

Les faciès gréso-molassiques leur faisant suite correspondent à une sédimentation détritique en milieu moins profond. S'il est hasardeux d'essayer d'établir des corrélations entre les niveaux sableux et sablo-argileux des affleurements et des sondages; il est néanmoins possible de faire correspondre le niveau 15 avec les grès molassiques du massif de Villeneuve. La position de ces ensembles à une cote de 5 à 10 NGF laisse supposer un réajustement postmiocène qui aurait affecté le substratum de la vallée du Rhône.

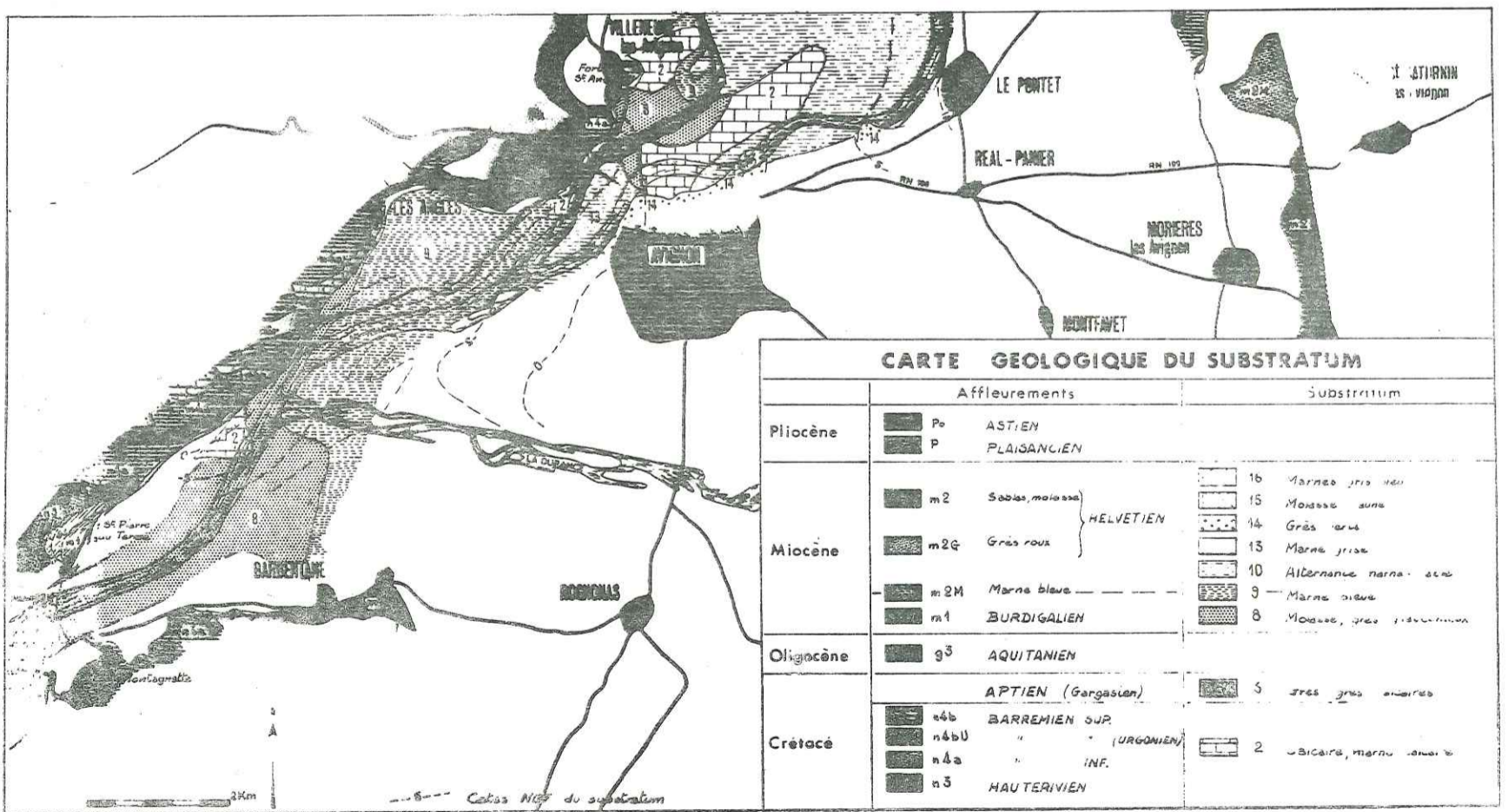
- Minéraux lourds

Dans les niveaux helvétiques, le stock de minéraux lourds, comprenant en particulier l'épidote et le glaucophane dénote un apport d'origine alpine correspondant à une période d'activité orogénique.

Fig.18



86



87

TROISIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE



I - GENERALITES

I - 1 - Données géographiques

Limité de tous côtés par des massifs montagneux, crétacés ou miocènes, le bassin d'Avignon forme une unité géographique bien distincte.

Ce bassin s'étend de part et d'autre du Rhône, entre Roquemaure au Nord et Aramon au Sud, soit sur une distance de 24 kilomètres environ.

La largeur de la plaine alluviale, limitée à l'Ouest par les massifs de Sauveterre et de Villeneuve-les-Avignon et à l'Est par les massifs de Bédarrides, Sorgues, Vedène, St-Saturnin, est en moyenne de 7 km. Au maximum (latitude d'Avignon) cette dimension atteint 13 km.

La limite septentrionale du bassin est constituée par le massif de Roquemaure prolongé à l'Est par le massif de Châteauneuf-du-Pape.

Dans sa partie méridionale le bassin d'Avignon est interrompu par le massif de la Montagnette et plus au Sud par les Alpilles.

I - 2 - Données topographiques

La surface topographique est dans l'ensemble régulièrement plane, faiblement inclinée vers le Sud jusqu'à Avignon, passant de la cote 25 à 19 NGF.

Au Sud d'Avignon, nous observons :

- une légère remontée de la plaine en direction du Sud et du Sud Est ;
- une dépression correspondant à la continuité de la vallée du Rhône proprement dite.

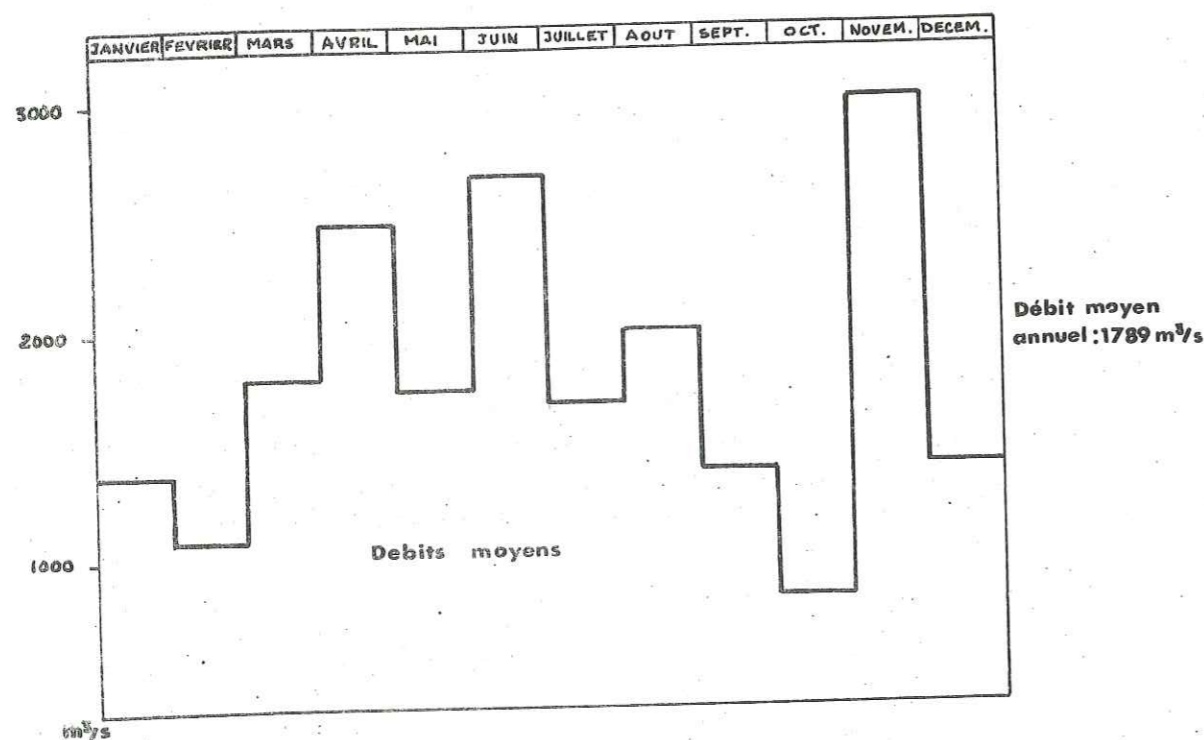
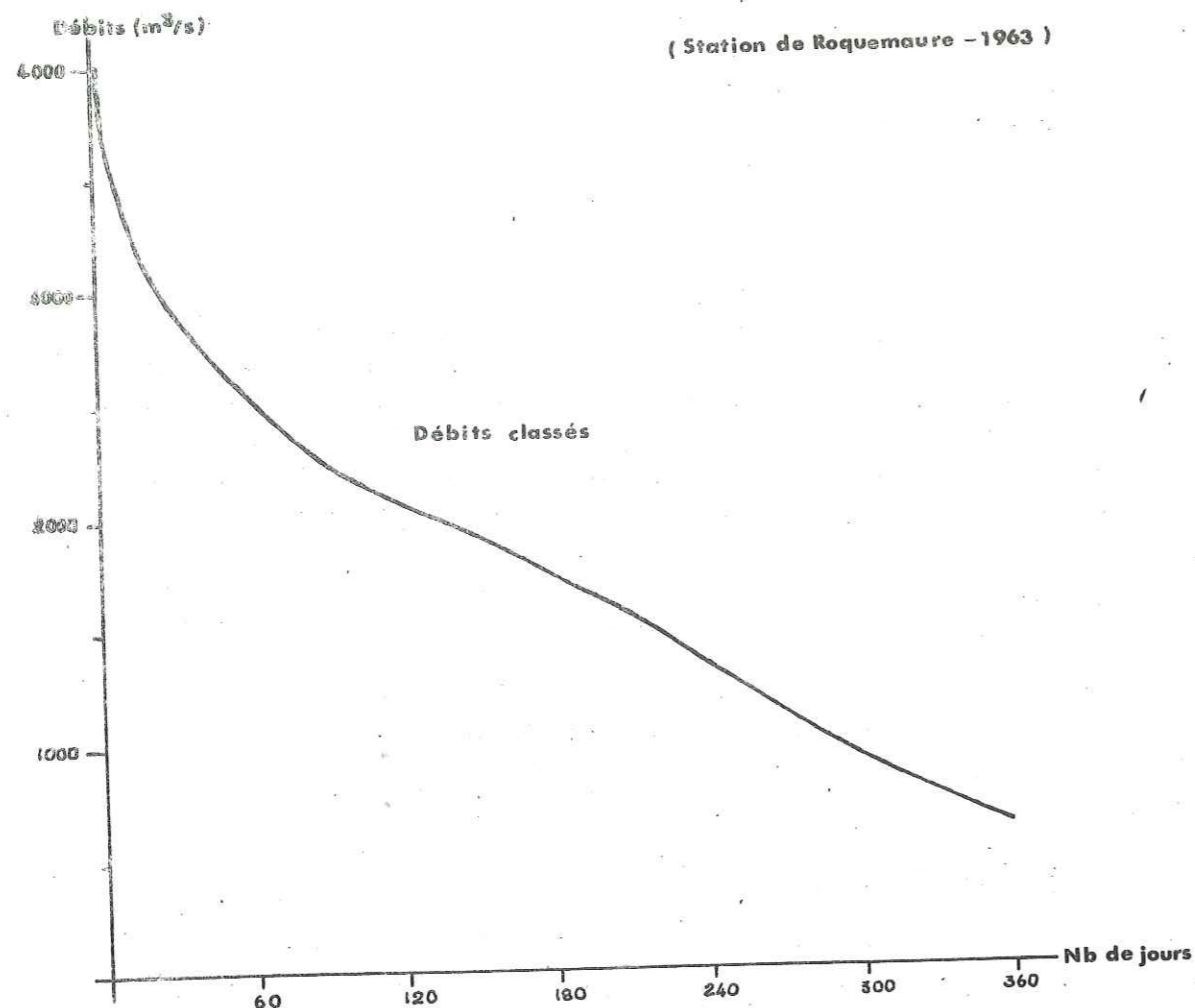
I - 3 - Données hydrographiques

Au droit de Roquemaure, le Rhône franchit perpendiculairement un premier relief calcaire par un verrou de 800 m de large environ.

Ensuite la direction générale d'écoulement du Rhône est approximativement nord-sud de Roquemaure à Avignon pour obliquer, après cette ville en direction du Sud Ouest jusqu'au verrou d'Aramon.



Régime du Rhône



Puis l'Ouvèze vient confluer avec le Rhône au Sud Ouest de Sorgues.

Au Sud d'Avignon, la Durance traverse la plaine d'Est en Ouest (plus exactement selon une direction ESE-WNW) pour venir se jeter dans le fleuve à proximité de Lavernède.

Avant sa confluence avec la Durance le cours du Rhône est divisé de la manière suivante :

- au Nord, en deux bras distincts, le Rhône proprement dit et le bras des Arméniers, délimitant ainsi l'île d'Oiselet.

- au Sud, il se sépare à nouveau en deux parties : le cours principal et le bras de Villeuve, donnant naissance à l'île de la Barthelasse prolongée de l'île de Piot.

I - 3 - 1 - Régime du Rhône

Les renseignements que nous possédons correspondent aux données fournies par la station de Roquemaure pour l'année 1963. Il est donc possible de connaître, à partir des hauteurs d'eau enregistrées, les débits journaliers moyens du Rhône à son entrée dans le bassin d'Avignon.

Nous pouvons en tirer les caractéristiques suivantes :

- Etiage minimal observé : 560 m³/s
- Etiage conventionnel : 650 m³/s
- Débit dépassé 6 mois par an : 1 750 m³/s
- Débit dépassé 10 jours par an : 3 500 m³/s
- Crue annuelle : 5 598 m³/s
- Débit moyen pour l'année 1963 : 1 789 m³/s.

Les courbes de débits moyens mensuels et les courbes de débits classés sont figurées sur la planche 20.

Ce graphique fait ressortir :

1 - des débits moyens minimums en février et en octobre. Ils correspondent vraisemblablement, d'une part à la rétention glacionivale d'hiver, et d'autre part à la fin d'une période de sécheresse au sortir de l'été.

2 - des débits moyens maximums entre avril et juin, correspondant à la fonte des neiges et aux pluies de printemps. Les maximums de novembre, qui provoquent de très fortes crues dans le bassin d'Avignon, signalent des pluies abondantes sur la région et un apport important depuis le haut cours du Rhône.

I - 3 - 2 - Régime de la Durance

Les variations des hauteurs d'eau, enregistrées au Pont de Rognonas sont figurées sur la planche 21.

Ces mesures font ressortir :

- les hauteurs maximales, relativement peu marquées au printemps par comparaison avec celles du Rhône.
La crue de novembre, par contre, est très nette. ;

- les hauteurs minimales de l'été comparables à celles du Rhône en juillet-août. En automne, sans doute sous l'influence de pluies dans la haute Durance, la baisse est beaucoup moins sensible.

I - 3 - 3 - Régime de l'Ouvèze

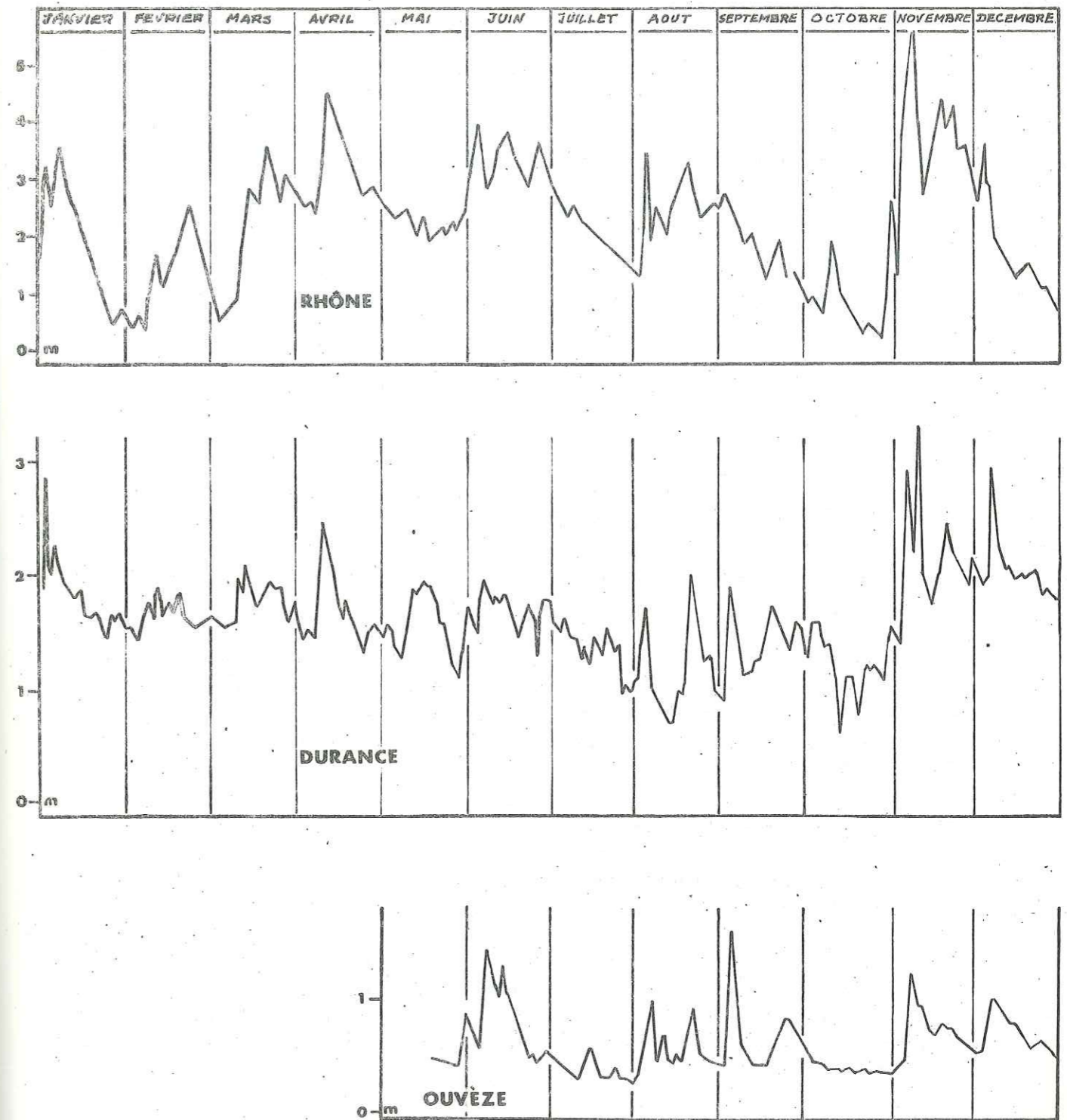
- Hauteurs d'eau

Aucun point de mesure n'ayant été installé avant le mois d'avril 1963, date de la mise en place du limnigraphe de Bédarrides il ne nous a pas été possible de suivre les variations de l'Ouvèze pour toute l'année 1963. Signalons cependant que pour le deuxième semestre 1963, les hauteurs d'eau de cette rivière, bien que beaucoup plus modestes, sont fortement comparables à celles du Rhône.

Une légère différence se situe au début de septembre. Une pointe brusque de la cote de l'Ouvèze ne semble pas avoir de rapport avec celle du Rhône, alors qu'à cette même période la pluviométrie était abondante (56 mm).

En règle générale, il semble que l'influence des précipitations se traduise particulièrement bien sur les variations de l'Ouvèze, ce qui confirmerait son caractère de rivière à régime "méditerranéen".

Variations comparées du Rhône de la Durance et de l'Ouvèze



I - 3 - 4 - Variations comparées du Rhône et de ses affluents, Ouvèze et Durance

Nous avons rassemblé sur la même figure (cf. 21) les hauteurs d'eau enregistrées en 1963.

En première approximation, on peut noter que ces variations sont assez semblables, mis à part les hauteurs d'eau absolues qui sont évidemment fort différentes.

Nous noterons cependant les différences suivantes entre le Rhône et la Durance. :

- en février, à une montée continue du Rhône, de l'ordre de 2 m correspondent des oscillations rapides de la cote de la Durance. ;

- en mai, alors que le Rhône a une tendance à la décrue, ou au moins à la stabilité, la Durance a une période de pointe dont le maximum se situe au milieu du mois ;

- en août, les hauteurs d'eau du Rhône sont moyennes tandis que celles de son affluent sont très basses.;;

- en septembre-octobre, le Rhône a une tendance à la baisse, alors que la Durance est en période moyenne.

En ce qui concerne l'Ouvèze on peut remarquer, pour la période qui nous intéresse, que ces variations, bien qu'éminemment plus faibles, sont surtout comparables à celles de la Durance. Notons cependant une période "étale" qui correspond au mois d'octobre et qui n'est comparable ni au Rhône ni à la Durance.

I - 4 - Données climatologiques

Les renseignements principaux nous ont été fournis par la station de Montfavet - St-Paul, ils sont consignés sur le tableau ci-après.

Le climat qui règne sur le bassin d'Avignon est du type méditerranéen, avec de nombreuses heures d'insolation, des pluies peu fréquentes, mais abondantes, et pour l'année considérée un nombre de jours de mistral qui est presque le tiers de l'année. L'évaporation est relativement abondante.

- CLIMATOLOGIE (STATION MONTFAVET-SAINTE-PAUL - 1963) -

MOIS	TEMPERATURE MOYENNE (°C)	EVAPORATION (en mm)	NOMBRE de JOURS de PLUIE	HAUTEUR des PRECIPITATIONS (en mm)	NOMBRE D'HEURES D'INSOLATION
JANVIER	1,66	gelée	8	50,4	108,3
FEVRIER	3,05	"	10	96,3	129,1
MARS	9,07	"	11	33,2	196,0
AVRIL	13,08	83,4	12	53,5	254,1
MAI	16,49	130,5	3	27,8	343,9
JUIN	19,70	90,2	9	123,3	299,3
JUILLET	22,90	104,5	8	35,2	330,8
AOUT	20,05	88,7	11	50,2	306,5
SEPTEMBRE	17,84	60,0	11	121,0	189,7
OCTOBRE	13,91	66,2	5	25,8	197,1
NOVEMBRE	12,03	46,9	7	56,2	?
DECEMBRE	3,26	gelée	6	89,2	?
MISTRAL = 108 jours					

I - 5 - Histoire du bassin

Le tracé actuel du Rhône est lié à l'histoire tectonique du Comtat.

Si les accidents pyrénéo-provençaux, marqués par des failles de direction est-ouest (faille de Roquemaure par exemple) ne semblent pas avoir eu d'influence directe sur le tracé actuel du fleuve par contre les accidents à rattacher à l'orogénèse alpine, représentés par des fractures de direction varisque (Sud Ouest - Nord Est) ont donné naissance au compartimentage tectonique du substratum crétacé, avec une morphologie de horsts et de grabens. Nous retiendrons le couloir d'effondrement correspondant au bassin du Rhône.

Les couloirs d'effondrement ont été envahis par les transgressions tertiaires :

- la transgression miocène s'insinue dans les chenaux bordés de reliefs crétacés puis les recouvre partiellement ;

- la transgression plaisancienne contourne l'Ouest du massif Les Angles - Villeneuve pour laisser ses dépôts dans le "graben" de Pujaut, en évitant le bassin d'Avignon proprement dit.

Après ces périodes de transgressions marines s'installe un régime continental avec écoulements fluviaux auxquels il convient de rattacher les dépôts de la haute terrasse (100 m) d'âge villafranchien. A compter de ce moment les phases de creusement et d'alluvionnement donnent naissance au système de terrasses, et pour finir le dépôt des alluvions récentes sur une surface importante ce qui souligne les nombreuses divagations du fleuve avant qu'il ait atteint son cours actuel.

En ce qui concerne la partie sud du bassin, il faut associer l'influence de la Durance à la mise en place du cours actuel du Rhône.

A l'origine, Rhône et Durance se jetaient séparément dans la méditerranée (avant la fin du Quaternaire moyen).

A la fin du Quaternaire moyen la Durance est capturée par le Rhône. Le Rhône et la Durance passent alors entre la Montagnette et les Alpilles dans la dépression de Rognonas. Puis la Durance édifie un cône de déjection dans la région de Châteaurenard obligeant alors le Rhône à repousser son cours vers l'Ouest pour passer finalement par le seuil d'Aramon, entre le massif des Angles et la Montagnette.

II - DONNEES GEOLOGIQUES

L'étude géologique détaillée des affleurements et du substratum a été le but des chapitres précédents. Rappelons brièvement les caractéristiques géologiques de la région étudiée.

II - 1 - Environnement géologique

Nous distinguerons :

- en rive droite

Les massifs crétacés, bordés localement par des ensembles miocènes et pliocènes.

Les massifs calcaires, s'ils contiennent des nappes d'origine karstique, ne doivent pas prendre une part importante à l'alimentation de la nappe alluviale.

Les grès et sables à passées argileuses de l'Helvétien ne contiennent aucun niveau aquifère décelable.

Enfin, au Sud de Roquemaure, les infiltrations dans les sables assietés participent à l'alimentation de la nappe alluviale.

- en rive gauche

Mis à part le pointement crétacé de Vedène, les collines qui bordent la partie orientale de la plaine alluviale sont constituées par les ensembles helvétiques (molasse gréseuse, sable à passées argileuses) ne devant participer que de façon très faible à l'alimentation de la plaine alluviale. Ces ensembles doivent servir de mur aux eaux d'infiltration.

II - 2 - Substratum sous alluvial

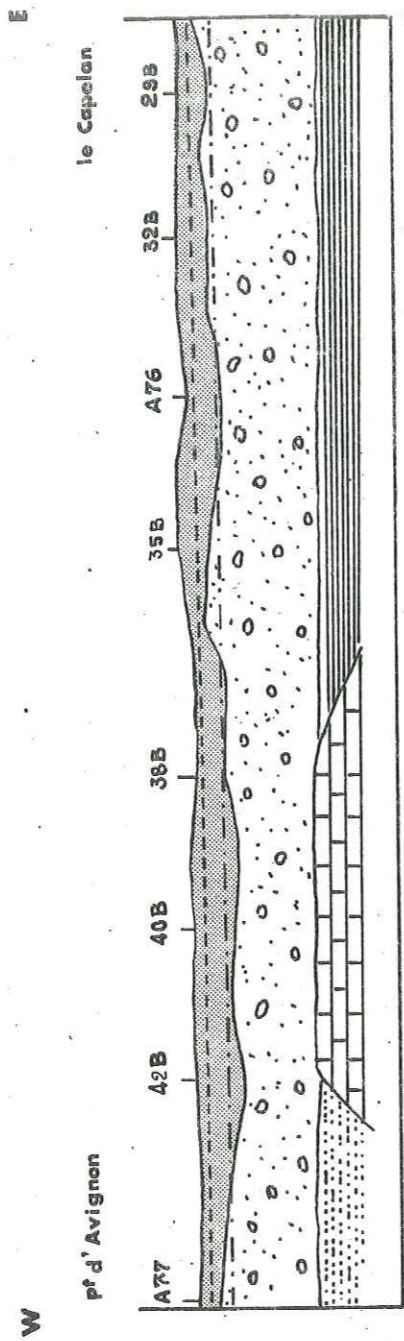
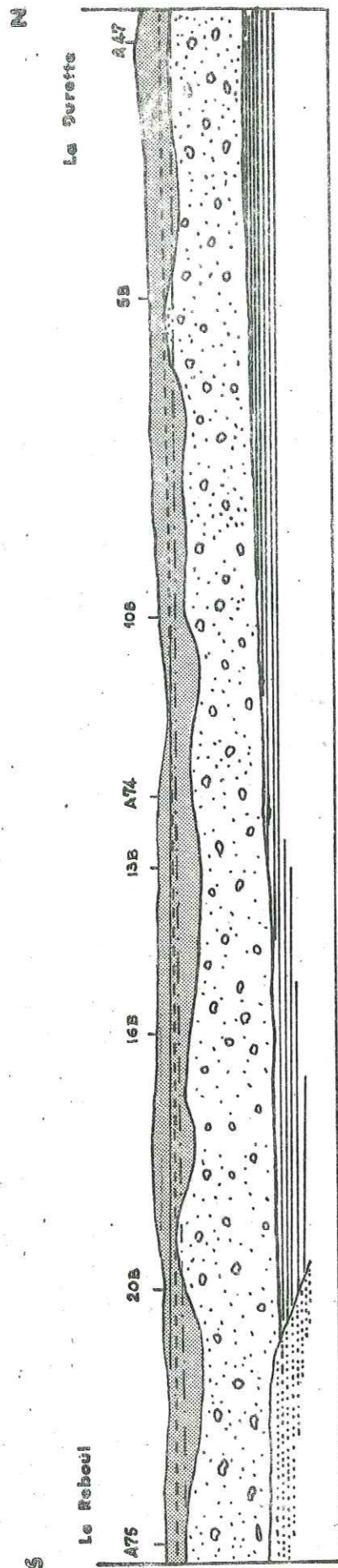
La carte géologique du substratum (cf. fig. 18) fait ressortir une surface très importante de terrains helvétiques à tendance marneuse ou sablo-argileuse, donc peu perméables, voire même imperméables.

Les "môles" de calcaire crétacé qui se dégagent localement des ensembles précédents devraient, à priori, présenter une perméabilité plus marquée et il est possible que des fuites aient lieu dans les calcaires fissurés ou karstifiés.

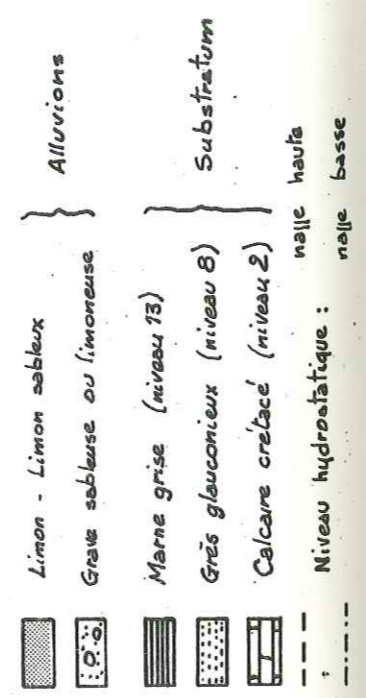


Répartition des sédiments dans les alluvions récentes

Ile de la Barthelasse



Echelles:
 hauteurs : 1/1000
 longueurs : 1/10.000



II - 3 - Comblement alluvial

II - 3 - 1 - Nature du remplissage

Comme nous l'avons vu plus haut, le remplissage alluvial, que ce soit les terrasses ou les alluvions récentes, est représenté par des niveaux graveleux et sableux.

En bordure du cours du Rhône malgré les nombreux sondages ayant recoupé des formations alluviales meubles, il n'est pas possible de différencier la granulométrie des éléments, le mode de forage ne permettant pas de prélever un matériau représentatif.

Signalons que dans l'ensemble les alluvions modernes sont constituées de graviers sableux à passées sableuses.

En surface, des sables limoneux ou des limons correspondent aux "limons de débordements" et peuvent atteindre plusieurs mètres de puissance.

Enfin, au contact même du substratum, nous avons pu remarquer que les alluvions étaient souvent représentées par un sable, peu ou pas graveleux.

II - 3 - 2 - Epaisseurs des alluvions

Dans les zones prospectées par sondages l'épaisseur des alluvions fluviales est essentiellement variable.

A titre d'exemple nous avons figuré plusieurs coupes établies dans les alluvions du Rhône à partir de sondages effectués à la tarière à moteur dans l'île de la Barthelasse et dans l'île de Piot.

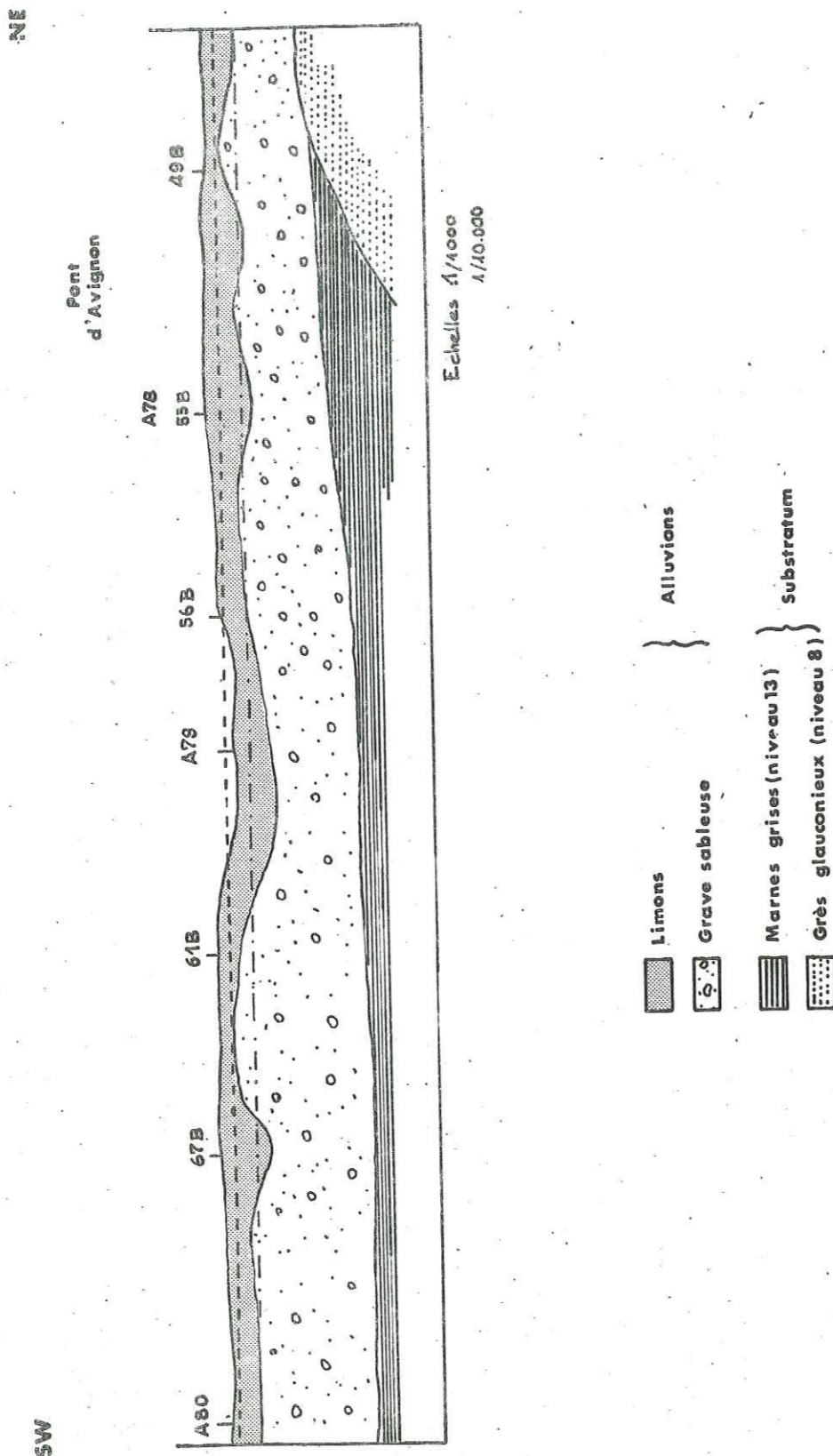
Ces coupes font surtout ressortir l'épaisseur des limons de surface. Sur toute la campagne de sondages nous avons pu noter les valeurs extrêmes suivantes : 1,80 m et 7,80 m.

Pour l'ensemble du bassin, du Nord au Sud, et sans distinction de nature de sédiments, nous avons :

- au droit même de Roquemaure, une épaisseur d'une trentaine de mètres d'alluvions, selon un axe nord ouest-sud est, dans le lit même du Rhône, ce qui signifierait un thalweg important traversant le substratum crétacé, et très certainement imputable à une fracture ;
- dans la pointe sud de l'île d'Oiselet se dessine une cuvette dont la profondeur moyenne est d'une vingtaine de mètres sous la cote du terrain naturel ;
- dans le coude du Rhône compris entre l'île d'Oiselet et l'île de la Barthelasse, une vaste surface est emplie d'alluvions récentes sur une épaisseur moyenne de 25 m. ;
- au delà (île de la Barthelasse), la cote du substratum remonte (0 à + 5 m NGF), ce qui nous donne une épaisseur d'alluvions de 10 à 15 m ;
- en aval d'Avignon de nouveaux thalwegs se dessinent, principalement entre Villeneuve et Avignon et à partir de la confluence Rhône-Durance dans le sens d'écoulement du fleuve. L'épaisseur des alluvions oscille entre 10 et 30 m.

Répartition des sédiments dans les alluvions récentes

Ile Ptot



III - ECOULEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE DES ALLUVIONS ENTRE ROQUEMAURE et AVIGNON

III - 1 - Données générales

Les chapitres précédents nous ont permis de fixer le cadre géologique de la région d'Avignon.

Nous résumerons ici la nature des terrains :

- le substratum, constitué pour la plus grande partie par des marnes ou des grès helvétiques imperméables, comprenant par places des "môles" de calcaire crétacé;

- les bordures du bassin :

la limite ouest, qui est surtout représentée par des massifs calcaires, localement relayés par des ensembles tertiaires ;

la limite est, qui est représentée par les collines miocènes depuis Châteauneuf-du-Pape jusqu'à Caumont ;

- les alluvions récentes qui emplissent la plaine de part et d'autre du fleuve. Ces alluvions comportent des épaisseurs de sable et de graviers comprises entre une dizaine de mètres et plus de trente mètres. Elles sont surmontées par des limons plus ou moins sableux de 2 à 8 m d'épaisseur que l'on peut considérer comme peu perméables au regard de la perméabilité des sables et graviers sous jacents.

L'étude du comblement alluvial a été limitée aux alluvions récentes proprement dites, seule formation sur laquelle nous possédons des résultats de sondages et d'observations piézométriques. Les "terrasses" ont été volontairement laissées de côté. Elles sont assez loin du cours du Rhône et n'ont pas fait l'objet d'études de la part de la C. N. R.

III - 2 - Perméabilités des sols

Des essais de perméabilité des différents terrains ont été effectués dans l'île de la Barthelasse sur des sondages représentés dans les coupes que nous avons figurées plus haut (cf. 22 et 23).

N° du sondage	Nature du sol	Profondeur (en m)	K (en m/s)
A. 74 B	Limon	0 à 12 m	$1,01 \cdot 10^{-4}$ à $1,2 \cdot 10^{-4}$
	Gravier argileux	12 à 13 m	$4,6 \cdot 10^{-4}$
	Gravier	13 à 16 m	$3,68 \cdot 10^{-3}$
A. 75 B	Limon	0 à 4,2 m	$4,9 \cdot 10^{-5}$
	Gravier argileux ou limoneux	5 à 14 m	$1,78 \cdot 10^{-4}$ à $9,2 \cdot 10^{-4}$
A. 76 B	Limon	4,5 à 5,5 m	$7,62 \cdot 10^{-5}$
	Gravier	8,5 à 13,5 m	10^{-2} à $2,85 \cdot 10^{-2}$
A. 77 B	Limon	4,5 à 5,5 m	$4,58 \cdot 10^{-5}$
	Gravier	14,5 à 15,5 m	$3,93 \cdot 10^{-3}$
A. 78 B	Limon	4,5 à 5,5 m	$1,58 \cdot 10^{-4}$
	Sables et graviers	6,5 à 21,5 m	$7,24 \cdot 10^{-5}$ à $K 10^{-2}$
A. 79 B	Limon	4,5 à 5,5 m	$9,77 \cdot 10^{-5}$
	Sables et graviers	6,5 à 15,5 m	$1,02 \cdot 10^{-4}$ à 10^{-2}
A. 80 B	Limon	5 à 6 m	$2,6 \cdot 10^{-4}$
	Sables et graviers	7 à 20 m	$1,58 \cdot 10^{-5}$ à $5,5 \cdot 10^{-3}$

A l'époque de notre étude les essais de perméabilité étaient concentrés dans ce secteur, restreint par rapport à l'ensemble du bassin. Les valeurs trouvées n'en donnent pas moins un aperçu sur les alluvions récentes et peuvent être considérées comme des généralités.

Nous donnons ci-contre un tableau des résultats obtenus.

De ces valeurs relativement dispersées on peut cependant formuler les remarques suivantes :

- les perméabilités des sols limoneux de surface oscillent entre $7,62 \cdot 10^{-5}$ et $1,58 \cdot 10^{-5}$ m/s, ce qui représente une perméabilité relativement élevée pour des sols fins, et laisse présumer un pourcentage élevé de sable.

Ces "limons" seraient donc des sableux limoneux.

- en profondeur, comme il est normal, vu la nature graveleuse et sableuse des terrains, les perméabilités peuvent atteindre 10^{-2} m/s et plus ce qui signifie des graviers relativement crus ;

- la valeur de perméabilité la plus basse mesurée est de $1,58 \cdot 10^{-5}$ m/s, ce qui situe le matériau testé à la limite des sables et des silts. On voit donc qu'en aucun cas on n'a trouvé d'ensemble à très faible perméabilité correspondant à des limons ou à des argiles.

III - 3 - Caractéristiques générales de la nappe phréatique des alluvions récentes

Dans la région étudiée la Compagnie Nationale du Rhône a créé un réseau artificiel de 380 piézomètres afin de surveiller les variations de la nappe phréatique. Cette disposition permet d'avoir un point d'observation tous les 3 à 400 m.

Pour des raisons pratiques il ne nous a pas été possible de donner l'implantation de tous les piézomètres, mais simplement des plus caractéristiques.

Nous avons figuré en outre trois cartes piézométriques pour l'année 1963 et l'année 1962.

- Une carte en basses eaux, nappe basse du 30 octobre 1963 ;
- une carte représentant la nappe dans un état moyen, correspondant au 28 juin 1962 ;
- une carte de "nappe haute" le 20 juin 1963.

Fig. 24

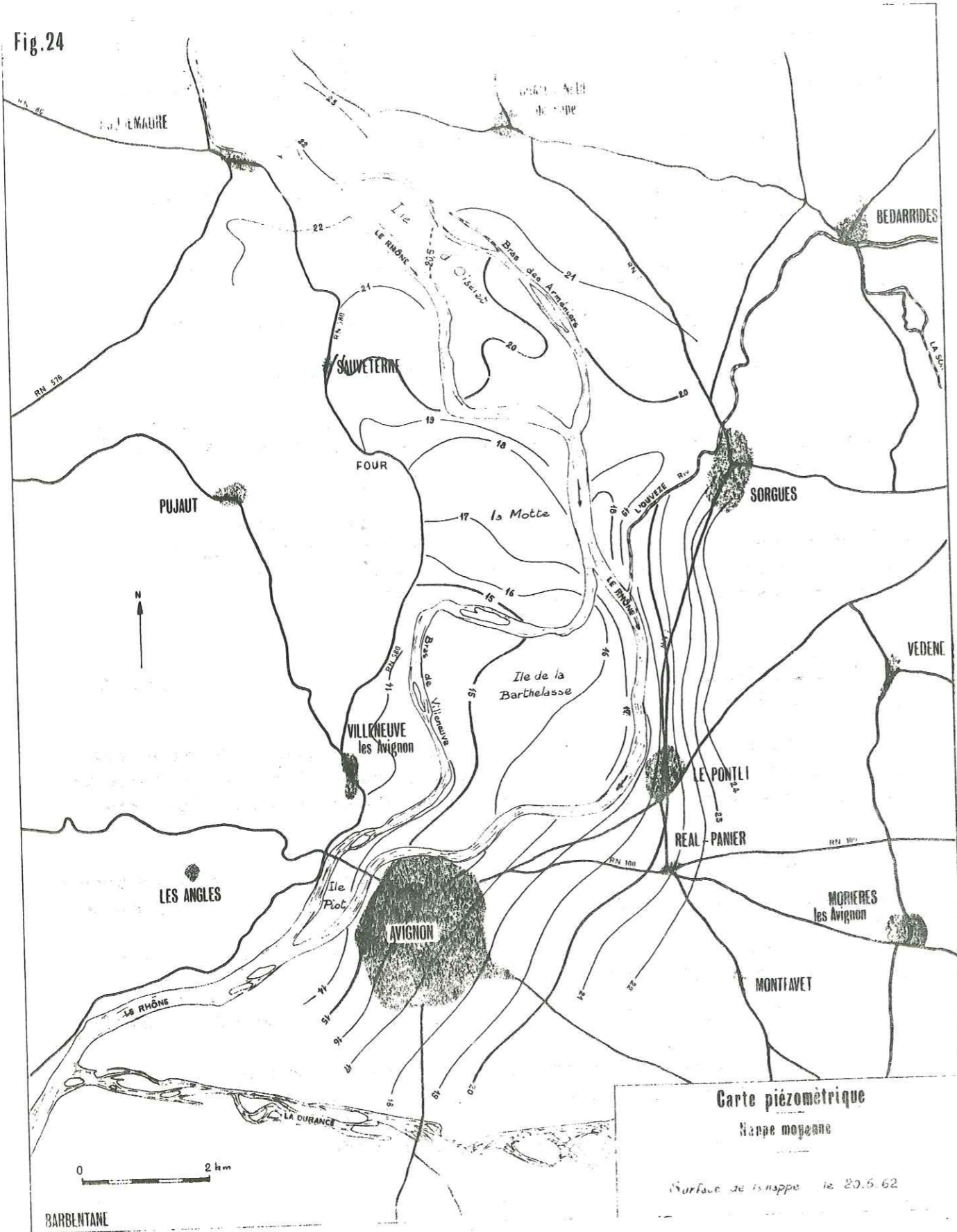


Fig. 25

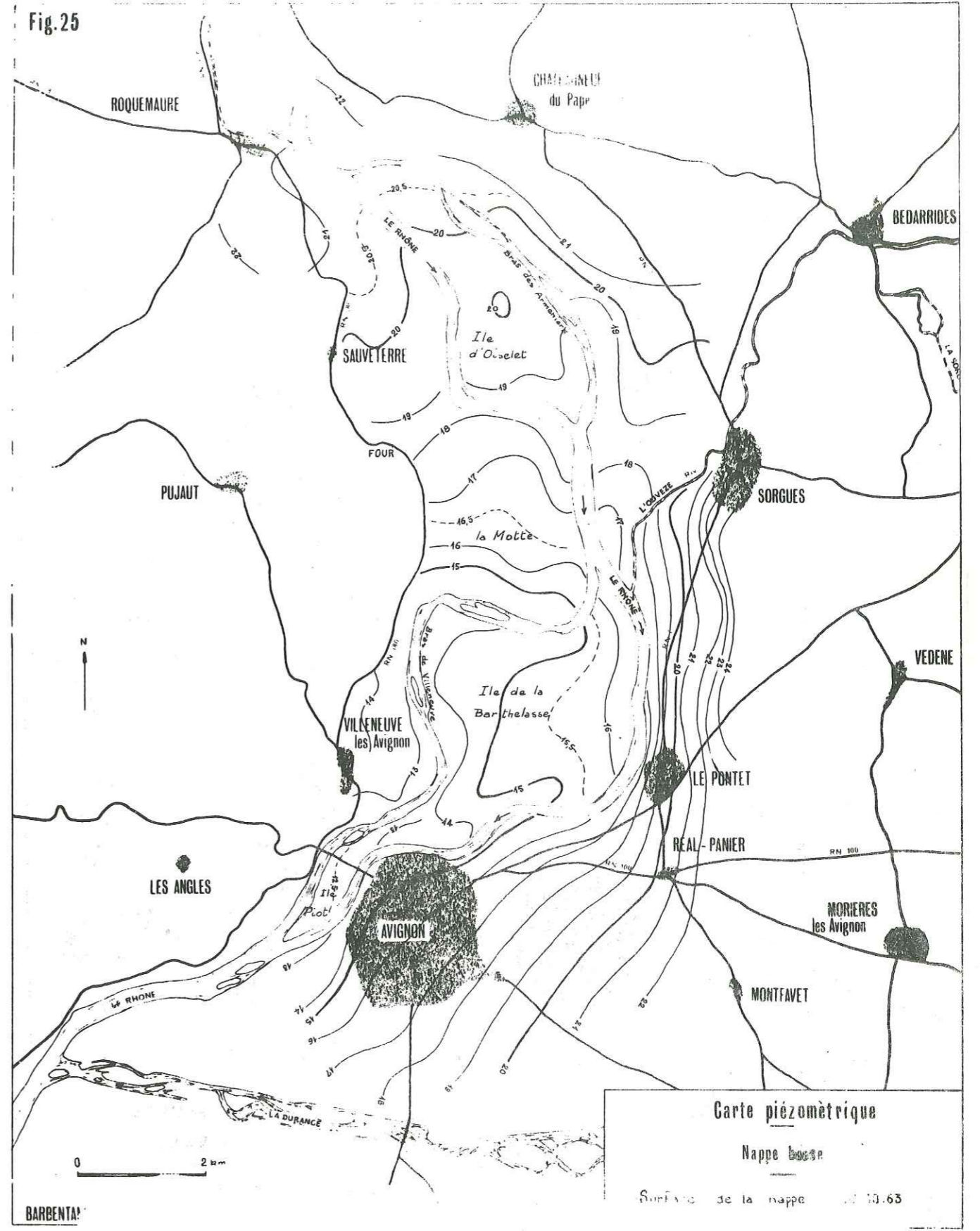
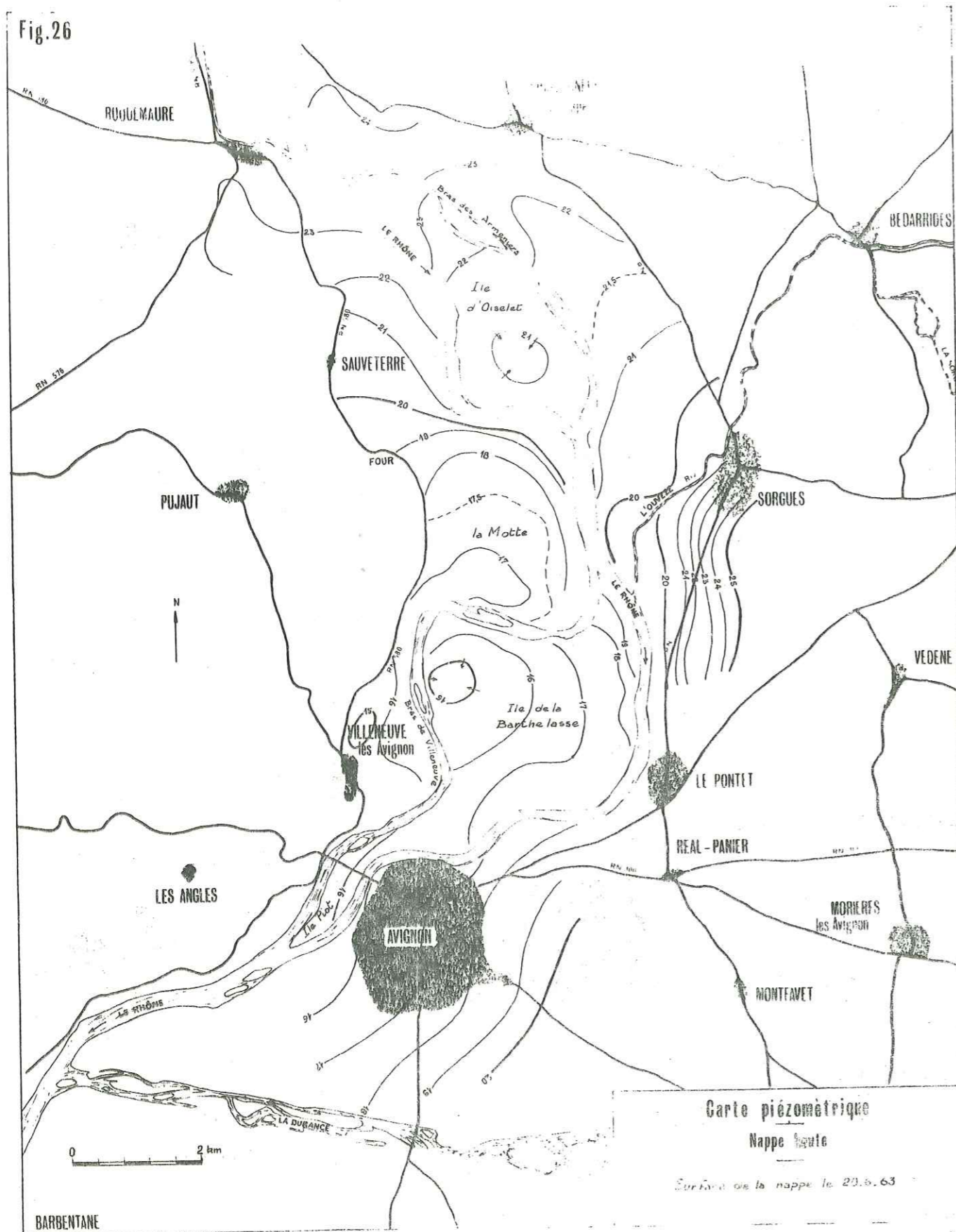


Fig. 26



III - 4 - Caractéristiques générales de l'écoulement

Si nous nous reportons à la carte de la nappe moyenne (cf. fig. 24) nous pouvons définir les grands traits de l'écoulement de la nappe, nous réservant d'étudier plus particulièrement des secteurs différenciés dans les paragraphes qui suivent :

Nous remarquons :

- en rive droite, un écoulement grossièrement parallèle à celui du Rhône entre Roquemaure et l'île de la Barthelasse, puis à l'aval une alimentation venant des reliefs en direction de la vallée ;
- en rive gauche, une alimentation provenant de la plaine alluviale et s'écoulant en direction du fleuve, perpendiculairement à son cours. Au Sud du bassin, à proximité d'Avignon, les courbes isopièzes ne semblent pas être influencées par le cours de la rivière ;
- dans les îles (île d'Oiselet, île de la Barthelasse), l'écoulement de la nappe est sous la dépendance directe du fleuve, avec transfert d'un bras à l'autre.

III - 5 - Etude détaillée des différents secteurs

Nous avons divisé la plaine alluviale en secteurs séparés par des limites naturelles. Ces limites sont constituées par les bordures des massifs qui encadrent le bassin et par le cours du Rhône.

Le lecteur se reportera d'une part à la carte schématique figurant les diverses zones définies, d'autre part aux trois cartes représentant la nappe phréatique à différentes périodes caractéristiques soit :

- la "nappe haute" du 20 juin 1963
- la "nappe moyenne" du 28 juin 1962
- la "nappe basse" du 30 octobre 1963.

III - 5 - 1 - Zone 1
(rive droite du Rhône, de Roquemaure à l'extrémité de "la Motte")

- Caractéristiques générales

Cette zone se présente comme une plaine bordée à l'Est par le Rhône et à l'Ouest par des reliefs crétacés et miocènes bien marqués, sauf entre Roquemaure et Truel où les sables astiens ont déterminé une topographie molle de collines peu élevées enserrées entre deux massifs calcaires.

Le réseau d'écoulement superficiel comprend divers canaux d'alimentation utilisés pour l'irrigation ("roubines") et dans la région de "la Motte" des délaissés du Rhône ("lônes) particulièrement nets.

Il n'existe aucun sondage mécanique dans cette zone. La prospection géophysique a permis de distinguer deux massifs crétacés, le reste du substratum devant être représenté par des ensembles miocènes ou pliocènes.

La topographie du substratum laisse voir :

- au Nord, deux "bassins" à pente dirigée vers le Nord Est (plaine de l'Hers, Sauveterre) séparés par une remontée du substratum calcaire et s'ouvrant sur un bas fond au droit du Rhône.;

- au Sud un "relief" calcaire, bordé dans sa partie sud est par une dépression profonde (la Motte) descendant à la cote -10 NGF).

Le remplissage alluvial peut varier de 12 à 29 m d'épaisseur selon le point considéré.

- Caractéristiques hydrogéologiques

- Nappe moyenne

Dans la partie nord, la courbe isopièze 22, traduit un écoulement provenant de la région située entre Roquemaure et Truel (plaine de Lirac). Dans cette zone la nappe alluviale est alimentée par la nappe imprégnant les sables astiens. Le mur de cette nappe serait constitué par les argiles plaisanciennes venant stratigraphiquement immédiatement au-dessous.

Les courbes isopièzes situées plus en aval laissent voir une alimentation par le fleuve, alimentation très nette dans la région de "la Motte".

Signalons un axe de drainage entre Sauveterre et Four, il est influencé par un canal s'écoulant en surface.

L'écartement des isopièzes est très variable. Les courbes 22, 21, 20, sont environ à 1 000 m, ce qui nous donne un gradient hydraulique $i = 0,001$. Les courbes 19 et 18, au bord du Rhône sont séparées de 200 m ($i = 0,005$) ce que l'on peut attribuer à un débit plus important. Enfin l'écartement des courbes 18, 17, et 16, (jusqu'à 1 200 m) gradient $i \leq 0,001$ doit être la conséquence de la plus forte perméabilité des alluvions dans ce secteur.

En bordure du bras de Villeneuve l'espacement plus faible correspond certainement à des dépôts de sols plus limoneux. La pente du substratum ne semble pas influencer sur l'écoulement de la nappe.

- Nappe basse

La partie nord de la zone 1 (Roquemaure - Four) laisse voir une alimentation encore plus marquée venant de la plaine de Lirac. L'écoulement de la nappe se fait à la fois en direction du Rhône et vers la partie sud.

La partie sud reçoit une double alimentation en provenance de la plaine de l'Hers et du fleuve pour se déverser dans la branche est-ouest du bras de Villeneuve.

- Nappe haute

L'influence du Rhône devient prédominante. Si la courbe 23 laisse encore voir un écoulement en provenance de la plaine de Lirac, la forme des isopièzes situées plus à l'aval traduisent une alimentation de la nappe par le fleuve avec drainage en bordure du massif.

III - 5 - 2 - Zone 2 (Ile d'Oiselet)

L'île d'Oiselet, est limitée à l'Ouest par le cours principal du Rhône et à l'Est par le bras des Arméniers. Le relief est pratiquement plat, les différences d'altitudes étant de quelques mètres au maximum.

- Conditions géologiques

- Substratum. Il est représenté par les marnes grises compactes (niveau 13) surmontées au milieu de l'île par la molasse et les grès verts (niveaux 14 et 15).

- Alluvions. Leur composition est mal connue eu égard au nombre limité de sondages et à l'absence de sondages à la tarière. Leur épaisseur moyenne est d'une vingtaine de mètres.

- Nappe moyenne. En période stable, nous remarquons une alimentation venant du cours principal du fleuve en direction du bras des Arméniers, l'écoulement se faisant selon une orientation nord-ouest-sud-est.

L'espacement des isopièzes laisse supposer une forte perméabilité des alluvions en place.

L'inflexion de la courbe 20 dans l'extrémité sud-ouest de l'île décèle un axe de drainage important. Il semble prolonger l'axe du cours principal en direction du point de confluence. Il peut correspondre à un ancien cours du Rhône ou à une hétérogénéité dans les alluvions. Il est curieux de remarquer qu'en cet endroit précis le substratum a tendance à remonter.

- Nappe basse. En période d'étiage il y a inversion dans l'écoulement de la nappe avec transfert depuis le bras des Arméniers jusqu'au cours principal.

- Nappe haute. Il y a alimentation plus forte depuis le cours principal. La dépression de la surface piézométrique (courbe 21) pourrait avoir deux causes :

- dépression du substratum
- lentille imperméable

Or la carte du substratum en cet endroit (cf. plan, fig. 18) nous montre qu'il n'y a pas de dépression mais plutôt une remontée. Il ne reste donc que l'éventualité d'alluvions moins perméables.

III - 5 - 3 - Zone 3 (Châteauneuf-du-Pape - Terre Ferme - St-Louis)

- Conditions géologiques

Sur les bords du bassin affleure l'Helvétien gréseux et argilo-sableux, partiellement recouvert par les hautes et moyennes terrasses. Le relief descend en pente douce vers la vallée du Rhône.

- Substratum. La pente générale suit approximativement celle du terrain naturel en direction du bras des Arméniers (résultats obtenus par la prospection géophysique).

L'absence de sondages dans ce secteur ne permet pas de connaître la nature géologique de ce substratum.

- Conditions hydrogéologiques

- Nappe moyenne. Les courbes 20 et 21 marquent assez bien le sens de l'écoulement depuis la bordure des collines de Châteauneuf-du-Pape jusqu'au cours du Rhône. En cette période le gradient hydraulique est d'environ 0,0007 ce qui représente une valeur très faible, d'où une forte perméabilité. Notons que dans cette zone la nappe s'écoule à la fois dans la très basse terrasse et dans les alluvions récentes.

- Nappe basse. Nous constatons la même direction d'écoulement des bordures vers la vallée perpendiculairement au cours du fleuve. Le gradient hydraulique, fortement augmenté entre les courbes 19 et 20 ($i \approx 0,005$ signifierait une influence plus marquée de la pente du substratum).

- Nappe haute. La configuration des courbes isopièzes a complètement changé. L'écoulement de la nappe se fait maintenant en direction de la vallée de l'Ouvèze perpendiculairement à la direction précédente.

Notons une alimentation double :

- par le Rhône dans la partie sud-ouest de la zone
- par les versants, principalement au Sud de Châteauneuf-du-Pape.

Plus au Nord notons une déformation de la courbe 24, déformation due à une alimentation importante venant de Lampourdier.

III - 5 - 4 - Zone 4 (Vallée de l'Ouvèze - Sorgues - le Pontet)

- Conditions géologiques

Les affleurements bordant la vallée au Nord et à l'Est sont représentés par les collines miocènes (Helvétien gréseux et sablo-argileux) surmontées et bordées par les terrasses alluviales.

La prospection géophysique a permis de vérifier la remontée du substratum et de déceler un thalweg dans le triangle formé par l'Ouvèze et le Rhône au Sud Ouest de Sorgues.

L'épaisseur des alluvions serait approximativement de 5 à 10 m dans la vallée de l'Ouvèze. Ailleurs nous ne disposons d'aucun renseignement précis.

- Conditions hydrogéologiques

- Nappe moyenne. Un axe de drainage est très marqué par les courbes 18 et 19 en rive droite de l'Ouvèze. Il correspond vraisemblablement à un ancien cours de la rivière comblé par des matériaux drainants. Il est d'ailleurs logique que l'affluent ait reporté son point de confluence plus à l'aval.

Dans la zone située entre Sorgues et le Pontet les courbes piézométriques sont parallèles au cours du fleuve, la nappe se déverse dans le Rhône.

Les courbes sont très "serrées". Cette disposition doit être en liaison avec la topographie du substratum plutôt qu'avec une plus faible perméabilité des alluvions. Il est dommage que nous ne disposions d'aucune prospection dans ce secteur pour venir confirmer cette hypothèse.

Le gradient hydraulique serait de 0,005 à 0,0025.

- Nappe basse. Les courbes présentent à peu près la même disposition :

- drain en rive droite de l'Ouvèze
- écoulement est-ouest vers la vallée du Rhône entre Sorgues et le Pontet, avec courbes très rapprochées.

- Nappe haute. En rive droite de l'Ouvèze nous remarquons un écoulement depuis le Rhône, la nappe venant se déverser dans l'Ouvèze.

Plus au Sud (le Pontet) le sens d'écoulement est sensiblement le même que précédemment.

III - 5 - 5 - Zone 5 (le Pontet - Avignon)

- Conditions géologiques

Cette région n'a été prospectée ni par géophysique ni par sondages. D'après quelques renseignements issus de documents anciens (L. JOLEAUD) il apparaît cependant que le substratum doit être représenté par des ensembles marneux de l'Helvétien inférieur (marne bleue). Cet Helvétien représenterait le mur de la nappe.

L'épaisseur des alluvions serait de l'ordre de 20 m à Avignon pour atteindre quelques mètres dans le secteur Montfavet - Morières.

- Conditions hydrogéologiques

- Nappe moyenne. Les courbes isopièzes sont la prolongation de celles de la zone précédente après une inflexion au droit du Pontet.

L'écoulement de la nappe phréatique se fait selon une direction sud est - nord ouest perpendiculairement au cours du Rhône.

Alors que dans la zone précédente les courbes serrées traduisaient une remontée du substratum, ici l'espacement, avec un gradient moyen de 0,0016 traduit un écoulement régulier. La nappe montre un écoulement sub-parallèle au cours de la Durance.

- Nappe basse. Les caractéristiques de la nappe sont sensiblement les mêmes.

- Nappe haute. Le sens d'écoulement se fait toujours dans la même direction.

III - 5 - 6 - Zone 6 (Villeneuve-les-Avignon)

- Conditions géologiques

Les "limites" occidentales de cette portion du bassin sont représentées par les affleurements crétacés (calcaires) et miocènes (sable et molasse). Le substratum est varié. En bordure de mûles calcaires se sont déposés des ensembles molassiques et marneux. La partie nord n'a pas été reconnue par sondages.

La topographie du substratum indique une remontée régulière jusqu'au pied des affleurements.

L'épaisseur des alluvions est d'une dizaine de mètres en moyenne.

- Conditions hydrogéologiques

- Nappe moyenne. La courbe isopièze 14 doit suivre relativement bien le substratum et décèle une alimentation venant de la bordure des massifs. L'helvétien dans ses parties les plus sableuses doit représenter un niveau favorable aux infiltrations avec déversement dans la nappe. Le "gonflement" de la courbe autour du Fort St-André doit être en relation avec la nature calcaire des affleurements et du substratum.

Il n'y a aucune influence du Rhône, mais déversement de la nappe dans le fleuve.

- Nappe basse. Les conditions sont à peu près similaires. Il y a toujours alimentation du fleuve par la nappe.

- Nappe haute. Nous remarquons une inversion complète du régime d'écoulement. Le Rhône se déverse dans la nappe qui présente une courbe fermée au Nord de Villeneuve.

Cette dépression dans le toit de la nappe peut avoir pour origine :

- des pertes dans le substratum
- une dépression du substratum
- des alluvions moins perméables en ce point.

Il n'est malheureusement pas possible de trancher en l'absence de sondages.

III - 5 - 7 - Zone 7 (Ile de la Barthelasse - Ile de Piot)

- Conditions géologiques

L'île de la Barthelasse représente une des parties les mieux connues de notre étude. En effet, aux sondages carottés effectués pour reconnaître le substratum se sont ajoutés des sondages à la tarière permettant de définir la nature des alluvions récentes.

Le substratum est représenté, pour la majeure partie par la marne grise compacte (niveau 13) interrompue au Sud par une remontée du calcaire crétacé. Sa topographie est relativement peu accentuée, avec des variations de cote de l'ordre du mètre. Les alluvions sont constituées :

- en surface par des limons sableux, d'épaisseur variable (cf. fig. 22, 23 ci-avant)
 - en profondeur, par des graves sableuses et des sables.
- L'épaisseur moyenne de ces alluvions est de l'ordre d'une quinzaine de mètres.

Les perméabilités relatives des différents types de sols ont été notées (cf. p. 59).

Le substratum s'abaisse progressivement en direction de l'île de Piot.

- Conditions hydrogéologiques

- Nappe moyenne. L'écoulement se fait sensiblement d'Est en Ouest, avec une pente faible (gradient hydraulique -0,0008). Il y a déversement depuis le cours principal du Rhône jusqu'au bras de Villeneuve.

La nappe est légèrement en charge (toit moins perméable que les graviers imprégnés), d'autre part la pente du substratum imperméable est faible. Ces deux faits contribuent à donner un écoulement avec une perte de charge très étalée.

Les isopièzes se ressèrent dans la partie sud où le substratum a une pente plus marquée (pointement calcaire).

- Nappe basse. Il y a toujours transfert depuis le cours principal jusqu'au bras de Villeneuve.

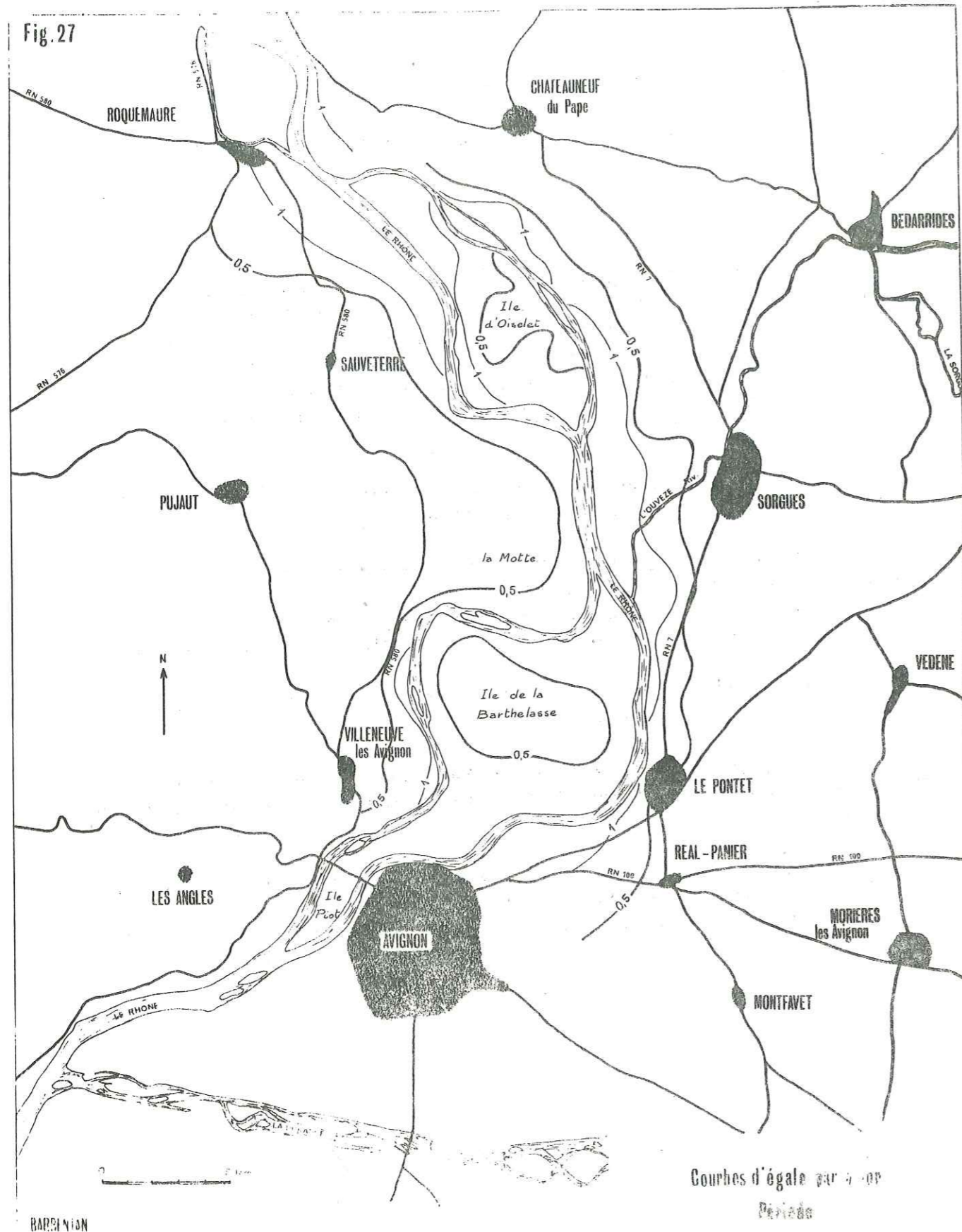
Un axe de drainage apparaît dans la partie sud de l'île, il pourrait correspondre à un ancien cours remblayé d'alluvions plus perméables.

Dans l'île de Piot le sens d'écoulement est toujours le même, cours principal - bras de Villeneuve.

- Nappe haute. Les courbes isopièzes ont leur convergence dirigée vers la partie nord-ouest de l'île traduisant un drainage important vers cette zone.

Il y a à la fois alimentation depuis le cours principal et par la branche supérieure (est-ouest) du bras de Villeneuve.

Dans l'île de Piot le sens d'écoulement n'a pas varié.



IV - 1 - Courbes d'égale variation de la nappe phréatique

- But de la méthode

Dans une période déterminée, correspondant à une différence de cote du niveau de base très nette (ici les variations du Rhône) on note les variations piézométriques.

Il est alors possible de joindre les points d'égale variation des piézomètres et d'obtenir des courbes suivant lesquelles on peut définir des zones différentes correspondant à des "familles" de piézomètres. Dans ces familles les variations de piézomètres sont comparables.

Nous avons choisi trois périodes distinctes qui correspondent aux variations du Rhône suivantes :

- Période 1

C'est un intervalle de temps relativement court (1 mois, du 16 janvier au 12 février) pendant lequel le Rhône a décliné depuis 2 m pour remonter à 1,75 m en fin de période.

- Période 2

Elle correspond à une montée du fleuve depuis la cote de 0,57 m au début mars jusqu'à la cote 2,80 m à la fin du mois, après une pointe de 3,70 m.

- Période 3

Étalée sur six mois et demi (du printemps à l'automne) cette période correspond à la décrue du Rhône depuis la crue de la mi-avril jusqu'à l'étiage de la fin octobre, ce qui signifie une différence de niveau de 4,50 m entre les deux mesures extrêmes.

- Période 1 (16 janvier - 12 février 1963)

Cotes du Rhône à l'échelle aval du Pont d'Avignon :

- 16 janvier : 2,00 m
- 31 janvier : 0,70 m
- 12 février : 1,75 m

A partir des variations piézométriques pendant cette période nous avons pu tracer les courbes caractéristiques -0,5 et -1.

Si nous considérons la courbe -0,5 comme limite nous pouvons définir deux zones :



- une zone en bordure du fleuve où les valeurs sont inférieures à -0,5, ce qui suppose les variations les plus importantes.

Nous noterons que cette zone inclut :

- la plaine au Sud de Roquemaure
- l'île d'Oiselet
- le "triangle" Ouvèze-Rhône
- l'île de Piot et le Sud de l'île de la Barthelasse ;

- des zones où les variations sont supérieures à la valeur -0,5 et qui correspondent d'une part aux "limites" du bassin, d'autre part à :

- la plaine Sauveterre-la Motte
- le centre de l'île de la Barthelasse
- la plaine Châteauneuf-du-Pape - Sorgues - le Pontet.

On remarque donc que l'influence du Rhône sur la nappe est relativement bien délimitée. Il est intéressant de noter que cette influence est très peu marquée dans la région de "la Motte" et dans l'île de la Barthelasse, alors que la nappe imprégnant les alluvions de l'île d'Oiselet "répond" parfaitement aux variations du fleuve.

- Période 2 (8 mars - 28 mars)

Cotes du Rhône à l'échelle aval du Pont d'Avignon :

8 mars : 0,70 m

28 mars : 2,80 m

Tendance à la hausse.

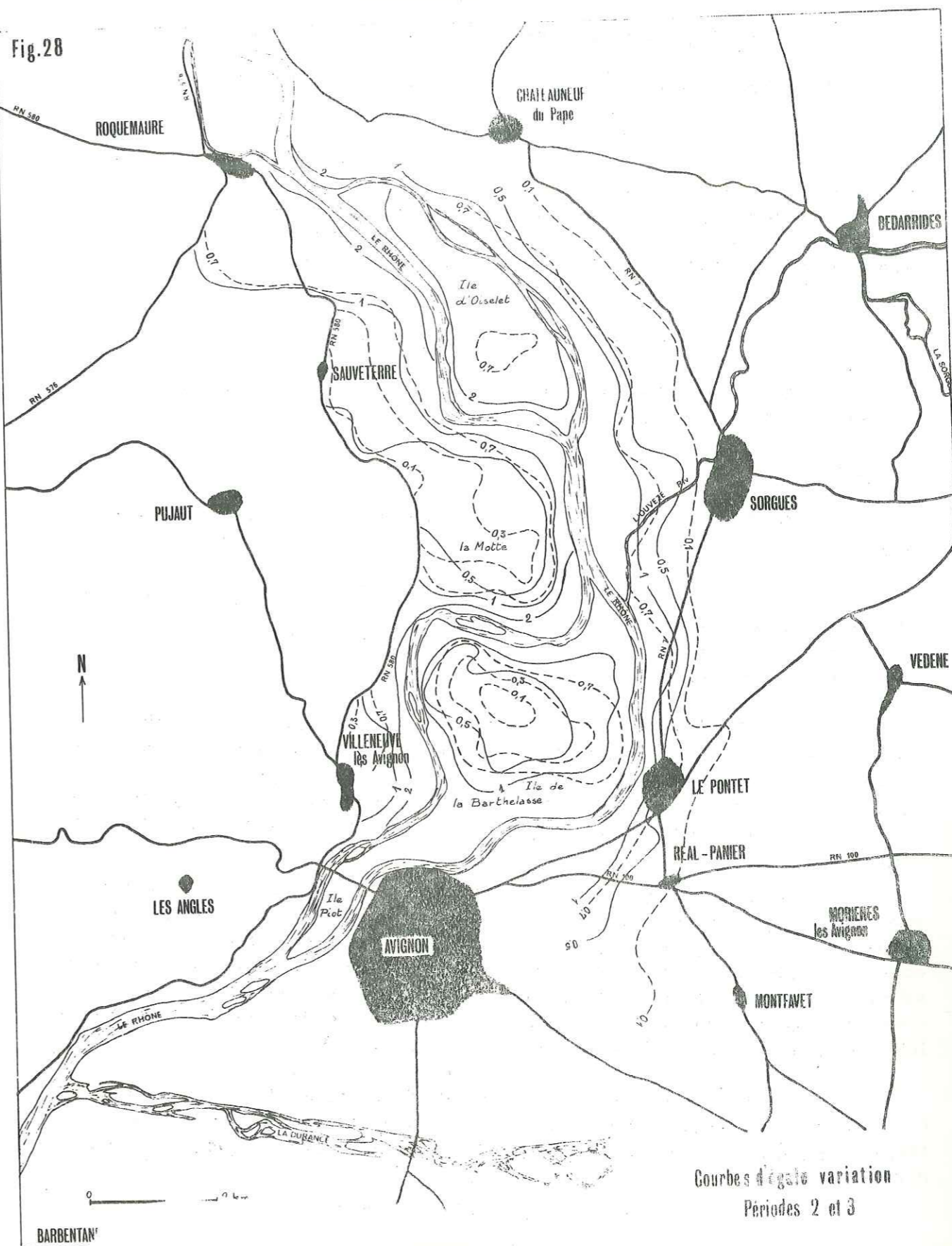
Cette période est intéressante en ce sens qu'elle correspond à une remontée du niveau d'eau dans un laps de temps relativement court (20 jours).

Les relevés piézométriques nous ont permis de tracer les courbes de variations entre 0,1 et 0,7.

Au vu de ces courbes nous pouvons délimiter les mêmes zones que précédemment.

Nous y ajouterons, dans les secteurs où les variations sont inférieures à 0,7, c'est-à-dire la Motte et l'île de la Barthelasse :

- pour la Motte, un secteur centré sur la "lône" où les variations sont très faibles bien que les piézomètres soient proches du fleuve ;
- dans l'île de la Barthelasse, une zone centrale très peu influencée.



- Période 3 (12 avril - 30 octobre)

Cotes du Rhône à l'échelle aval du Pont d'Avignon :

12 avril : 4,65 m

30 octobre : 0,15 m

A notre avis cette période est la plus significative. En effet, elle enregistre une descente du niveau du Rhône, avec diverses fluctuations, depuis une pointe importante jusqu'à l'étiage. Cette période correspond au plus grand écart mesuré dans les niveaux du fleuve et à l'avantage, vu le grand écart de temps de tenir compte des temps de réponse de la nappe vis à vis du fleuve.

Les courbes caractéristiques sont représentées sur la planche 28 ci-contre.

La courbe 1 serait considérée comme une limite qui définirait les zones précédemment reconnues.

CONCLUSIONS

De l'ensemble des "cartes des amplitudes" précédemment définies il ressort les constatations suivantes :

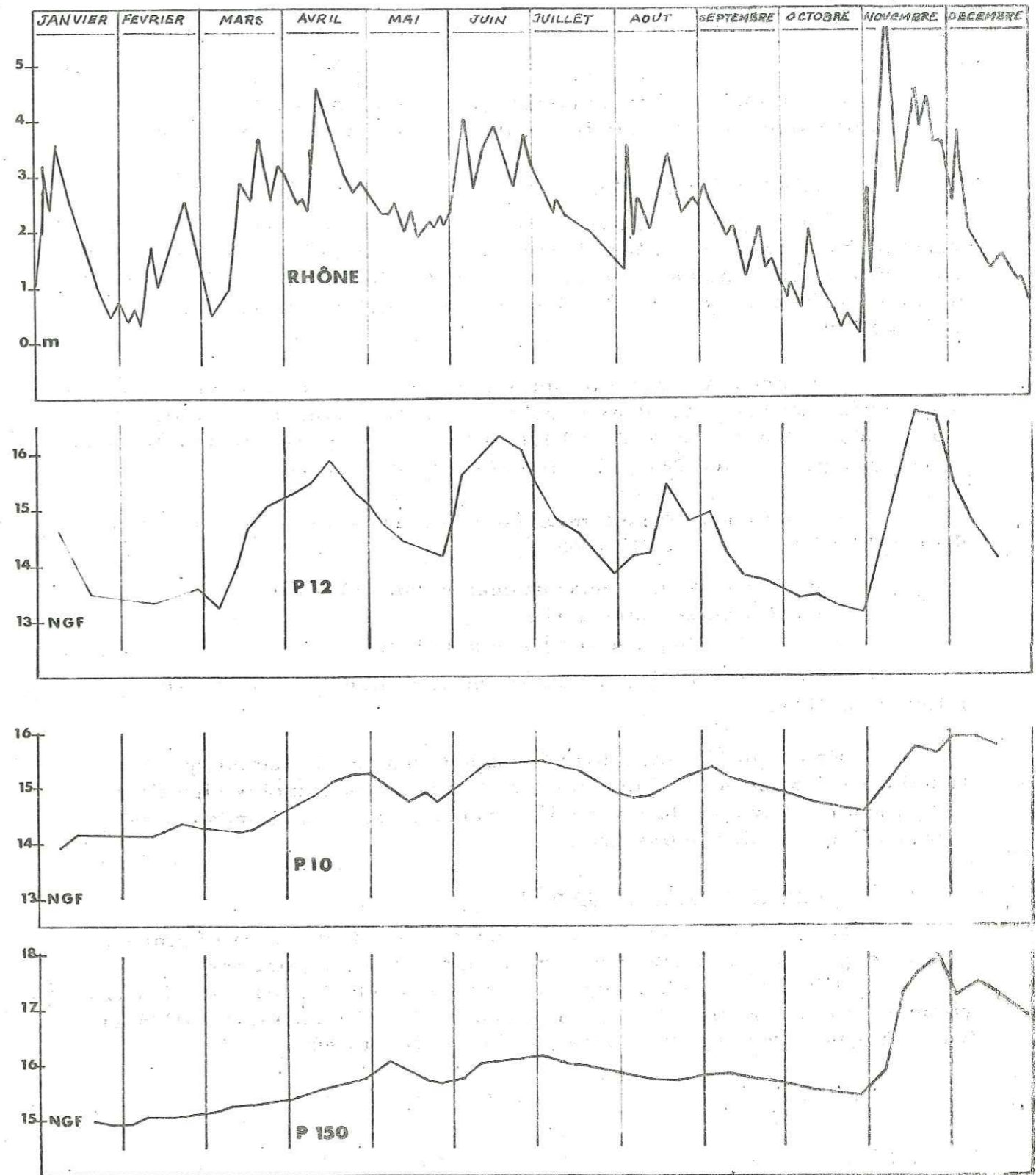
- la bande de terrain où la nappe phréatique est sous l'influence directe du Rhône semble parfaitement définie. Un "couloir" se dessine depuis Roquemaure jusqu'à la pointe orientale de l'île de la Barthelasse, englobant l'île d'Oiselet.;

- l'île de la Barthelasse est un secteur singulier. En effet, la nappe phréatique au centre de l'île réagit très peu aux variations du fleuve. Il paraît logique d'attribuer ce phénomène à une faible perméabilité des alluvions (nous avons vu plus haut que les limons de surface atteignent plusieurs mètres d'épaisseur). De plus la nappe est en charge, donc l'écoulement est moins aisé.;

- en rive droite, la région Sauveterre, Four, la Motte est une zone privilégiée où les amplitudes des variations sont toujours faibles (inférieures à -0,5 dans la 3e période). Si nous considérons que d'anciens cours du Rhône ont traversé cette région, il est possible qu'ils aient déposé une épaisseur importante d'alluvions peu perméables. D'autre part d'anciens méandres donnent lieu à une grande hétérogénéité dans les dépôts alluviaux, donc à une faible perméabilité transversale.;

- en rive gauche, dans la bande de terrains s'étendant entre Châteauneuf-du-Pape - Sorgues - le Pontet, on peut penser que la remontée du substratum imperméable soustrait la nappe phréatique à l'influence directe du Rhône.

Fig 20



Variations comparées des niveaux du Rhône
et de ceux de piezomètres caractéristiques pour

IV - 2 - Facteurs influant sur les variations de la nappe phréatique

A partir des remarques faites aux paragraphes précédents il nous a été possible d'isoler certains piézomètres dont les variations caractéristiques permettent de les assimiler à une influence bien particulière.

- Influence du Rhône

Nous avons porté sur la même figure, pour l'année 1963, les variations de niveau du Rhône d'une part, et les variations de niveau de trois piézomètres implantés dans la région de Villeneuve-les-Avignon et dans la Barthelasse (cf. pl. 29 ci-contre). Il s'agit des piézomètres P10, P12 et P150.

Une première constatation s'impose : l'allure générale des courbes représentatives varie dans le même sens mais avec des amplitudes de plus en plus atténuées du P12 au P150. D'autre part la réaction de la nappe s'accompagne d'un décalage. Il faut un "temps de réponse".

Ce fait apparaît nettement pour la montée de la cote du cours d'eau à la mi-avril (12 avril -4,60 m) :

- en P12 la pointe apparaît quatre jours plus tard
- en P10 seize jours après
- en P150, vingt-quatre jours plus tard.

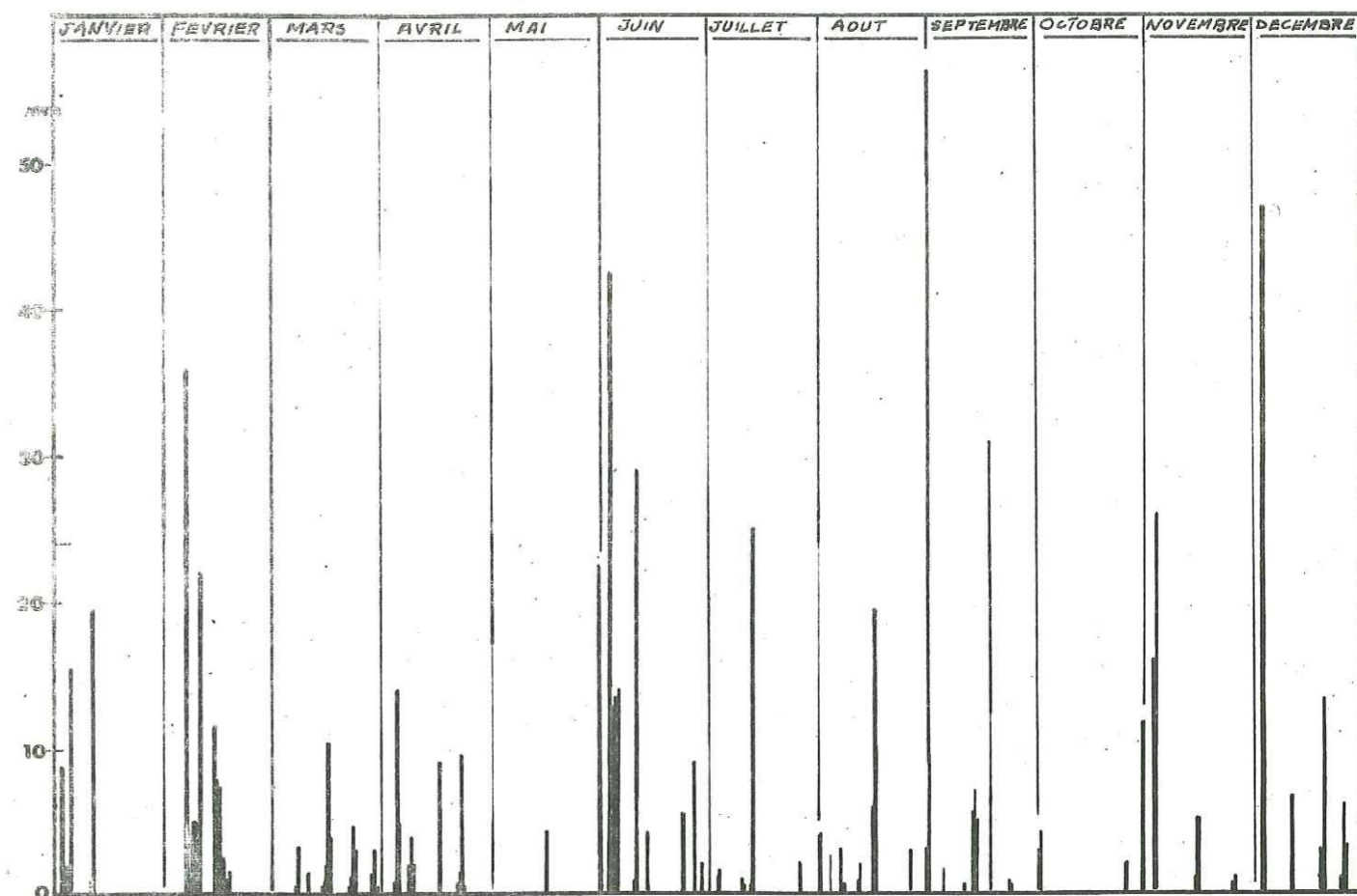
Ce piézomètre est sensiblement au centre de la Barthelasse, à 100 m du Rhône.

En ce qui concerne les périodes de baisse, il semble que les réactions soient beaucoup plus rapides et certainement moins significatives puisqu'il arrive que le niveau de la nappe baisse simultanément avec celui du fleuve, voire même avant.

- Influence de la pluviométrie

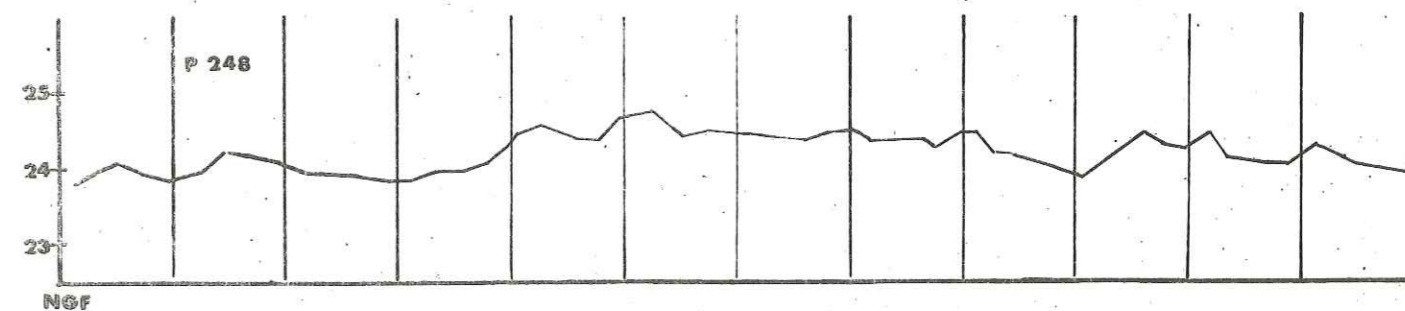
Comme nous l'avons vu plus haut, les variations du régime du Rhône ne suivent pas exactement les hauteurs des précipitations.

Afin d'estimer les répercussions de la pluviométrie sur les variations de la nappe phréatique nous avons choisi un piézomètre (P248 au Sud de Sorgues) qui soit en dehors de l'influence du Rhône.

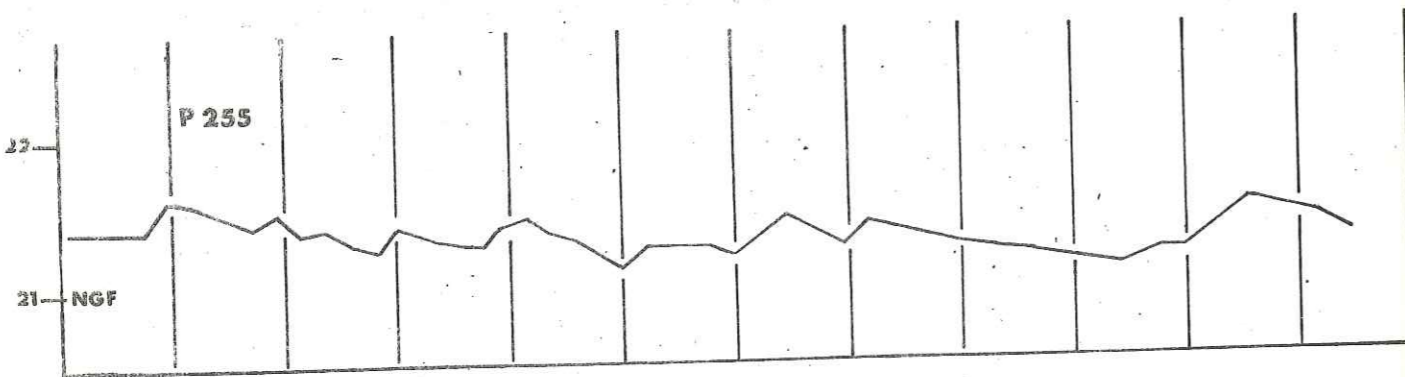
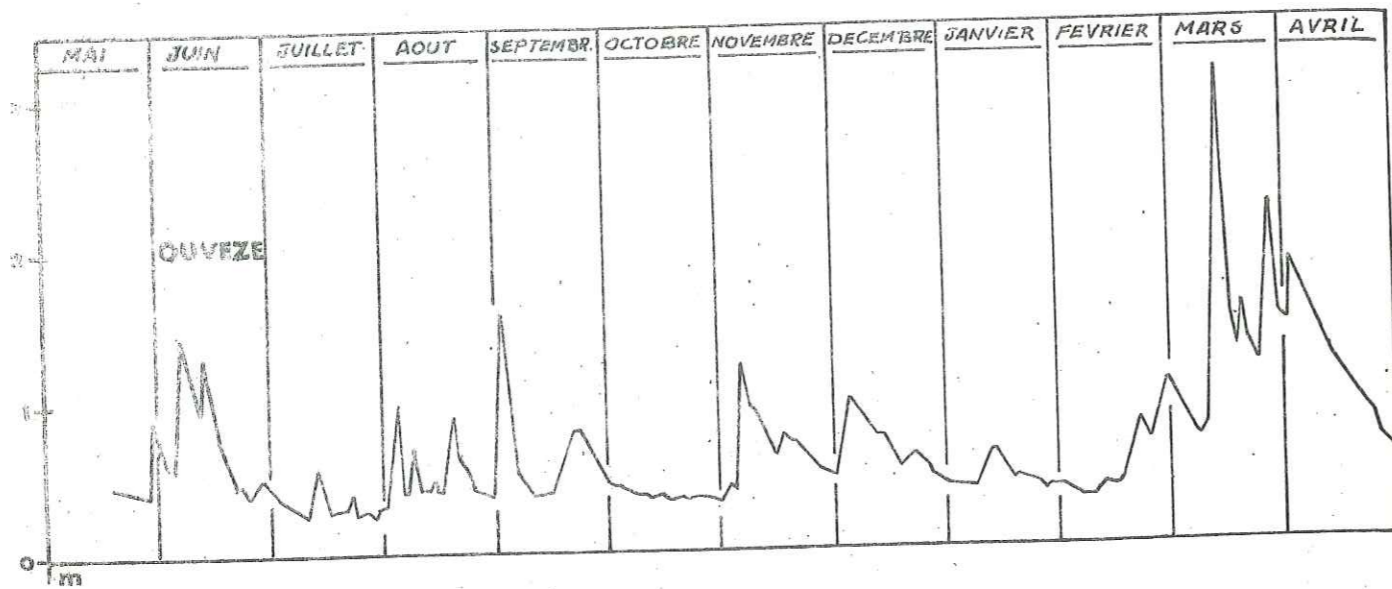


PLUVIOMETRIE

(Station de Montfavet - 1963)



Influence de la pluviométrie sur la nappe



Influence de l'Ouvèze sur la nappe

Les variations comparées des hauteurs d'eau tombées sur le bassin d'Avignon et du niveau hydrostatique dans ce piézomètre sont figurées sur la planche 30 ci-contre.

Notons d'abord que l'amplitude des variations de la nappe en cet endroit ne dépasse pas un mètre.

Nous remarquons en outre :

- la montée la plus importante fin mai-début juin, elle correspond à d'abondantes chutes de pluies ;
- la pointe du début novembre, très brève, après quatre jours de pluies avec redescente rapide, alors que le Rhône était en crue jusqu'à la fin du mois.

Une seule période discutable est celle qui intéresse les mois de mars et avril, relativement pluvieux, et pendant lesquels les variations de la nappe sont infimes au P248.

Peut-être devons-nous voir là une influence de l'Ouvèze.

- Influence de l'Ouvèze

Nous avons comparé les variations du plan d'eau de l'Ouvèze et du piézomètre 255 au Sud Ouest de Sorgues (cf. pl. 31 ci-contre).

Bien que de faible amplitude (moins de 0,50 m) les variations de la nappe en ce point sont un reflet fidèle des variations de la rivière. Le temps de réaction de la nappe est très rapide (de l'ordre de deux jours) nous attribuerons ce phénomène à la proximité du point de mesure.

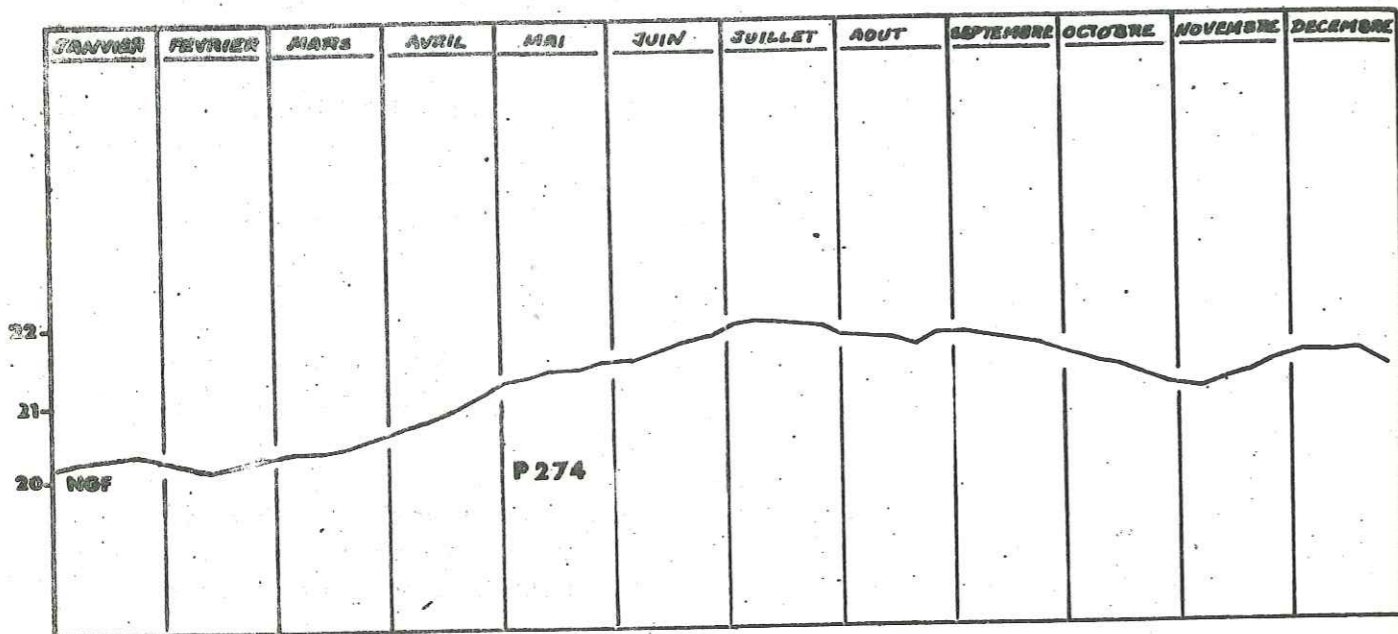
- Influence des irrigations

En considérant les variations des hauteurs d'eau dans les piézomètres de la région de Châteauneuf-du-Pape, un fait singulier avait attiré notre attention. Une partie des piézomètres est très nettement hors de l'influence du cours d'eau, mais en outre ils présentent les plus grandes hauteurs d'eau en plein été (juillet-août). L'été 1963 n'ayant pas été particulièrement pluvieux il faut donc admettre une autre explication.

Nous avons pu remarquer que cette région du bassin d'Avignon a une vocation maraîchère et que pendant la période sèche la culture exige une irrigation importante.

Nous attribuerons le maintien de la nappe à une cote haute au fait qu'elle est alimentée par les eaux d'irrigation.

Nous avons pris comme exemple le piézomètre P274. La courbe des variations de la nappe représente bien le phénomène (fig. 32).



Influence des irrigations
sur les variations
de la nappe

- Influence de la nappe de la Durance

Les renseignements que nous possédons sur la nappe phréatique qui s'écoule dans les alluvions apportées par la Durance, en rive droite, sont fragmentaires et incomplets.

Signalons cependant que cette nappe imprègne les alluvions au Sud Est d'Avignon (cf. cartes piézométriques) et que ses variations sont liées à celles du cours d'eau.

- Influence des versants

L'influence des eaux infiltrées depuis les collines de la rive gauche du Rhône (Châteauneuf-du-Pape, Sorgues - Vedène) ressort surtout sur les cartes piézométriques où l'on voit l'écoulement de la nappe se faire depuis les bordures jusqu'au niveau de base représenté par le fleuve.

Nous n'avons pas isolé de courbe particulière pour représenter cette influence des versants sur l'alimentation de la nappe. Il nous semble suffisant de tenir compte, des courbes piézométriques d'une part et des courbes d'égale variation d'autre part.

On peut se reporter en outre à la courbe de variations du piézomètre P248 qui représente assez bien les valeurs moyennes de cette influence.

L'alimentation de la nappe phréatique par les eaux infiltrées depuis les versants et sur les bordures de la plaine alluviale est prépondérante en période de stabilité. La pente du substratum peu perméable concourt à l'écoulement de la nappe vers le fleuve.

APOLONGE-RECHERCHES

CONCLUSIONS GENERALES

1 - STRATIGRAPHIE

Crétacé

Depuis les faciès marno-calcaires hauteriviens jusqu'aux faciès récifaux barrémo-aptiens, la stratigraphie est le reflet de l'évolution paléogéographique qui aboutit à l'émergence de l'isthme durancien dont nous avons ici la partie septentrionale. A ces faciès récifaux font suite les faciès détritiques gréseux qui débutent au gargasien (rencontré en sondages) et se poursuivent dans le Cénomaniens.

Miocène

Les domaines de la sédimentation miocène s'inscrivent dans un cadre cohérent ; la campagne de sondages est venue confirmer des hypothèses déjà émises. Nous avons fait appel à la microfaune pour essayer de caractériser les différents niveaux rencontrés.

Il nous semble qu'en faisant une étude micrographique plus détaillée des ensembles marneux il soit possible de dégager les associations faunistiques typiques des faciès de fond burdigaliens et helvétiques.

Pliocène

Dans le secteur étudié, les sondages n'ont jamais rencontré "la marne bleue pliocène", elle n'existe pas entre Aramon et Sauveterre.

La transgression plaisancienne a contourné par l'Ouest le massif Aramon - Villeneuve.

2 - HYDROGEOLOGIE

La nappe phréatique qui imprègne les alluvions du Rhône est l'exemple typique d'une nappe alluviale ayant des relations étroites avec le fleuve. Le niveau de base est réglé par le Rhône.

Pendant les périodes de stabilité la nappe s'écoule vers le fleuve, lors des crues le fleuve alimente la nappe.

Nous avons donné dans le chapitre III les caractéristiques générales de l'écoulement avec les éléments dont nous disposons au moment de notre étude.

Il reste encore beaucoup d'inconnues en ce qui concerne l'hydrogéologie. Nous pensons plus particulièrement aux qualités des différents matériaux composant les alluvions, aux mesures de perméabilité "in-situ", à l'établissement d'un bilan hydraulique complet.

La Compagnie Nationale du Rhône ne saurait manquer de réaliser une étude détaillée de la nappe après avoir défini l'emplacement et le type d'ouvrage qu'elle compte implanter pour l'aménagement d'Avignon.

3 - GEOLOGIE APPLIQUEE

Substratum sous alluvial

- La nature de ce substratum est connue dans toute la zone susceptible d'intéresser des ouvrages hydroélectriques. Après le choix d'un site favorable, il sera nécessaire de préciser les caractéristiques mécaniques des terrains sur lesquels seront implantés les ouvrages.

En première approximation, et sous réserve d'études détaillées, il semble que les marnes bleues (niveau 9) ont des caractéristiques mécaniques très médiocres et qu'elles peuvent être dangereuses si la proportion d'argiles gonflantes est importante.

Les autres niveaux helvétiques, marneux ou grésomolassiques ont certainement une compacité plus marquée.

Cependant, si on envisage des fondations sur les marnes, leur plasticité imposera des précautions particulières et pourra conduire à réaliser un radier général permettant de réduire et d'uniformiser les contraintes du sol, d'autant plus que la charge des terrains est moins élevée "in situ" que lorsque les ouvrages reposeront dessus.

- Le substratum helvétique peut être considéré comme niveau imperméable servant de mur à la nappe phréatique. En effet, même les ensembles grésomolassiques présentent des passées argilo-sableuses de très faible perméabilité. Par contre, les mûles calcaires sont fissurés et probablement karstifiés.

Dans l'éventualité où les ouvrages projetés seront intéressés par des calcaires il y aura lieu de tenir compte de pertes possibles par le substratum.

Matériaux

Du fait de leur nature généralement graveleuse les alluvions récentes constitueront une source appréciable d'agrégats pour béton. Leur granulométrie sera étudiée avec soin, et il est possible qu'elle imposera le concassage d'une fraction des éléments.

Si l'exécution du projet nécessite des enrochements, il sera possible de les rechercher dans les carrières de roches calcaires qui existent en bordure de la vallée.

Enfin, s'il est nécessaire d'étanchéifier certaines digues (au moyen de noyau étanche par exemple), on peut envisager l'utilisation, soit des marnes bleues helvétiques (St-Saturnin-les-Avignon), soit les marnes bleues plaisanciennes (Fournés), en prenant des précautions particulières pour le compactage.

Travaux de Terrassement

Dans la majorité des cas ils pourront être réalisés au scraper et au bulldozer (alluvions, marnes, sable) seuls les niveaux grésolo-molassiques et calcaires nécessiteront l'emploi de matériels plus appropriés.

Influence des ouvrages sur la nappe phréatique

Les observations sur la nappe phréatique que nous avons faites pour une année mais qui se poursuivent encore actuellement traduisent son état naturel. Après la réalisation de l'aménagement, il y aura lieu de prévoir les dispositions adéquates pour éviter les mises en charge au droit de la retenue et inversement le rabattement de la nappe à l'aval du barrage.

BIBLIOGRAPHIE

- AVIAS . - Limite inférieure du Miocène. C. R. Cong. Soc. sav. Aix-Marseille.
- BOURDIER F. - Le bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et préhistoire. - Ed. du CNRS, 1961.
- CAREZ Note sur l'Urgonien et le Néocomien de la vallée du Rhône. BSGF (3), XI, p. 350.
- CASTANY Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, 1963.
- DEMARCO G. - Etude stratigraphique du Miocène rhodanien. Thèse, 1962.
- DEPERET Aperçu sur la structure générale et l'histoire de la formation de la vallée du Rhône. Annales de Géographie, IV, 1895, p. 432-452.
- DOUVILLE F. - Pointements crétaciques du Comtat Venaissin. DI, SNPLM, 1949.
- FAURE D. - Le Barrémien du Sud du couloir rhodanien. Colloque sur le Crétacé inférieur. Lyon, sept. 1963.
- FONTANNES F. - Note sur la constitution du sous-sol de la Crau et de la plaine d'Avignon. BSGF (3), t. XII, p. 463-473.
- GEORGE P. - Les Hauts Plateaux vauclusiens et le fossé rhodanien. - Bull. Ass. des Géogr. Fr., 1930.
- GEORGE P. - La région du Bas-Rhône. Thèse, Paris. Baillière éd., 1935.
- GIGNOUX M. - Géologie stratigraphique. Masson éd.
- GOTTIS M. - Paléogéographie et tectonique du Mésozoïque anté-aptien en Languedoc et Provence occidentale. - Rev. IFP, t. VIII, n° 11, 1952.
- GOVERNAT C. - Evolution géologique des relations Bas-Rhône - Basse-Durance pendant les temps pliocènes et quaternaires. - Trav. Lab. Géol. Marseille, t. VI, 1959.

JACOB C. - A propos des brèches d'Aramon et de Barbentane. Réunion extraordinaire de la SGF, XXIII, 1923, p. 513.

JOLEAUD L. - Géologie et paléontologie de la plaine du Comtat et de ses abords. Avignon, F. Seguin éd., 1907.

LAPPARENT (J. de). - Sur la roche ferrugineuse d'Aramon. - C. R. S. G. F., 1924, p. 23-24. BSGF, XXII, 1923, p. 457-460.

LOMBARD A. - Géologie sédimentaire : les séries marines.

PELLAT Notes préliminaires diverses sur la géologie du bassin du Rhône. - BSGF (3), t. XXIII, p. 426-436.

PELLAT Observations sur les terrains miocènes des environs d'Avignon. - F. Seguin éd., Avignon.

DOCUMENTS

Cartes géologiques

Avignon : 1/80 000, 2e éd.

Avignon : 1/50 000

Cartes topographiques

Avignon 1/50 000 (XXX-41)

Châteaurenard 1/50 000 (XXX-42)

Avignon 1/20 000, feuilles 1, 2, 3, 5, 6, 7

Châteaurenard 1/20 000, feuilles 1, 2, 3

Photographies aériennes

Mission "Avignon" XXX-41 (1953)

Mission "Avignon" 3041 (1962)



Vu,
Grenoble, le
Le Président de la thèse,

R. BARBIER

Vu,
Grenoble, le
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. BONNIER

Vu, et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Grenoble,

M. NIVEAU

sciences de la terre
BIUS
JUSSEU
CADIST