



**CARTE  
GÉOLOGIQUE  
A 1/50 000**

BUREAU DE  
RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES  
ET MINIÈRES

# NÎMES

XXIX-42

## NÎMES

La carte géologique à 1/50 000  
NÎMES est recouverte par les coupures suivantes  
de la carte géologique de la France à 1/80 000 :  
à l'ouest : LE VIGAN (N° 221)  
à l'est : AVIGNON (N° 222)

ANDUZE	UZÈS	AVIGNON
SOMMIÈRES	NÎMES	CHÂTEAURENARD
		LES ALPILLES
LUNEL	ARLES	EYGUIÈRES

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE  
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
Boîte postale 6009 — 45018 Orléans Cédex — France



# NOTICE EXPLICATIVE

## PRÉSENTATION DE LA CARTE

Située aux confins de la plaine côtière du Languedoc et de la basse vallée du Rhône, la feuille Nîmes comprend quatre domaines bien différenciés :

— au Nord-Ouest, les Garrigues de Nîmes, collines et plateaux constitués de calcaires d'âge Crétacé inférieur déposés en milieu marin. Plissée au Tertiaire, cette région est limitée au Sud par la faille de Nîmes.

— au centre, le plateau des Costières, dont la surface est couverte par des alluvions rhodaniennes du Quaternaire ancien. Ces formations détritiques couronnent une importante série tertiaire. La partie occidentale déprimée des Costières est la plaine de la Vistrenque, largement occupée par l'agglomération nîmoise.

— la partie sud-est de la feuille, basse et quadrillée de canaux, appartient au domaine camarguais.

— le Nord-Est de la feuille est beaucoup plus complexe. Le confluent du Rhône et du Gardon y forment la limite sud-est des collines d'Avignon, mosaïques d'affleurements crétacés, miocènes, pliocènes et quaternaires.

Dans ce paysage relativement ordonné, les collines de Beaucaire apportent une note d'originalité, avec des lambeaux ruiniformes de molasse burdigalienne perchés sur des pitons à soubassement de calcaire d'âge crétacé inférieur.

## HISTOIRE GÉOLOGIQUE

C'est avec la période crétacée qu'apparaissent les premiers dépôts ayant un rôle important dans l'ossature actuelle du territoire couvert par la feuille. Les calcaires d'âge hauterivien et barrémien, qui affleurent dans les Garrigues, les collines de Beaucaire, de Montfrin et de Théziers, sont des dépôts marins, de plate-forme littorale, en bordure sud de la « fosse vocontienne ».

Ensuite, jusqu'à l'Éocène inférieur, aucun dépôt important n'a vraisemblablement recouvert ces formations. La fin de la période crétacée n'est représentée en Languedoc et en Provence, que par des dépôts d'origine essentiellement continentale.

Peu étendus, les dépôts éocènes correspondent également à un milieu continental,

avec des formations essentiellement argilo-sableuses. Dans les collines de Beaucaire, la partie supérieure de l'Éocène est représentée par des calcaires lacustres à saumâtres, classiquement rattachés à l'étage Sannoisien. Selon Cl. Cavelier, leur faune présente cependant beaucoup plus d'analogie avec le Ludien, tel qu'il est défini dans le Bassin de Paris.

La phase pyrénéenne, localement responsable du plissement des Garrigues, serait donc postérieure au dépôt de ces calcaires.

Après cette période orogénique, intervient comme dans bien d'autres régions de l'Europe occidentale (Alsace, Bresse, Limagne), une tectonique cassante en distension, responsable de la formation de grabens. Une structure de ce type s'est formée à l'emplacement actuel des Costières. Les compagnies de recherches pétrolières ont reconnu une puissante série d'âge stampien-aquitainien, composée d'évaporites à la base et d'éléments détritiques fins au sommet, qui a comblé ce fossé.

Au Miocène, l'évolution de la région du bas-Rhône, est liée à l'histoire de la mer périalpine. Les dépôts caractéristiques de ce bras de mer, les molasses burdigaliennes et helvétiques sont bien représentées sur la feuille dans les collines de Beaucaire, Montfrin, Théziers et sous les Costières.

La période continentale du Miocène supérieur est mal connue dans la région du bas-Rhône. Elle n'a laissé que des dépôts détritiques, peu épais et azoïques. La formation d'une pré-vallée du Rhône, très profonde, se placerait à cette période.

Dans le bassin du Rhône, le cycle pliocène correspond à une invasion de la mer dans cette pré-vallée, transformée en *ria* et comblée par le dépôt des argiles à faciès plaisancien. Pour J. Barrière et C. Toni (1972), les Marnes à *Potamides basteroti* terminent le cycle pliocène et pourraient être l'équivalent des formations-types du Reuvérien ; il est cependant peu probable que ces marnes soient parfaitement isochrones à l'échelle du bassin (R. Ballesio, 1971). Les sables continentaux, à rares intercalations lagunaires, qui surmontent les Marnes à *Potamides basteroti* dans les collines de Générac auraient, pour ces auteurs, un âge quaternaire ancien et pourraient être l'équivalent des formations du Calabrien. Du Günz au Mindel, se seraient déposées les formations détritiques des Costières, affectées, après leur dépôt et plus particulièrement dans les périodes interglaciaires, de pédogenèses relativement intenses. L'essentiel du matériel de ces formations vient du remaniement, par le Rhône quaternaire, des débris de quartzite du Trias alpin et des sables pliocènes. En suivant l'hypothèse de G. Denizot (1946) et de A. Bonnet (1953), le relèvement tectonique des Costières aurait eu lieu à la fin de cette période. Dès le Riss, la disposition actuelle des basses vallées du Rhône et du Gardon était probablement esquissée et les dépressions des Costières déjà individualisées. Le dépôt des principales masses lœssiques s'est effectué, pour l'essentiel, pendant les périodes Riss et Würm.

Dans certaines parties de la Petite Camargue et de la rive gauche du Rhône entre Aramon et Beaucaire, des lagunes ont vraisemblablement subsisté, jusqu'à une période relativement récente de l'Holocène.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE

La feuille Nîmes à 1/50.000 a été élaborée en deux phases. En premier lieu, les travaux de A. Bonnet ont porté sur le substrat et les formations quaternaires, en particulier sur la tectonique qui affecte ces dernières.

Au cours d'une seconde phase, F. Ménillet s'est attaché à l'étude des formations quaternaires figurées selon les principes mis en œuvre par le Service géologique national pour la représentation et la notation des formations superficielles.

Une chronologie rigoureuse des formations quaternaires se heurte en effet à trois principaux obstacles :

- rareté des faunes ;
- problèmes posés par la reconstitution des paléogéographies successives aux confins de deux domaines, fluviaux et deltaïque, aux limites mouvantes ;
- importance de la tectonique quaternaire.

Fondée dans une large mesure sur la riche documentation du Service des sols de la C.N.A.R.B.R.L. (\*), cette étude a été facilitée par les conseils des ingénieurs-pédologues (\*\*) de cet organisme et l'expérience régionale de A. Bonnet.

Certaines données techniques (substances utiles, hydrogéologie superficielle) se rapportant à la carte géologique Nîmes à 1/50 000 figurent sur une carte spécialisée « Substances utiles », à même échelle, parue en décembre 1968.

## ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA GÉOLOGIE PROFONDE

Des terrains affleurant sur la feuille, les plus anciens sont les calcaires de l'Hauterivien inférieur. Le sondage Nîmes 1, figuré en marge de la carte, a atteint l'Oxfordien marneux (Oxfordien au sens étroit). L'épaisseur totale des calcaires du Jurassique supérieur est voisine de 900 mètres. Celle des calcaires du Berriasien est de 190 m, celle des marnes et calcaires marneux du Valanginien, 490 mètres. Cette série est tout à fait classique dans la vallée du Rhône.

*Observation* : les étages Stampien et Aquitanien, bien représentés dans le fossé oligocène des Costières, n'affleurent pas. Les dépôts correspondants sont décrits p. 7.

## DESCRIPTION DES TERRAINS AFFLEURANTS

### CRÉTACÉ

Seules des formations d'âge hauterivien et barrémien sont représentées à l'affleurement. La meilleure coupe peut être établie le long de la R.N. 579 (route de Nîmes à Uzès) entre la montée au-dessus du Mas Calvas et le Camp des Garrigues. Cette coupe a été précédemment décrite par A. Torcapel (1894-1895).

Aux étages Hauterivien et Barrémien correspondent des calcaires parfois légèrement argileux, d'origine marine, qui affleurent largement dans les Garrigues à proximité de Nîmes, dans les collines de Beaucaire et entre Jonquières et l'angle nord-est de la feuille.

Ces formations appartiennent au Crétacé inférieur de faciès provençal, caractérisé par la prédominance des assises calcaires, des faciès principalement néritiques et une épaisseur relativement importante (proximité de la « fosse » vocontienne).

**П3а. Hauterivien inférieur.** Calcaires et calcaires marneux ; épaisseur probable : 300 à 400 mètres. La base de ce sous-étage n'a été observée nulle part sur la feuille, le Valanginien supérieur (zone à *Lyticoceras*) n'ayant pu être caractérisé. Toutefois, au Nord des collines de Beaucaire, entre les Orgnes et Comps, des horizons marneux azoïques pourraient représenter cette zone. Au sondage Nîmes 1, la limite Valanginien-Hauterivien a été observée à la profondeur de 282 mètres.

L'Hauterivien inférieur montre une lithologie monotone. Une faune d'Ammonites, caractéristique de ce sous-étage (*Acanthodiscus radiatus*, *Crioceratites* sp. associés à de nombreuses *Nemausina neocomiensis*) a été récoltée au Mas des Gardies près de la

(\*) Compagnie Nationale d'Aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc.

(\*\*) En particulier MM. : P. Rutten, J. Vigneron, G. Bouteyre, H. Arnal, J. Barrière, M. Allemann.

limite occidentale de la feuille (Sud de la RN 99) dans des calcaires gris, plus ou moins argileux.

Le sommet de l'Hauterivien inférieur est marqué par une paléo-surface d'altération qui correspond à une interruption dans la sédimentation. Bien observée sur le flanc nord de l'anticlinal de la Vaunage (feuilles Sommières n° 964), cette surface est fossilisée par un remplissage de calcaire glauconieux cimentant des fossiles et de petits galets calcaires (1 à 3 cm) empruntés aux bancs sous-jacents. A l'Ouest de la feuille, cette surface d'altération a été observée occasionnellement de part et d'autre du bois des Espeisses. La dépression située au Sud de la RN 99, à l'Ouest de Nîmes (environs du Mas des Gardies) correspond à des bancs plus marneux, analogues à ceux qui précèdent généralement les bancs calcaires sur lesquels s'est établie la surface d'érosion. Ailleurs, de mauvaises conditions d'affleurement n'ont pas permis de suivre cette surface.

**n3b. Hauterivien supérieur.** Au-dessus du niveau d'érosion précédemment décrit, une masse calcaire, sans intercalation marneuse importante, épaisse de 100 à 200 m a été attribuée à l'Hauterivien supérieur. A. Torcapel (1894-95) rattachait ces calcaires à son étage Cruasien, aujourd'hui abandonné, en raison des difficultés rencontrées à Cruas même pour établir une stratigraphie de ces formations. Les calcaires de l'Hauterivien supérieur contiennent des niveaux à chailles et à calcarénites en limite ouest de la feuille.

Ces calcaires sont limités à leur partie supérieure par une paléo-surface d'altération analogue à celle observée au sommet de l'Hauterivien inférieur.

**Limite Hauterivien-Barrémien.** La paléo-surface d'altération établie au toit des calcaires hauteriviens est également fossilisée par un dépôt glauconieux, daté  $125 \pm 6$  millions d'années (\*) sur la feuille voisine de Sommières.

Cette limite s'observe nettement en deux affleurements :

— au sommet d'une ancienne carrière située à l'Est de la RN 106 (route d'Alès), à la sortie de Nîmes, peu avant le viaduc SNCF des « Neufs Arcades » ( $x = 767,450$  ;  $y = 173,850$ ), le toit de ces calcaires d'âge Hauterivien, en gros bancs, épais de 1 m à patine grise et cassure claire, se situe à 2 m sous le sommet du front de taille (\*\*). Là, s'observe la surface d'altération, tapissée de Bélemnites remaniées et de granules calcaires à patine glauconieuse. Au-dessus, le Barrémien débute par des petits bancs calcaires, épais de 15 à 20 cm, contenant de nombreuses chailles ;

— à gauche de la RN 579 (route de Nîmes à Uzès) au Nord du « Rendez-vous » du Camp de Massillan ( $x = 764,450$  ;  $y = 178,750$ ).

#### **Barrémien**

Les formations d'âge barrémien affleurent largement au Nord de la feuille, du Camp des Garrigues à Sernhac. Le Barrémien inférieur comprend une succession de formations marneuses et de formations calcaires ; le Barrémien supérieur présente un faciès urgonien typique : calcaire blanc très pur, à cassure saccharoïde.

**n4a. Barrémien inférieur.** Le sous-étage peut être subdivisé sur la feuille, en trois formations :

- formation inférieure constituée essentiellement de marnes,
- formation moyenne comprenant essentiellement des calcaires,
- formation supérieure à marnes et lentilles calcaires.

**n4a1. Formation inférieure : Calcaires à chailles et marnes.** Elle débute par des calcaires, contenant souvent des chailles, en bancs de 10 à 20 cm, sur une épaisseur de 10 à 20 mètres. Ces calcaires sont transgressifs et en légère discordance sur les calcaires

(\*) Datation absolue par la méthode Potassium - Argon, à partir de grains de glauconie. Laboratoire du B.R.G.M.

(\*\*) Observation faite en 1970.

hauteriviens. A leur sommet, ils passent à des marnes, en général de teinte claire, de 100 à 150 m d'épaisseur. Cette formation n'a fourni que quelques Ammonites (crioceroïdes) isolées. Elles correspondent sensiblement à la subdivision micropaléontologique notée B 1-2 par D. Faure (1965) avec : *Lenticulina (M) jonensis* Reuss., *L. (L) guttata guttata* Ten Dam., *L. (L) guttata striata* Bart et Brand. *L. (M) sigali* Bart, Bett. et Bolli. *L. ouachensis multicella* Bett., *Planularia tricarinella* (Roemer).

n4a2. **Formation moyenne : Calcaires baruteliens.** Elle est constituée par des calcaires blancs, légèrement crayeux analogues à certains calcaires de l'Urgonien (bois de Lens ; feuille Sommières). Son épaisseur, voisine de 300 m à l'Ouest de la feuille, se réduit beaucoup à l'Est de la RN 579 où elle ne dépasse pas 50 mètres. Cette variation est due à une érosion, peu postérieure au dépôt, plus intense à l'Est de la feuille qu'à l'Ouest.

Les Ammonites sont rares et dispersées. Assimilée à la subdivision micropaléontologique B3 de D. Faure (1965), la microfaune correspondante serait caractérisée par *Orbitolinopsis kiliani* et *Neotrocholina friburgensis* Reichel et Guillaume.

Les carrières romaines de Barutel sont situées un peu à l'Ouest de la feuille (feuille Sommières). Torcapel (1894-95) y a défini en partie son étage Barutelien. Les « marnes et calcaires marneux » compris entre les calcaires à chailles de la base de notre Barrémien et les premiers calcaires à *Requienia ammonia* étaient attribués à ce sous-étage. Ce terme, commode pour désigner les calcaires de la formation moyenne, sera conservé comme nom de faciès : les calcaires baruteliens. Ceux-ci contiennent des chailles dans leur partie sommitale. Aucun indice d'émersion n'a été observé sur la surface d'érosion au toit de la formation.

n4a3. **Formation supérieure : Marnes et « barres urgonoïdes ».** Les calcaires baruteliens sont recouverts en discordance par des marnes. Ces marnes, à petits bancs calcaires intercalés, comprennent selon les points, une ou deux « barres urgonoïdes ». Celles-ci comprennent un ensemble de bancs calcaires, épais de 10 à 20 m et continus sur plusieurs kilomètres, de faciès comparables à l'Urgonien sus-jacent.

L'une de ces barres ressort très nettement dans la topographie au Sud de la route de Poulx à Cabrières. L'ensemble de la formation a plus de 100 m d'épaisseur. Le long de la route de Nîmes à Uzès s'observe la coupe suivante, de haut en bas :

— Calcaires de faciès urgonien		Plateau du Camp des
passage progressif, mais rapide		Garrigues
— Marnes et bancs calcaires	20 à 30 m	route en encorbellement
— Barre urgonoïde supérieure	20 à 30 m	route en tranchée
— Marnes et bancs calcaires	10 à 20 m	vallon
— Barre urgonoïde inférieure	20 à 30 m	route en tranchée et en lacet
— Marnes à petits bancs calcaires intercalés	30 à 50 m	Combe du Mas de Seynes
Discordance		
— Calcaires baruteliens		

Sur les feuilles voisines d'Uzès et Sommières, il n'existe qu'une seule barre urgonoïde. Sur cette dernière feuille (bois de Lens) A. Bonnet, a récolté plusieurs exemplaires de l'Ammonite de zone du genre *Pseudothurmannia*. La formation supérieure du Barrémien inférieur correspond vraisemblablement à la subdivision micropaléontologique B4 de D. Faure (1965) caractérisée par : *Triplasia emslandensis emslandensis* Bart et Brand, *Lenticulina (A) calliopsis* (Tappan), *Nodosaria obscura* Reuss, *Saracenaria gr. forticostata* Bett., *Globorotalites bartensteini bartensteini* Bett., *Tritaxia plummaere* Cushman, *Spiroplectammina* sp.

n4bU. **Barrémien supérieur : Calcaires de faciès urgonien.** Ce sont des calcaires blancs, cristallins, très purs, contenant près de 100 % de CaCO<sub>3</sub>. Leur épaisseur est

supérieure à 200 m et excède peut-être 300 mètres. La base de la formation s'individualise par passage progressif, mais rapide, à partir des calcaires et marnes du Barrémien inférieur. Aucune indication ne permet d'affirmer que l'apparition du faciès urgonien soit synchrone de l'Ouest à l'Est de la feuille. La base de la formation n'a pas fourni d'Ammonites. Les Rudistes (*Toucasia carinata*, *Requienia ammonia*) sont abondants dans la masse principale des calcaires. A mi-hauteur, un niveau marneux a fourni (F. Mazauric, P. Marcelin) : *Lithodomus amygdaloides* d'Orb., *Rynchonella lata* d'Orb., *Terebratula tamarinda* Sow. et des radioles de *Cidaris* et d'autres Échinides, enfin quelques Polypiers (d'après Lador, 1884). Ce niveau pourrait être l'équivalent du « niveau à Orbitolines » du Vercors.

La base de l'Urgonien des Garrigues nîmoises a fourni à D. Faure (1965) : *Orbitolinopsis* cf. *cuvillieri*, *O. kiliani*, *Coskinolina sunnilandensis* var. *elongata* (Moullade), *Salpingoropella muhlbergi* (Lorenz).

La partie moyenne et supérieure de l'Urgonien contient *Orbitolina conoidea discoidea*.

Le sommet de la formation n'est pas représenté sur la feuille où il a été vraisemblablement érodé. Sur la feuille Uzès, plus au Nord, au-dessus des calcaires urgoniens, une lacune correspond à l'Aptien inférieur.

### TERTIAIRE

Cette période est très inégalement représentée sur la feuille Nîmes.

L'Éocène, auquel correspondent des dépôts conglomératiques, sableux, argileux et calcaires, n'est conservé qu'en trois points. Ces formations ont été presque totalement érodées et n'ont probablement recouvert qu'une partie de la feuille.

L'Oligocène, représenté par des dépôts évaporitiques, détritiques fins, puis grossiers, est très développé sous les Costières à l'Ouest de la feuille. Par analogie avec des dépôts du bassin de Sommières, les marnes et conglomérats du Mas de Gasc, au Nord-Est de la feuille, sont attribués à l'Oligocène supérieur.

Le Néogène, période de transgression marine dans le bassin du Rhône avec des calcaires grossiers, bioclastiques à récifaux « molasses » est connu sous les Costières. Ces calcaires affleurent principalement sur la rive droite du Gardon, entre Remoulins et Beaucaire.

Le Pliocène est, par contre, très largement représenté par des dépôts argileux de faciès Plaisancien, des silts et des sables de faciès Astien. Ces formations marines à « saumâtres » ont recouvert toute la feuille, à l'exception des Garrigues. Elles affleurent largement sur les rebords des Costières et au Nord-Est de la feuille, dans les collines de Fournès.

**é1-4. Éocène inférieur : Sables, grès et argiles bariolées.** Ces formations, d'origine fluvio-lacustre, ne sont conservées que dans la partie nord-est de la feuille dans les « Combes » de Mangeloup et du Mas des Charlots, extrémité orientale du synclinal de Fougéras. Elles sont plissées en synclinal, avec des pendages de 45 à 90° et fortement altérées. Leur épaisseur est en conséquence difficile à évaluer avec précision, mais l'ensemble ne semble pas excéder 25 mètres. Ces formations sont constituées de sables quartzeux et d'argiles plus ou moins sableuses, bariolées, avec des teintes rouge, blanche et jaune. Dans le bassin de Sommières, la fraction argileuse de dépôts analogues est caractérisée par l'abondance de smectites, la présence de minéraux kaoliniques et l'absence fréquente d'illites.

Azoïques, ces formations ne peuvent être datées avec précision. Un âge Éocène inférieur peut leur être attribué, en tenant compte de leur disposition stratigraphique dans les bassins de Sommières et d'Uzès.

**é7. Ludien (Sannoisien *auct.*) : Argiles rouges, grès, calcaires lacustres à « sau-**

**mâtres** ». Ces formations ne sont connues qu'au Puech d'Autel et à la Butte louton (rocher de Triple Levée).

Au Puech d'Autel, avant l'urbanisation du quartier Nîmes-Ouest, M. Caziot (1895) et G. Carrière (1912) ont observé la coupe suivante (de haut en bas) :

- Calcaires crayeux et calcaires compacts à malacofaune continentale d'âge Ludien, 10 mètres.

- Marnes (Source du Puech d'Autel), 2 mètres.

- Grès.

- discordance

- Calcaires hauteriviens.

Les couches éocènes sont inclinées vers l'Est.

Dans les collines de Beaucaire, au pied des buttes de Triple Levée (butte louton), de l'Aiguille et du rocher Sicard, s'observent, sur 20 m environ, au-dessus d'un conglomérat remaniant des fragments de calcaire hauterivien, des argiles rouges, des sables et des argiles calcaires panachées, à lentilles de grès. Ces dépôts sont recouverts par une alternance irrégulière de calcaires crayeux, micritiques, graveleux et oolithiques. La faune et les rares traces de microfaune indiquent un faciès de dessalure plus ou moins marqué selon les bancs.

En raison de l'importante phase d'érosion qui a suivi cette période de sédimentation, ces formations ont une épaisseur très variable : 40 m à la butte louton, 12 m, 500 m plus au Sud (butte 118,1 sur la carte topographique à 1/20.000).

La faune de Mollusques, découverte par Pellat et Allard (1895) et revue par Roman (1910) correspond à celle du Ludien supérieur (Marnes supragypseuses) du Bassin de Paris (C. Cavelier, 1971) avec :

	Butte louton	Puech d'Autel
<i>Vivipara soricinensis</i>	Sommet	+
<i>Cyrena dumasi</i> De Serres	+	
<i>C. subgennica</i> Font.	+	
<i>Jacquotia apirospira</i> Font.	+	
<i>Melania albigensis</i> var. <i>dumasi</i> Noulet (Font.)	+	+
<i>M. fasciata</i>	+	
<i>M. sulcatina</i>	+	
<i>Melanopsis (Stylospira) acrolepta</i> Font.	+	+
<i>Nystia plicata</i> var. <i>romani</i>	+	
<i>Hydrobia pyramidalis</i>	+	
<i>Neritina lautricensis</i> Noulet	+	+
<i>Sphaerium berterauae</i> Font.		+
<i>Limnea longiscata</i> Font.		+
<i>Planorbis stenocyclotus</i> Font.	+	+

Dans ces gisements, ont été trouvés, en outre, des fragments d'Échinodermes, des Ostracodes à test lisse, ainsi que des tiges et oogones de Characées.

**g3. Oligocène supérieur : Conglomérats et marnes.** L'Oligocène n'est représenté, en affleurements sur la faille que par les conglomérats de Gasc, dans le synclinal de Fougéras, dans l'angle nord-est de la feuille. Ce sont des dépôts continentaux. Les éléments sont émoussés et remaniés des calcaires jurassiques et des massifs urgoniens des collines sous-cévenoles. La matrice des conglomérats est une masse sableuse rougeâtre. L'épaisseur maximale de ces dépôts résiduels est de l'ordre de 10 mètres. Les conglomérats du Mas de Gasc reposent en discordance sur les sables et argiles de l'Éocène inférieur et ne sont actuellement recouverts par aucune formation. Ils sont azoïques, mais analogues à des dépôts datés « Oligocène supérieur » dans le bassin de Sommières.

**Stampien et Aquitanien des Costières (dépôts non affleurants).** A ces étages

correspondent selon A. Bonnet *et al.* (1952) des dépôts lagunaires à continentaux, épais, rencontrés en sondage dans le quart sud-ouest de la feuille. Ces auteurs ont établi ces datations à l'aide de critères micropaléontologiques, sédimentologiques et géophysiques.

Le « Stampien » (Oligocène) a été rencontré dans les sondages 5.82 à 5.87. Il comprend (de bas en haut) :

— une série évaporitique, constituée de marnes bariolées, d'anhydrite, de calcaires et de grès..., assez bien représentée dans les sondages de Camargue et retrouvée dans le sondage 5.87 ;

— des marnes sableuses passant graduellement à l'Aquitaniens (sondage 5.87) ;

— des conglomérats calcaires (sondages 5.83, 5.85, 5.86).

L'épaisseur des dépôts stampiens en Costière est mal connue ; elle apparaît très variable. Les assises supérieures de l'étage peuvent recouvrir directement les calcaires hauteriviens (sondage 5.83 et 5.86). Dans le sondage 5.87, les dépôts attribués au Stampien ont plus de 500 m d'épaisseur.

Ces formations stampiennes sont recouvertes en concordance par des dépôts attribués à l'Aquitaniens. Ce sont essentiellement des dépôts détritiques fins et des marnes, parfois bariolées. En plus de quelques passées ligniteuses, calcaires, évaporitiques et même conglomératiques, de rares niveaux glauconieux ont été rencontrés (sondage 5.86), indiquant probablement une influence marine ; l'épaisseur des dépôts aquitaniens apparaît très variable : 200 m dans le sondage 5.82, 1000 m dans le sondage 5.87.

**Miocène : Formations d'âge burdigalien et helvétien.** Ce sont des formations marines, détritiques, calcaires et zoogènes, d'épaisseur variable mais en général inférieure à 100 m, correspondant à un cycle sédimentaire.

Ces formations ont été rencontrées en sondage, sous les Costières à l'Ouest de la feuille et affleurent sur la rive gauche du Gardon, à l'exception de quelques lambeaux isolés sur les buttes de Montfrin et de Théziers.

La coupe la plus complète peut être observée dans les coteaux de Sernhac avec selon G. Demarcq la succession suivante, de haut en bas :

5 — Grès roux molassique du Comtat à <i>Chlamys gentoni</i> Font. et <i>Chl. multistriata</i> Poli	10 - 15 m
4 — Marnes bleues sableuses à minces lits gréseux, grands Bryozoaires, <i>Chlamys multistriata</i> et <i>Chl. cf gentoni</i>	12 - 15 m
3 — Alternance de marnes bleues sableuses et de molasse gréseuse verdâtre à <i>Ostrea crassissima</i> et Bryozoaires	30 - 40 m
2 — Molasse gréseuse verdâtre (gris verdâtre en plaquettes ou lits marno-sableux)	10 m
1 — Molasse calcaréo-gréseuse	12 - 15 m

**Mib. Burdigalien : Molasse calcaréo-gréseuse (Pierre de Beaucaire).** Dans la coupe de Sernhac, les formations 1 et 2 sont d'âge burdigalien. Ce sont des grès calcaires, désignés selon l'usage par le terme « molasse ». Sous les Costières, à l'Ouest de la feuille, les sondages 5.36, 5.45 et 5.81 à 5.87, ont traversé 50 à 70 m de grès calcaires, glauconieux et chloriteux, attribués à l'étage Burdigalien et concordants sur les formations d'âge aquitaniens.

Entre Sernhac et Beaucaire, les molasses sont discordantes sur les formations crétacées et éocènes et comprennent un conglomérat à galets calcaires verdés à leur base. Les calcaires crétacés formaient au Burdigalien, des hauts-fonds et des îles, contre lesquels se sont développés des faciès calcaires récifaux et para-récifaux. La « Pierre de Beaucaire », calcaire très pur, en représente le meilleur exemple. Biosparite à biophase prédominante, elle résulte d'une construction algale, conservée en place ou remaniée, à Mélobésiées, Bryozoaires, rares Foraminifères (Amphistégines, *Elphidium*, *Cibicides*,

*Discorbis*), débris d'Échinodermes et Bivalves. Son épaisseur peut atteindre et dépasser 30 m (carrières de Beaucaire).

*Chlamys cf. praescabruscula* a été récolté par G. Demarcq (1970) dans la molasse de Thézières.

La molasse burdigalienne a été également rencontrée dans l'angle sud-est de la feuille par les sondages 8.10 et 8.11 à faible profondeur (prolongement du bassin miocène des Baux).

**m2a. Helvétien inférieur : Marnes bleues sableuses (Marnes de Caumont), molasse gréseuse verdâtre p.p.** Dans la coupe de Sernhac, les formations 3 et 4 correspondent à l'Helvétien inférieur. De la région d'Avignon à celle de Sommières, ce sous-étage correspond à un grand développement de marnes sableuses, gris-bleu (*cf.* faciès *Schlier*), dénommées « Marnes de Caumont » par G. Demarcq (1970), dans le bassin d'Avignon.

Sur la feuille, ces marnes sont représentées dans les sondages 5.81 (58 m d'épaisseur), 5.87 (40 m) à Sernhac et à Thézières (6 m). La base de ce faciès marneux n'est pas isochrone. Il a pu apparaître dès le Burdigalien dans des zones subsidentes (certaines parties de la Camargue où il peut atteindre 1000 m d'épaisseur), tandis qu'à Sernhac, par exemple, il apparaît à un niveau déjà élevé de l'Helvétien inférieur.

**m2b. Helvétien supérieur : Grès molassique du Comtat.** Ils ne sont représentés qu'au Nord-Est de Sernhac où ils forment un relief tabulaire. Ce sont des grès jaunâtres, relativement grossiers, à ciment calcaire plus ou moins abondant.

**Rm. Miocène supérieur continental : Sables résiduels des molasses burdigaliennes et helvétienne.** Des affleurements d'étendue limitée, sur les coteaux situés au Nord et au Sud de Meynes, ont fourni des sables grossiers dont la plupart des éléments apparaissent remaniés des molasses burdigaliennes et helvétienne. Ces sables pourraient correspondre aux couches sableuses rencontrées dans les sondages 5.81 à 5.87 dans l'Ouest de la feuille, intercalés entre les marnes d'âge helvétien et les couches ocre de Gallician à microfaune du Plaisancien inférieur (M. Lys, 1952). Dans ces sondages, leur épaisseur varie de 15 à 35 mètres. Contenant une microfaune remaniée et pauvre, cette formation ne peut être datée avec précision. Aussi la notation dérivée Rm a été préférée à une notation chronostratigraphique. G. Demarcq (1970) envisage une équivalence avec des grès molassiques du Comtat.

### **Pliocène**

A l'exclusion des Garrigues, le territoire couvert par la feuille Nîmes a été presque entièrement recouvert de dépôts d'âge pliocène. Constitués essentiellement d'argiles, de marnes et de sables, ces dépôts marins saumâtres et continentaux s'ordonnent dans l'ensemble selon un cycle sédimentaire récemment précisé par R. Ballesio (1971) dans la vallée du Rhône :

- 5 - dépôts continentaux supérieurs
- 4 - dépôts lagunaires et estuariens supérieurs
- 3 - dépôts marins sableux et argileux
- 2 - dépôts saumâtres inférieurs à Congéries
- 1 - dépôts continentaux inférieurs.

Ce cycle n'est pas toujours isochrone dans les différentes parties du bassin. Les dépôts ont été localement tronqués par l'érosion et l'âge des dépôts continentaux supérieurs est lié au problème de la limite plio-quaternaire.

Ainsi, les subdivisions adoptées, sans prétentions stratigraphiques, sont essentiellement établies sur des critères pétrographiques et faciologiques.

**Surface inférieure du Pliocène.** A la suite d'une régression marine (baisse du niveau de la Méditerranée par la fermeture des chenaux péribétiques et rifains) ou d'une élévation importante de la région du Bas-Rhône au « Pontien », une vallée très profonde s'est formée à l'emplacement de la vallée actuelle du Rhône. En Camargue, les bras de ce paléo-Rhône étaient encaissés de plus de 500 m (Beaufort *et al.*, 1954).

Cette paléo-vallée a été envahie par la mer pliocène à la façon d'une ria, puis entièrement comblée de dépôts argileux. La mer a même largement recouvert des plateaux bordant cette vallée. Cette paléogéographie a influencé la répartition et surtout l'épaisseur des différents faciès du Pliocène.

**p1. Pliocène inférieur (sens approximatif). Faciès « plaisancien » : argiles marines à *Epistominella lecalvezi*, Couches inférieures à Congéries.** Les dépôts continentaux inférieurs (R. Ballesio, 1971) n'affleurent pas. Ils ont été rencontrés en Costières et en Camargue dans les sondages pétroliers. Ce sont des dépôts détritiques grossiers et des dépôts résiduels argileux (« couches ocre de Gallician »), peu épais.

Les Couches inférieures à Congéries (*Congeria subcarinata*) ne sont représentées que par le gisement classique de Théziers (x = 783,600 ; y = 180,550 - coordonnées approximatives).

Les argiles grises, marines, de faciès plaisancien affleurent largement aux environs de Théziers, à proximité de Meynes, sur le coteau entre Beaucaire et Bellegarde et en Costières, au Sud de Caissargues (château de Campagne). En Costières, elles sont épaisses de 300 m environ. Leur épaisseur est mal connue à l'Est de la feuille. Elle est très importante dans l'axe du paléo-Rhône pré-pliocène qui, de Tarascon, se dirigeait vers le S.W.

A Meynes, ces argiles sont constituées environ de 40 % d'illite, 20 % de smectite et 20 % de kaolinite (avec 20 % de chlorite ?). Elles contiennent de faibles quantités de feldspath et de muscovite.

D'après les études de microfaune, R. Ballesio, 1971 distingue :

— Les argiles à *Sphaerodinellopsis*, repérées en sondage au Sud de Beaucaire par R. Anglada (*in* Poggi, 1968). Ces argiles correspondraient au Tabianien italien (Pliocène inférieur).

— Les argiles à *Amussium cristatum* de Meynes formeraient l'essentiel des argiles plaisanciennes de la feuille Nîmes. La célèbre paléoflore de Théziers étudiée par Depape (1922) serait dans cette assise. Cette flore comprend, dans une proportion de 2/3 environ, des espèces exotiques (en particulier des espèces appartenant aux flores d'Amérique du Nord, d'Extrême-Orient et des Canaries). Les espèces les plus caractéristiques sont : *Glyptostrobus europaeus* (Brgnt.) Heer., *Sequoia langsdorfi* (Brgnt.) Heer., *Laurus canariensis* Webb. *pliocenica* Sap. et Mar., *Sassafras feneticum* Mass., *Liquidambar europaeum* Al. Br., *Nerium oleander* L.

— Le sommet de la série argileuse serait représenté par les argiles de Pichegu (carrière, 5 km au Sud-Ouest de Bellegarde) et les argiles varvées de Fournès (1/50 000 Uzès).

La majeure partie de cet ensemble argileux correspondrait au Pliocène moyen. A. Bonnet, M. Lys *et al.* (1952) l'attribuent à un Plaisancien inférieur. La liste de la malacofaune rencontrée dans les sondages pétroliers (S.N.P.L.M.) est donnée par A. Bonnet et Ch. Duboul-Ravazet (1952). Ces auteurs notent l'analogie de cette faune avec celle du Pliocène italien.

**p2a. Pliocène supérieur (sens approximatif) : Faciès saumâtres à *Potamides basteroti*, Marnes et silts à *Ammonia beccarii*.**

**p. Pliocène marneux indifférencié.** Ces faciès sont bien représentés au Nord-Est de la feuille et sur les coteaux de Bellegarde. Ils sont constitués d'argiles finement sableuses, de marnes et de silts. La médiane de la fraction déritique est comprise entre 0,07 et 0,14 mm, le mode entre 0,05 et 0,125 mm. Parmi les minéraux argileux, l'illite est prédominante (60 à 70 %). Les proportions de kaolinite (10 à 40 %) et de smectite (0 à 30 %) sont très variables. Muscovite, feldspaths plagioclases et feldspaths alcalins sont présents en faible quantité.

Des *Potamides basteroti* n'ont été récoltés qu'au Nord-Est de la feuille, à proximité du gisement à plantes de Théziers. Plus fréquemment, ces horizons contiennent une microfaune marine littorale à saumâtre, à *Ammonia beccarii* (L.), *Elphidium crispum* (L.) et *Florilus boueanus* (d'Orb.).

Fréquents au sommet de la série argileuse, ces faciès ne sont pas isochrones en tous les points du bassin et quelques auteurs (Ballesio, 1971) indiquent la présence locale d'au moins deux niveaux de marnes à *Potamides basteroti*. Ils représentent des faciès de régression dans le cycle pliocène. J. Barrière et C. Toni (1972) font terminer le Pliocène avec ces horizons.

p2b. **Pliocène supérieur (sens approximatif) :**

- 1) faciès caillouteux (cordon littoral « astien ») brèches ;
- 2) faciès sableux « astien ».

Sur la feuille Nîmes, les sables de faciès astien ne semblent pas former un horizon continu. Ils affleurent de Nîmes à Sernhac, le long du piedmont des Garrigues, au Nord-Est de la feuille, au Nord de Meynes, à l'Ouest de Beaucaire et au Sud de Garons.

Ce sont des sables moyens à fins (médiane 0,15 à 0,25 mm, mode 0,125 à 0,2 mm), médiocrement triés (hétérométrie Pomerol  $\sim 1 \alpha$ ), à grains peu usés. Ils peuvent contenir jusqu'à 20 % de calcaire (Sud de Garons) et présentent fréquemment une stratification entrecroisée. Leur épaisseur est peu importante et variable ; elle excède rarement 10 mètres.

Une malacofaune marine a été récoltée dans ces sables à proximité de Nîmes (G. Carrière, 1904 ; F. Roman, 1906) et dans la tranchée du tunnel de Ginestest à l'Ouest de Beaucaire (E. Pellat, 1895).

Environs de Nîmes : *Ostrea undata*, *Lutraria massoti*, *Arcopagia corbis*, *Venus plicata* var. *pliocenica*, *Venus multilamella*, *Arca noe*, *Nassa semistriata*.

Tunnel de Ginestest : *Ostrea cochlear*, *Pecten pes felis*, *Pecten scabrellus*, *Hinnites crispus*.

A des cotes voisines de 80 m, le long du piedmont des Garrigues, s'observent des traces de rivages marqués par des surfaces nivelées, perforées de trous de Pholades et recouvertes de galets calcaires très arrondis.

Il est malheureusement difficile de préciser la position de ces sables fossilifères par rapport aux horizons à *Potamides basteroti*. Seuls les sables du Nord-Est de la feuille apparaissent nettement superposés à ces horizons. J. Barrière et C. Toni (1972) rattachent des sables en position analogue, dans les collines du Gênerac (1/50.000 Arles) à un équivalent continental du Calabrien. Pour ces auteurs, les sables de Montpellier à *Gryphea virleti* se termineraient en biseau sous les marnes à *Potamides basteroti*, à l'Ouest de la feuille.

#### FORMATIONS SUPERFICIELLES, QUATERNAIRE

##### Limite Pliocène - Formations détritiques des Costières

Recoupée en sondage ou observée à l'affleurement, la limite de ces deux ensembles est bien marquée par un changement lithologique : à la sédimentation argilo-sableuse marine du Pliocène succède une sédimentation détritique continentale à galets.

Les formations à galets reposent soit directement sur les argiles plaisanciennes (château de Campagne) soit sur les marnes du Plaisancien supérieur (Bellegarde), soit encore sur les sables astiens (Clausonne). Aussi entre les dépôts des sables astiens et des formations détritiques des Costières, une courte phase d'érosion a pu intervenir.

Sous les formations à galets, quand celles-ci sont entièrement rubéfiées, le Pliocène est en général altéré sur un à deux mètres : oxydation des argiles donnant des teintes jaune-ocre et accumulation d'argile et de calcaire au sommet des marnes et des sables. L'argile forme une couche irrégulière brun clair à verdâtre avec taches de calcaire farineux. Localement, des lentilles d'argile peuvent être intercalées en disposition stratigraphique entre les deux formations (P. Marcelin, 1949).

La limite entre les deux formations n'est pas plane ; des sondages voisins peuvent atteindre le Pliocène à des profondeurs différentes de plusieurs mètres. Ces

irrégularités sont vraisemblablement dues aux ravinements liés au régime turbulent responsable de la mise en place des formations détritiques à galets. Enfin, l'altitude du contact varie selon la structure. Le toit du Pliocène est à 80 m au Sud de Garons à la limite sud de la feuille et à 50 m près de Redessan. Il s'abaisse en Vistrenque jusqu'à des cotes négatives en aval de Caissargues. Il s'enfonce plus profondément encore, au Sud de Bellegarde, sous la Camargue. Ces variations sont liées aux déformations quaternaires qui ont affecté la région. Ces phénomènes structuraux seront interprétés dans le chapitre « Tectonique ».

Il n'y a pas d'argument décisif pour affirmer que la limite entre « Pliocène » et « formations détritiques » correspond à une coupure stratigraphique. Toutefois, en dehors des considérations relatives à la limite Pliocène—Villafanchien, on peut considérer à l'échelle locale que l'essentiel des formations détritiques est quaternaire (présence d'*Elephas meridionalis*).

### Alluvions anciennes d'âge controversé

Des lambeaux d'alluvions très anciennes et peu épaisses ont été observés par F. Mazauric et P. Marcelin (1926) à l'extrémité nord-ouest de la feuille, à des cotes atteignant et dépassant 140 m et au Nord-Ouest du Mas de Fontfroide, à plus de 200 m, sur le replat le plus élevé des Garrigues. Ces alluvions sont essentiellement constituées de galets de quartz. L'âge de leur dépôt ne peut être évalué avec précision et doit se situer au moins au début du Quaternaire.

**FVa. Formation détritique fluviatile d'Estezargues : Galets, graviers et sables altérés sur plusieurs mètres.** Relique probable d'une nappe alluviale très ancienne, cette formation occupe le sommet de buttes témoins au Nord-Est de Théziers (alt. 125 m) et des replats d'extension limitée à l'Ouest de Sernhac (alt. 115 m). Sa nature est très voisine de celle des formations détritiques des Costières, décrites ci-dessous, qu'elle domine de 60 à 70 m environ. La formation détritique d'Estezargues est encore plus fortement altérée que les formations détritiques des Costières.

**FVb. Formations détritiques des Costières (Cailloutis villafanchien), galets, graviers, sables altérés sur plusieurs mètres : « paléols » : gapan, gress caveran, accumulations argileuses bariolées.** Ces formations ont été traitées comme une seule unité cartographique. Quels que soient leur âge, la multiplicité des apports qui les ont constitué et les phénomènes d'altération qu'elles ont subi, elles présentent cependant suffisamment d'individualité pour être considérées comme une seule entité du point de vue géologique. Les termes « cailloutis villafanchien » et « paléols » apparaissent dans le titre en raison de leur fréquent usage dans la littérature. La notation FV n'a aucune valeur chronologique absolue.

Individualisées en premier lieu par une forte proportion de galets de grande taille, les formations détritiques des Costières occupent une superficie importante de la feuille Nîmes. Conséquence de leur altération, les « paléols rouges » marquent fortement le paysage des Costières.

L'épaisseur de ces formations est importante : une quinzaine de mètres en moyenne. En Costières, des épaisseurs plus faibles sont connues au Sud-Est de Garons et aux environs de Redessan (~ 8 m), tandis que les cailloutis sont plus épais en Vistrenque (maximum 47 m au sondage 5.83).

D'origine alluviale, ces formations comprennent une forte proportion de galets (environ 75 %) dans une matrice sableuse et calcaire lorsqu'elles ne sont pas altérées. La stratification, peu nette en général, est de type fluviatile (galets inclinés, lentilles de sable). Les galets sont formés de quartzites, remaniés pour l'essentiel des formations triasiques des bassins du Drac et de la Durance (60 à 80 %), de quartz laiteux (10 à 30 %), de calcaire provenant des niveaux durs du Mésozoïque rhodanien (5 à 25 %) et, en proportions plus faibles, de granites, de gneiss, de basaltes du Coiron et de grès

permien (\*). En outre, s'observent épars, des dalles de grès burdigaliens (\*\*) et des galets d'argile. La dimension maximale des galets d'origine lointaine (quartzite) est voisine de 40 cm et 5 % d'entre eux dépassent 10 centimètres. Tous sont fortement arrondis et les plus gros ont une forme caractéristique avec une face inférieure relativement plane et une partie supérieure arrondie. Dans la partie la plus septentrionale des Costières, entre Meynes et Bezouze, les formations détritiques sont essentiellement constituées de galets de quartz remaniés des formations anciennes des Cévennes.

La matrice est formée de sables, limons, argiles et calcaires. Les sables ont un mode et une médiane voisins de 0,2 mm et leur indice d'hétérométrie Pomerol est voisin de 1. Ils peuvent former des lentilles sans galets. Leur granulométrie étant semblable à celle des sables astiens, il convient d'être prudent pour interpréter les sables rencontrés en sondage sous les cailloutis, surtout si les uns et les autres sont de faible épaisseur. Les argiles présentes en faible quantité sont en général constituées d'illite. La matrice contient en moyenne 20 % de calcaire. Ce taux a pu être localement augmenté par migration *per descensum* (s.l.) des carbonates, sous la zone d'altération ; cet apport calcaire a parfois cimenté une partie des alluvions en « poudingues ». Ceux-ci peuvent être examinés sur les coteaux situés au pied de la Tour de Bellegarde.

*Les « paléosols rouges ».* Beaucoup d'auteurs désignent ainsi la partie supérieure, rubéfiée, (Code Munsell : 2,5 YR 4-6, teinte à sec) des formations détritiques des Costières. La langue occitane emploie deux termes très usités dans la littérature pédologique et géologique : le « gapan », compact, couleur rouge « sang de bœuf » et le « gress caveran » plus meuble, de teinte grisâtre ou rosâtre. Dans son ensemble, le gapan est essentiellement composé de galets, plus ou moins profondément rubéfiés (55 %) et de gravier (30 %). Sa matrice, sablo-limoneuse, comprend en moyenne 25 % d'argile (10 à 40 %). Le gress caveran est lié, en partie, à un lessivage des argiles de la partie supérieure du cailloutis. Les argiles déplacées forment souvent des « accumulations argileuses bariolées » au-dessous du gress caveran. Les comptages pétrographiques montrent que la proportion des galets de quartzite est plus élevée que dans l'alluvion originelle en raison de la dissolution des galets calcaires et de l'altération des galets de roches éruptives et cristallophyliennes. C'est ainsi que 90 % des galets peuvent être en quartzite. Les galets, surtout à proximité de la vallée du Rhône, ont subi une très nette éolisation : « dépolis », « cupules », et même des « facettes » reconnues par de nombreux auteurs. J.P. Schwobthaler et H. Vogt ont compté 40 à 50 % de galets fracturés et les attribuent selon A. Cailleux à l'action du gel quaternaire. De même, les sables de la matrice comprennent une forte proportion de grains éolisés : 10 à 50 % de grains ronds mats. La fraction argileuse (inférieure à 5 $\mu$ ) de la matrice est évaluée à :

— métahalloysite (plus ou moins bien cristallisée)	20 - 50 %,
— illite	50 %,
— interstratifiés illite - montmorillonite	éventuellement.

L'épaisseur des « paléosols rouges » est importante mais variable : 2 m aux environs de Bellegarde, 5 à 6 m entre Bouillargues et Rodilhan, plus de 7 m à Garons et Caissargues. Ils se présentent soit directement en surface (« gress ») soit sous une couverture de limons lœssiques. Ce manteau lœssique a fourni localement le carbonate des enduits et « croûtes » calcaires qui cimentent en général le cailloutis à une profondeur variant de 0,50 à 1,50 m (P. Marcelin, 1926). Dans la frange nord-ouest des Costières, le calcaire des « Croûtes » provient de la dissolution des formations crétaées ou de leurs produits de remaniement.

Les galets sont souvent redressés en surface et des figures de sols polygonaux ont

(\*) D'après J.P. SCHWOBTHALER et H. VOGT (1955) et observations faites au cours des levées.

(\*\*) A proximité des affleurements burdigaliens.

été observées et décrites aux environs de Meynes (Bouteyre et Allemann, 1964).

*L'interprétation et l'âge des formations détritiques des Costières* est l'objet de controverses. Des arguments paléontologiques, morphologiques, tectoniques, paléopédologiques et sédimentologiques ont été invoqués.

A. Bonnet se fonde sur la *paléontologie* (découverte d'*Elephas meridionalis* et *Mastodon arvernensis*) pour attribuer à l'ensemble de la formation un âge villafranchien au sens du Lexique stratigraphique international. L'historique des récoltes anciennes est faite par F. Bourdier, 1961, p. 216, tandis que A. Bonnet (1965) donne un inventaire des découvertes récentes.

*De l'analyse morphologique* des Costières, de Lamothe, Ch. Depéret puis F. Roman (carte à 1/80.000, 2ème édit.) et J. Blayac ont déduit des replats interprétés comme des terrasses fluviatiles. Les alluvions correspondantes sont datées du Villafranchien au Mindel par l'altitude relative de ces terrasses. Le replat de 90-100 m est attribué au Villafranchien (Donau ou Günz), celui de 55-60 au Quaternaire moyen (Mindel). Pour les pédologues de la C.N.A.R.B.R.L., cette disposition est confirmée par des critères pédologiques.

En revanche, la tectonique quaternaire est invoquée par G. Denizot (1946) et A. Bonnet (1953) pour rendre compte de ces étagements.

P. Rutten, G. Bouteyre et J. Vigneron (1963) formulent une chronologie établie sur le degré d'évolution des « paléosols ». Sur les formations grossières du Quaternaire languedocien, ces auteurs ont observé différents types de sols qui ne se différencient entre eux que par leur degré d'évolution. Les sols les « plus anciens » sont très « lessivés » ; ils comprennent un épais horizon « A » (gress caveran), surmontant un horizon « B textural » à « accumulation argileuse bariolée », formant une couche très peu perméable. Ensuite viennent des sols moins fortement lessivés à horizon B moins compact (gress à gapan). Des sols fersiallitiques à accumulation calcaire puis toute une gamme de sols bruns plus ou moins lessivés complètent cette succession.

J.P. Schwobthaler et H. Vogt (1955) voient des différences *sédimentologiques* entre l'alluvion inférieure « fluviatile » et le gapan « fluvio-glaciaire » (morphologie des galets, stratification).

Si la cartographie géologique n'a pas apporté de solution définitive à ces problèmes, il est cependant possible de formuler quelques remarques :

— Les découvertes de *Mastodon arvernensis* et d'*Elephas meridionalis* prouvent au moins l'ancienneté d'une partie du cailloutis des Costières.

— Si la réalité d'une tectonique quaternaire semble admise par la plupart des auteurs, les opinions divergent au sujet de son expression et de son âge. A. Bonnet la place avant le Mindel, en remarquant que, dans la vallée du Rhône, seules les surfaces anté-Mindel sont gauchies. Or la datation Mindel d'une partie de la formation détritique des Costières repose essentiellement sur des critères paléopédologiques. Les deux opinions sont parfaitement conciliables à condition d'admettre, par exemple, que le relèvement des Costières se soit produit pour l'essentiel à la fin de l'Interglaciaire Günz-Mindel.

— La forte épaisseur des cailloutis sous la Vistrenque suggère que cette zone a commencé à s'abaisser au cours de leur accumulation.

— La région des Costières est située à proximité de la limite des domaines fluviatiles et du domaine marin au moins lors du dépôt du cailloutis inférieur. Dans ce cas, il est vain d'y rechercher des terrasses comparables à celles de la vallée moyenne du Rhône.

— L'évolution pédologique de la surface des Costières a pu être influencée, localement, par des remaniements superficiels ou par d'autres facteurs qui échappent à l'observation actuelle.

En conclusion, il semble qu'il manque encore beaucoup d'éléments pour reconstituer logiquement l'histoire et la paléogéographie des formations détritiques des Costières.

**F. Alluvions du Puech Cabrier et du château d'eau de Vallabrègues.** En raison de la similitude des problèmes qu'ils posent, ces deux lambeaux alluviaux ont été groupés sous la même notation : l'un et l'autre présentent un aspect ancien (paléosol épais très rouge) et sont à une altitude relativement très basse, faits à première vue contradictoires.

J. Gabert (1965) considère la formation à galets rouges altérés couronnant la butte de Vallabrègues (sommet d'environ 18 m) comme un lambeau « alluvial du Villafranchien ». Cette opinion s'accorde avec celle de nombreux auteurs qui estiment que la zone d'Aramon—Vallabrègues s'est abaissée au cours du Quaternaire. L'aspect des galets et leur dimension rappelle ceux des galets du gapan et l'ensemble repose sur les sables astiens. Il est cependant difficile de se faire une opinion sur un si petit affleurement. La couleur d'ensemble (Code Munsell, teinte 2,5 YR - 5-6, à sec) est sensiblement la même que celle du gapan. Selon des critères pédologiques, ces alluvions ne se seraient pas déposées avant le Mindel.

Plus délicate encore est l'interprétation des alluvions du Puech Cabrier au-dessus de Beaucaire dont le sommet est à l'altitude de 26 mètres. La plupart des auteurs (Service des Sols de la C.N.A.R.B.R.L. (1967), A. Bonnet) leur attribuent un âge rissien. Au cours des levés, de nouvelles tranchées ont été ouvertes au centre même du lambeau alluvial. La coloration (2,5 YR 4-6) et la composition pétrographique (en particulier la composition minéralogique des argiles) sont semblables à celle du gapan de la région de Bellegarde. L'épaisseur du « paléosol rouge » (supérieure à 1,50 m) et l'épaisseur totale de ces alluvions sont toutes deux comparables à celles du cailloutis des Costières sur le plateau voisin. En outre, elles reposent sur les marnes du Plaisancien supérieur comme les formations des Costières entre Bellegarde et Beaucaire. Celles-ci formant un plateau à une altitude voisine de 60 m, l'hypothèse d'un effondrement tectonique n'est pas à exclure *a priori*.

#### Autres alluvions anciennes

**Fx. Alluvions probablement rissiennes.** Ces alluvions forment des replats allongés au Nord et au Sud de Sernhac à une altitude voisine de 40 mètres.

Sur la rive gauche du Gardon, il est possible de leur rattacher les galets qui couronnent l'étroit plateau au Sud-Ouest du Mas Courret et ceux qui occupent les replats du coteau au Nord de Montfrin. Il est souvent difficile de les distinguer à première vue des formations de versant provenant du remaniement des cailloutis des Costières. Formées en partie aux dépens de ce dernier, elles présentent une rubéfaction comparable. Une ancienne carrière, au Nord de Montfrin ( $x = 781,8$  ;  $y = 178,2$ ) montre cependant des strates légèrement inclinées vers la vallée, mais dont la disposition est bien différente de celle des formations du versant AFW. C'est ainsi qu'un lit de sable rougeâtre un peu argileux est stratigraphiquement intercalé entre deux niveaux composés essentiellement de galets de quartzite à patine rouge (épaisseur totale 4 m environ). Avec toutes les réserves qu'appelle l'interprétation d'un si petit nombre d'affleurements, altitude et altération semblent compatibles avec un âge au moins rissien.

**Fya. Alluvions du « niveau des Paravaudes ».** Entre Beaucaire et Bellegarde, au Nord du canal du Rhône à Sète, un niveau d'alluvions à galets affleure au pied du coteau des Costières. La surface subhorizontale s'abaisse de 6 m en aval de Beaucaire à 2 m près de Bellegarde. Ces alluvions ont été exploitées sur une hauteur de 5 m environ, en particulier à proximité de la ferme des Paravaudes.

Les galets constituent plus de 50 % de la formation. Ils sont constitués, par ordre d'importance décroissante, de calcaire crétacé, quartz, quartzite, roches éruptives et métamorphiques, « silex ».

La matrice est essentiellement sableuse et calcaire (les argiles ne constituant que 4 % en moyenne de la fraction inférieure à 2 mm, sous forme d'illite).

La partie supérieure (0,75 m) porte un « paléosol » de couleur brun-rouge (Code Munsell : 5 YR 5-6, teinte à sec). Tous les galets calcaires y ont été dissous et les galets de roche éruptive et métamorphique sont altérés mais non désagrégés.

La matrice comporte en moyenne 18 % d'argile ( $< 2 \mu$ ). Analysés en diffractométrie (une seule analyse), cette argile se compose de :

— métahalloysite	20 %
— illite	50 %
— interstratifiés illite - montmorillonite	30 %

Cette composition est peu différente de l'argile du gapan. Ces alluvions sont interprétées par les pédologues de la C.N.A.R.B.R.L. (1966) puis A. Bonnet (1966) comme wurmiennes. Dans ce cas, il s'agit probablement d'un Würm ancien (Würm I - Barrière, 1965).

**Fy. Alluvions wurmiennes (terrasse de 8 mètres).** Ces alluvions occupent une large surface sur la rive droite du Gardon. Peu épaisses (4 m en moyenne), elles sont constituées de sables et de galets en proportions variables. Les faciès les plus grossiers renferment 50 % de galets avec une matrice de composition identique aux faciès fins : 50 % de sables, 35 % de limon et 15 % d'argile. Elles sont très souvent recouvertes de colluvions sablo-limoneuses (SE de Sernhac).

La plupart des auteurs s'accordent pour leur donner un âge wurmien. La présence d'alluvions d'âge wurmien en fond de vallées sous les dépôts holocènes leur confère une relative ancienneté.

#### Alluvions récentes

**Fz. Alluvions holocènes : Sables et limons, galets et graviers.** Les fonds des vallées du Gardon et du Rhône sont occupés par une épaisse couche d'alluvions. La partie supérieure, la seule qui réponde à la désignation d'alluvions holocènes, est essentiellement sablo-limoneuse. Elle peut renfermer des galets, plus nombreux, selon toute vraisemblance, dans l'axe des anciens cours majeurs du Rhône.

Peu de sondages profonds ont été effectués dans la basse vallée du Gardon. Seul le sondage 6-165 (\*) renseigne sur leur épaisseur (15 m) et donne quelques indications sur la lithologie de ces alluvions. 2 à 3 m de sables limoneux surmontent une douzaine de mètres des sables et « graviers » (galets). Le substrat est miocène. Par contre, de nombreux sondages ont été effectués à proximité du cours actuel du Rhône par la Compagnie Nationale du Rhône. Les alluvions fines holocènes ont une épaisseur moyenne de 5 m en amont de Beaucaire. Elles s'épaississent en aval, dépassant 10 m à l'extrémité sud-est de la feuille (20 m aux sondages 8-11 et 8-13). Au-dessous de cette formation, les sondages rencontrent des alluvions plus grossières à galets et matrice sableuse. Ces alluvions ont une épaisseur assez régulière, de l'ordre de 20 m, et reposent généralement sur des argiles grises très probablement plaisanciennes.

Les alluvions holocènes sont calcaires (30 à 40 %  $\text{CaCO}_3$  à 1 m de profondeur). Leur composition pétrographique est variable. Sablo-limoneuses dans l'ensemble, elles peuvent être très sableuses ou argileuses. Dans la zone Nord-Camargue, apparaissent des niveaux de tourbe. A. Bonnet a reconnu dans la région de Saint-Gilles—Bellegarde, l'existence de trois niveaux de tourbe dans un sondage à la limite sud de la feuille ( $x = 775,995$  ;  $y = 161,800$ ) (1/50.000 Arles - A. Bonnet, 1965), ces niveaux se rencontrent à - 3 m, - 6 m et - 9 mètres. Le plus ancien est daté de 6 millénaires avant J.C. et le plus récent d'un millénaire (datation au Carbone 14).

Au Nord, dans la région de Théziers, les alluvions holocènes se sont formées surtout à partir de matériel colluvial, en particulier dans le vallon du Briançon et dans la vallée

(\*) Archives B.R.G.M..

du Rhône au pied des reliefs. Les apports colluviaux ont été essentiellement alimentés par des sables et des marnes du Pliocène.

#### *Age des cailloutis infra-holocènes*

S'il est possible de concevoir un âge wurmien pour ces alluvions en amont de Beaucaire, leur interprétation est plus délicate en aval, dans la zone camarguaise. A. Bonnet (1964-1966) les interprète comme la partie supérieure (formation détritique des Costières) d'un compartiment effondré des Costières. Dans la région de Saint-Gilles (1/50.000 Arles), il décrit une formation analogue au gapan dans la partie supérieure du cailloutis. Dans l'axe de la vallée du Rhône, les sondages de la Compagnie Nationale du Rhône ne laissent pas présumer de niveau argileux dans la partie supérieure de la formation à galets. L'épaisseur du cailloutis est identique en aval et en amont de Beaucaire, à l'exception d'un épaississement juste à l'aval du « haut-fond » de Beaucaire. Ainsi, cette formation peut aussi bien être d'âge wurmien dans la partie camarguaise de la feuille Nîmes, au moins dans l'axe du Rhône actuel. En conséquence, une très grande prudence s'impose pour l'attribution à une seule phase de dépôt et la datation de ces cailloutis, en raison des variations possibles du Rhône quaternaire et de remaniements.

#### **Formations superficielles non alluviales**

**CF. Remplissage des dépressions des Costières et de la Vistrenque : Limons gris, calcaires.** En bordure des dépressions, les limons des Costières sont plus épais, en particulier à la suite de processus de colluvionnement, et passent progressivement à des limons gris, épais, hydromorphes et très calcaires. Au Nord de la Vistrenque, les limons des formations du piedmont de la Garrigue se relie de la même manière à des dépôts semblables.

La granulométrie de ces limons gris peut être comparée à celle des limons des Costières et des « lœss de Lédenon » :

	Limon gris	Limons des Costières et lœss de Lédenon
Médiane	20 $\mu$	30 $\mu$
Fraction inf. à 2 $\mu$	25 %	15 %
Fraction 2-50 $\mu$	50 à 60 %	60 à 70 %

Les limons gris sont plus fins et plus argileux.

Ils sont très calcaires (50 % en moyenne). La calcite s'y trouve sous forme de pseudo-mycélium ou de concrétions (poupées). Les tests de Mollusques, localement très nombreux, peuvent constituer une part importante de la fraction carbonatée.

Leur couleur est nettement grise (Code Munsell : 7,5 Y 5-1, teintes à sec). Leur teneur en matière organique est relativement élevée (1,5 %).

Dans ces dépressions, la nappe aquifère est peu profonde, de sorte que les limons présentent souvent des caractères d'hydromorphie : taches ocre, concrétions ferromanganiques de quelques millimètres de diamètre, marmorisation dans les parties les plus argileuses.

Sous ces limons, d'importantes accumulations calcaires cimentent la formation détritique des Costières sous-jacente. Elles sont bien plus développées que sous les limons des Costières. Le cailloutis est souvent enrichi en calcaire sur une épaisseur de 1 à 1,50 m. La calcite est concentrée en un ou plusieurs niveaux qui peuvent se subdiviser latéralement. Compacts et ondulés, ils peuvent présenter un rubanement. Ces niveaux ont quelques centimètres d'épaisseur.

L'origine du matériel de ces limons est vraisemblablement double, éolienne et

colluviale. Leur parenté avec les limons des Costières et les « lœss de Lédénon » est nette, bien qu'ils soient plus argileux et qu'ils « portent la trace de leur formation en zone marécageuse » (J.R. Desautettes et J. Vigneron, 1958). En effet, le caractère « palustre » de cette formation n'a probablement pas été très marqué : aucune zone tourbeuse n'a été observée.

**Œ.** **Limons lœssiques des Costières.** La moitié du domaine de la formation détritique des Costières est recouverte par des limons sableux. Leur épaisseur est faible, de 0,75 m en moyenne. A partir de 0,50 m, ils sont figurés par des hachures. Les valeurs supérieures à 1,50 m correspondent à des « poches » ou des « gouttières » de très faible étendue, nombreuses sur les versants des Costières (poches de solifluxion ou de cryoturbation ou paléo-thalwegs).

Aucune subdivision stratigraphique nette n'est apparue au cours des levés. S'il est possible de distinguer limons calcaires et limons non calcaires, ces derniers résultent le plus souvent d'une évolution pédologique des premiers. Une telle distinction échappe donc à la cartographie géologique.

Les études granulométriques montrent une répartition dimensionnelle des particules semblables à celles d'un lœss : courbe unimodale, mode et médiane voisins de 30  $\mu$ , 60 à 70 % des particules comprises entre 2 et 50  $\mu$  (laboratoire de Sédimentologie du S.G.N., analyse du Service des Sols de la C.N.A.R.B.R.L. - Nîmes). La fraction sableuse est importante (10 à 20 % des grains supérieurs à 100  $\mu$ ) quantitativement équivalente à la fraction argileuse (inférieure à 2  $\mu$ ).

Minéralogiquement, les limons sont constitués essentiellement de quartz détritique (plus de 60 %), de calcaire (20 à 30 % de  $\text{CaCO}_3$  pour les limons non décalcifiés) et de minéraux argileux (kaolinite, montmorillonite, illite en quantités sensiblement équivalentes). Accessoirement, feldspaths (orthose et plagioclase) et muscovite sont décelés à l'analyse diffractométrique.

Comme dans la plupart des lœss, le calcaire se présente sous forme de pseudo-mycélium, de fines tubulures (manchons autour des anciennes radicelles), d'agrégats pulvérulents ou de concrétions dures (poupées). En outre, il forme à la base des limons, des accumulations importantes de plusieurs centimètres (croûtes). Celles-ci peuvent être meubles ou consolidées, cimentant les galets des Costières en poudingues.

La couleur est sensiblement rousse (Code Munsell : 7,5 YR 4-7 à 6-6 - teinte à sec) et à l'exception des zones déprimées, les limons des Costières ne sont guère hydromorphes.

Depuis P. Marcelin (1926), ces limons sont interprétés par la plupart des auteurs comme d'anciens lœss partiellement remaniés par colluvionnement et plus largement affectés par les pédogenèses du Quaternaire récent (décalcification). Ils sont assez comparables à la partie supérieure des « lœss de Lédénon ». Le matériel éolien est vraisemblablement le même, à l'exception de grains de sable repris par les limons des Costières au cailloutis sous-jacent (morphoscopie identique : 10 à 15 % des grains de 0,5 mm éolisés). Les limons des Costières ont cependant subi une action pédogénétique plus importante que les lœss de Lédénon.

Aux environs de Bouillargues, les limons des Costières renferment quelques petits cailloux anguleux (1 cm) provenant des calcaires crétacés de la Garrigue (observations du Service des Sols de la C.N.A.R.B.R.L.). Peut-être est-ce l'indice d'une ancienne continuité des limons des Costières avec les formations du piedmont de la Garrigue, avant l'enfoncement tectonique supposé de la Vistrenque.

**Ac.** **Complexe des formations du piedmont de la Garrigue.** Constituées de cailloux calcaires anguleux et de limons en lits alternés ou imbriqués, ces formations s'étendent principalement sur 1 à 2 km de large, au pied de la « Garrigue », de Nîmes à Lédénon. La même notation s'applique au remplissage des vallons ou *cadereaux* de la Garrigue, de composition voisine. Dans la région de Nîmes, ces formations atteignent des épaisseurs importantes (jusqu'à 20 m). Latéralement, leur lithologie varie très

rapidement entre deux faciès extrêmes, caractérisés l'un par une prédominance des cailloux calcaires (très étendu aux environs immédiats de Nîmes), l'autre exclusivement par des limons (« lœss de Lédénon »).

Stratigraphiquement, il est difficile de définir des unités de valeur régionale. Tout au plus certaines coupes font-elles apparaître une opposition entre des formations, plus anciennes, à limon roux (Code Munsell 5 YR 6-6 à sec), décalcifiées et des formations à limon brun-beige (16 YR 6-4), très calcaires.

Les fragments calcaires proviennent des formations affleurant dans la Garrigue ; ils sont relativement petits (en général inférieurs à 5 cm) surtout dans les faciès où les limons prédominent : dans ce cas leur taille ne dépasse guère le centimètre. J.P. Schwobthaler et H. Vogt (1955) ont mesuré leur émoussé (indice médian 53) et leur aplatissement (médiane 2,3). Le premier est très faible, donc les galets ont subi peu d'usures mécaniques ; le second indice indique une fragmentation mécanique plutôt qu'une usure chimique (A. Cailleux). Localement, ces cailloux sont cimentés par du calcaire et forment des masses bréchiques appelées « sistre ». Cette formation a une origine comparable à celle du « tapara » de la formation détritique des Costières : (migration *per descensum* (s.l.) du calcaire contenu dans les limons).

Les limons ont été étudiés autour de Lédénon par P. Marcelin (1946), J. Tricart (1952), J. von Falkenhayn (1967), E. Bonifay (1962), G. Mazenot (1956). Dans cette région, les cailloux calcaires sont répartis dans des lits minces et peu nombreux.

Des analyses granulométriques, faites au S.G.N. lors des levés se traduisent par des courbes semblables à celles de limons lœssiques quaternaires du Bassin parisien (médiane 30  $\mu$  avec 50 à 60 % de particules comprises entre 2 et 50  $\mu$  ; 15 % des particules inférieures à 2  $\mu$ ).

Dans l'ensemble, les limons rouges inférieurs ont une teneur plus importante en argile, tandis que les limons supérieurs sont plus chargés en sable. Les grains de quartz sont de type « non usé ». Très abondant (20 à 50 %), le calcaire se trouve sous des formes variées : pseudomycélium, petits tubes (manchons de radicules) simples ou composés, agrégats meubles ou nodules durs. Ces derniers sont plus abondants et plus gros (« poupées » pouvant dépasser 5 cm de longueur) dans les limons rouges inférieurs. La composition minéralogique de la fraction inférieure à 5  $\mu$  comprend, en quantités sensiblement égales, de la kaolinite, de l'illite et de la montmorillonite. Ces minéraux argileux sont en général mal cristallisés. Feldspaths (plagioclase) et paillettes de muscovite sont présents en petite quantité.

L'âge et le mode de mise en place du complexe des formations du piedmont de la Garrigue ne manquent pas de poser quelques problèmes ardu. Les essais d'interprétation ont été tentés surtout pour la « coupe de Collias » (1/50.000 Uzès - 5 km au Nord-Est de Lédénon). Le dernier en date est celui de J. von Falkenhayn (1967). La présence de limon Mindel à la base des formations n'est pas exclue, mais les arguments manquent. Rubéfiée et décalcifiée au moins partiellement, la moitié inférieure de la formation est rapportée par la plupart des auteurs au Riss, tandis que les limons brun-beige sont datés du Würm.

Une étude malacologique a été effectuée par G. Mazenot (1956). Pauvre, la faune est cependant « suffisante pour témoigner de la nette individualité du Würm ». La partie supérieure des limons brun-beige livre un mélange de faune wurmienne et de faune holocène, xérothermique et méridionale, témoignage d'un remaniement des lœss wurmiens (« colluvion lœssique caractérisée »). Aux environs de Nîmes, les sondages montrent que les formations du piedmont de la Garrigue reposent sur les cailloutis des Costières.

Ainsi la mise en place et l'évolution de ces formations, élaborées au cours d'un laps de temps aussi long (Mindel ? - Actuel) n'est pas simple. P. Marcelin (1950) a mis en relief les phénomènes de climat froid : dépôt de lœss, cryoclastie des calcaires, cryoturbation. La solifluxion est évoquée en particulier par P. Marcelin (1950) et J.P. Schwobthaler et H. Vogt (1955). La part du ruissellement et du colluvionnement n'est

peut-être pas négligeable (J. von Falkenhayn). L'altération, en particulier celle de l'Interglaciaire Riss-Würm (Bonifay, 1962) ou Mindel-Riss (Tricart, 1952), est rendue responsable de la rubéfaction des limons inférieurs. Tous ces processus se sont associés ou succédés pour élaborer l'ensemble du complexe dont l'originalité est d'associer des fragments calcaires et des concrétions au matériel limoneux d'origine lœssique.

**AFv. Complexe des formations de versant de la bordure sud et est des Costières.** Les versants des bordures sud et est des Costières sont recouverts par des formations de versant dont l'épaisseur peut dépasser plusieurs mètres. Ces formations sont essentiellement constituées de galets remaniés de la formation détritique des Costières et de limons sableux. En outre, marnes et sables du Pliocène et, localement, calcaires crétacés et molasses miocènes ont contribué à alimenter ces formations de recouvrement. Elles sont particulièrement développées sur les versants sud où les dépôts limoneux prédominent.

Ces formations présentent des analogies avec celles du piedmont de la Garrigue : alternances de lentilles à éléments grossiers et de couches limoneuses avec apport lœssique. Les différences de nature du matériel originel se sont traduites par d'autres modes de mise en place. En raison de leur plus grande taille et de leur forme différente, les galets de quartzite ne se sont pas comportés dans la dynamique des versants de la même manière que les petits cailloux calcaires de la Garrigue et, surtout, les éléments fins plus sableux se sont mieux prêtés au colluvionnement qu'à la solifluxion.

Ces formations ont été peu étudiées. Seul J. Barrière (1965) a tenté d'interpréter et de dater les différentes couches d'une coupe située au Sud-Est de Beaucaire, à l'Est du hameau de « Pauvre Ménage » ( $x = 780,65$  ;  $y = 169$ ) : sur les marnes grises du Plaisancien une coupe synthétique profonde de 3 à 4 m montre successivement :

- un cailloutis remanié attribuable au Riss et portant un sol rouge ;
- des sables (marnes sableuses) remaniés et transportés sans doute pendant le Würm ;
- des colluvions, à affinité lœssoides, post-wurmiennes à industrie néolithique et faune xérothermophile un peu montagnarde ;
- des colluvions (sables, limons, galets) post-bronze à faune xérothermophile.

Sur le même coteau, aux environs de Bellegarde (Mas Saint-Jean, Mas Dural) des limons rougeâtres sont associés ou non à des galets de quartzite remaniés. Leur coloration et leur faible teneur en calcaire (inférieure à 10 %) suggèrent un âge plus ancien (Riss ?) et un rapprochement avec les limons rouges inférieurs du complexe du piedmont de la Garrigue.

L'âge et la disposition de ces formations sont donc très divers. Fait général pour les versants, les unités lithologiques sont si peu étendues et si imbriquées entre elles qu'il n'est pas possible de les individualiser à l'échelle de la carte.

**Galets résiduels ou peu remaniés.** En plus des lambeaux d'alluvions sur les replats des Garrigues, précédemment décrits, au Nord-Est de la feuille, dans les collines de Montfrin et de Thézières, des replats faiblement inclinés vers le Sud (lambeaux témoins d'anciens glaciaires) sont tapissés par une mince couverture de galets de quartzites rouges. Ce sont des galets résiduels ou remaniés des formations fluviales d'Estezargues ou de formations analogues aux cailloutis des Costières.

**C. Colluvions indifférenciées.** Des alluvions indifférenciées ont été représentées dans la dépression de Jonquières, sur le piedmont des Costières entre Beaucaire et Sernhac et sur les versants des collines de Montfrin et de Thézières. Ce sont des formations d'épaisseur et de constitution très variables où sont représentés les divers matériaux qui affleurent sur ces versants.

**U. Tufs calcaires.** Deux formations de tufs (tufs de sources) ont été représentées sur la feuille. Le tuf de Courbessac, situé à une trentaine de mètres au-dessus du lit du Cadereau actuel, est vraisemblablement ancien. Le tuf barrant le lit du Cadereau entre Saint-Cézaire et le Puech du Teil, à l'Ouest de Nîmes, est beaucoup plus récent. Au

Sud-Ouest de Montfrin, dans le vallon des Orgnes, un tuf « récent » contient des feuilles de platane.

## REMARQUES TECTONIQUES

Les différentes régions, recoupées par la feuille Nîmes : Garrigues, Costières, Collines d'Avignon et Camargue, correspondent à des domaines structuraux différents. Cependant, les principales directions tectoniques sont sensiblement les mêmes sur toute l'étendue de la feuille :

— direction SW-NE, avec l'accident majeur de la faille de Nîmes (au moins 800 m de rejet).

— direction NW-SE, avec la faille Mont Lozère—Cap Couronne (A. Bonnet, 1962).

La direction Est-Ouest « pyrénéenne » est représentée par la structure plissée des Garrigues. La direction Nord-Sud « rhodanienne » n'apparaît pas nettement sur la feuille.

**1) Les Garrigues ; structure plissée du domaine pyrénéo-provençal** (voir également le schéma structural de la carte à 1/50.000 Nîmes, substances utiles, B.R.G.M., 1968).

Dans les Garrigues, les formations d'âge crétacé sont ondulées, selon des plis d'axe Est-Ouest. Ceux-ci, de dimensions réduites à proximité de Nîmes, sont plus importants avec un rayon de courbure plus réduit, au Nord de la feuille. Au Nord-Est du Camp des Garrigues, à proximité du Mas des Cabanès, les levés ont mis en évidence un net déversement de l'anticlinal de Poulx, vers le Nord. Ce déversement local apparaît lié à la faille Mas de Cabanès—Saint-Gervasy. Le jeu principal de celle-ci est donc contemporain de la phase finale du plissement. Les failles est-ouest apparaissent essentiellement localisées sur les flancs nord des plis ; le jeu des failles NW-SE apparaît mal. Les Garrigues constituent une partie du domaine plissé pyrénéo-provençal dont la phase principale de plissement est d'âge sannoisien. Les assises à Éocène inférieur du synclinal de Mangeloup (au Nord-Ouest de la feuille) sont d'ailleurs affectées d'un fort pendage. Avant la formation du fossé des Costières, le monoclinale de Beaucaire devait être relié à la région des Garrigues. Dans les collines de Beaucaire, les molasses burdigaliennes reposent en discordance angulaire sur les calcaires ludiens.

**2) « Fossé des Costières », « Fossé de Pujaut », faille de Nîmes : tectonique cassante, d'âge oligocène, suivant des failles d'orientation Sud-Ouest — Nord-Est.**

Au Sud-Ouest de la feuille Nîmes, les recherches de la S.N.P.L.M. ont mis en évidence un paléo-fossé très net, à l'emplacement de la partie centrale des Costières (Garon—Caissargues). La série d'âge stampien - aquitainien y atteint localement 2 000 m de puissance. La partie nord des Costières, se situe dans le prolongement du fossé de Pujaut (1/50 000 Avignon). Le haut-fond, constitué par les collines de Beaucaire, est en réalité un horst qui se prolonge en profondeur, jusqu'à Bellegarde. Le fossé compris entre la Montagnette et les Alpilles, se prolonge sur la feuille, au Sud-Ouest de Tarascon. La faille de Nîmes sépare le domaine des Garrigues apparemment stable depuis le plissement pyrénéen, du fossé des Costières et du fossé de Pujaut. Elle a dû jouer essentiellement au cours de la période Stampien - Aquitainien ; son rejet atteint localement 800 mètres.

**3) Tectonique ayant affecté les formations burdigaliennes et helvétiques : l'inclinaison des molasses miocènes à Montfrin.**

Des mouvements d'âge post-helvétique ont bien été mis en évidence en Provence et dans les Alpilles (J. Goguel, 1952). L'inclinaison des molasses miocènes à Montfrin est probablement liée à cette phase tectonique.

**4) Relèvement des pays du Bas-Rhône au Miocène supérieur et creusement ou subsidence de la « ria camarguaise ».**

A la suite des campagnes de recherches pétrolières (S.N.P.L.M.), une paléomorphologie en ría a été mise en évidence à la base des argiles pliocènes. Le toit des formations miocènes étant localement non érodé, à des profondeurs de 600 m, cette structure a été interprétée soit comme la conséquence d'une subsidence très localisée (Beaufort *et al.*, 1954), soit due à un creusement fluvial important lié à une baisse de niveau de la Méditerranée et un relèvement des pays du Bas-Rhône (G. Denizot, 1952).

##### 5) Interprétation tectonique de la structure des Costières.

L'existence d'une tectonique quaternaire dans cette partie du Languedoc est prouvée par la faille de Vauvert (Sud-Ouest de Nîmes, feuille à 1/50.000 Lunel). A la suite d'observations de terrain et de données des sondages pétroliers, G. Denizot (1946) puis A. Bonnet (1952, 1962) ont expliqué, pour une large part, la morphologie des Costières par le jeu d'une tectonique quaternaire. Dans ces hypothèses et, contrairement à la période Stampien - Aquitanien, la partie centrale des Costières a subi des mouvements positifs, tandis que la Vistrenque et la Camargue se sont affaissées de quelques dizaines de mètres. Le compartiment le plus surélevé est compris entre Vauvert et Bellegarde et, dans cette région, les sables pliocènes viennent en affleurement. Les limites entre les compartiments surélevés et les compartiments abaissés ont été figurées comme des flexures (voir le schéma structural, en marge de la carte). En l'absence de critères chronologiques précis, l'âge exact de ce jeu tectonique, dans le Quaternaire ancien, est inconnu (voir p. 14).

Cette interprétation est réfutée par les pédologues de la C.N.A.R.B.R.L., (J. Barrière, 1972) qui assimilent les différents « paliers » des Costières à des terrasses fluviales du Quaternaire ancien.

Au Sud-Ouest de Sernhac, à proximité du sondage 3.204, les formations pliocènes sont affectées d'un fort pendage en direction du N.NE.

##### 6) Les dépressions fermées des Costières.

La partie orientale des Costières est parsemée de dépressions fermées dont la plus vaste est celle de Jonquières — la Palud, profonde de 30 m environ. En l'absence de sondages profonds, leur genèse est difficile à déterminer. Une origine karstique, (anciens poljés liés à la période de creusement maximal du Rhône à Beaucaire), peut être envisagée. M. Gottis (1968) a émis l'hypothèse de leur formation par déflation éolienne.

## INDICATIONS MORPHOLOGIQUES, PÉDOLOGIQUES ET PHYTOSOCIOLOGIQUES

Sur la feuille Nîmes, comme dans la plupart des pays méditerranéens, la structure et la lithologie des différentes formations géologiques ont directement déterminé le modelé du paysage. Les propriétés de la partie superficielle de ces formations sont intervenues, pour une large part, dans la genèse et l'évolution des sols qu'elles portent. Cependant, les moindres phénomènes d'érosion et de colluvionnement et, à une plus grande échelle, les pratiques culturales, changent considérablement les modalités de cette évolution et la mosaïque des sols est encore plus complexe que le canevas des formations géologiques. En fonction de l'épaisseur des sols et de la profondeur atteinte par les racines, la lithologie de ces différentes formations a eu un rôle direct ou indirect dans l'évolution du tapis végétal qui les recouvre.

La morphologie, les sols et les associations végétales liés aux différentes unités géologiques seront rapidement évoqués :

### DOMAINE DES GARRIGUES

**Paysage et morphologie.** Pays original au relief confus, les Garrigues doivent essentiellement leur aspect à la nature calcaire de leur sous-sol. Le relief, en particulier les « vallons » d'orientation Est-Ouest, est lié à la structure plissée des Garrigues, selon des axes plus ou moins parallèles à cette direction. Deux niveaux de base relativement bas pour le massif, le Canyon du Gardon en lisière nord de la feuille et la dépression de la Vistrenque, ont donné aux ruisseaux d'orientation Nord-Sud, une grande force érosive. Ainsi, les Garrigues sont fortement incisées au Sud par les « cadereaux » et au Nord par les « combes » où P. Marcelin (1926) a distingué deux cycles d'érosion. Le cycle le plus récent est lié au creusement du Canyon du Gardon.

P. Marcelin (1926) oppose la « Garrigue rocheuse », au Nord, établie sur les calcaires de faciès urgonien, à la garrigue marno-calcaire, au Sud, établie sur les calcaires et marnes de l'Hauterivien et du Barrémien inférieur. Les formes karstiques sont plus développées dans la garrigue rocheuse, surtout à proximité du Canyon du Gardon ; les plus caractéristiques sont des avens, quelques poljés et quelques lapiez. Les dolines à formes caractéristiques sont rares. Quelques réseaux souterrains existent à proximité du Canyon du Gardon ; au Sud, le seul réseau connu est celui qui alimente la célèbre Fontaine de Nîmes.

Si l'existence d'une ancienne « surface d'érosion » à l'altitude 200-210 m est admise par la plupart des auteurs, l'existence de niveaux intermédiaires entre cette surface et la plaine de Vistrenque est l'objet de controverses. Le replat le plus net se situe vers les cotes 175-180 m.

**Les sols des Garrigues.** Région calcaire, caillouteuse, à relief vigoureux, les Garrigues de Nîmes sont le domaine de sols pauvres. Les reliefs portent des sols squelettiques et sur les replats protégés de l'érosion, s'observent localement des sols bruns calcaires et des rendzines. Sur les argiles rouges des poches karstiques depuis longtemps exposées aux pédogenèses, se sont développés des sols fersiallitiques. Dans les dépressions, les sols sont établis sur des colluvions : sols peu évolués sur les colluvions récentes, sols bruns sur les colluvions anciennes. Les placages lœssiques portent des sols bruns, plus ou moins lessivés.

**Le couvert végétal des Garrigues.** Le terme « garrigue » est indissociablement lié à une formation végétale buissonnante à caractère xérophile accusé. P. Marcelin (1926) distingue deux domaines dans les Garrigues de Nîmes :

— la garrigue rocheuse à chênes verts, lentisques et térébinthes (*Quercus ilex* L., *Pistacia lentiscus* L., *P. terebinthus* L., *Phyllirea media* L. et *P. angustifolia* L., *Euphorbia Characias* L., *Asphodelus cerasifer* Gay, *Ruta montana* L., *Brachypodium ramosum* R. et S.).

— la garrigue marno-calcaire à chênes kermès (*Quercus coccifera* L., *Thymus vulgaris* L., *Lavandula latifolia* Willd., *Rosmarinus officinalis* L., *Juniperus Oxycedrus* L., *Quercus pubescens* Willd., *Brachypodium ramosum* R. et S.).

La végétation des Garrigues de Nîmes, surtout celle de la garrigue marno-calcaire, a subi une nette « évolution régressive ». L'ancienne forêt de chênes verts a été fortement dégradée par l'Homme, l'élevage ovin et les incendies. Les termes ultimes de cette évolution sont, pour les calcaires, la lande à *Quercus coccifera* L., et à *Brachypodium ramosum* R. et S., puis la pelouse à *Asphodelus cerasifer* Gay, *Echinops Ritro* L. et *Euphorbia Characias* L.

Sur les placages lœssiques, s'est établie une association en proportions variables, d'espèces silicoles et calcicoles, avec chêne vert (*Quercus ilex* L.) et chêne Rouvre (*Quercus robur* L.).

Les parties anciennement cultivées des Garrigues sont parsemées d'un réseau de lignes de pierres, les « clapiers », dressés lors de l'épierrage des champs.

### LE PIEDMONT DES GARRIGUES

C'est un long coteau, à faible pente, empâté de limons. Sur ceux-ci, se sont développés des sols bruns calcaires avec de fréquentes accumulations calcaires. Localement, ces accumulations ont cimenté des débris de calcaire crétacé en une brèche appelée sistre. Naturellement voué à la culture de la vigne et des arbres fruitiers, le piedmont des Garrigues est maintenant urbanisé sur près des deux tiers de sa surface.

### LA VISTRENQUE

Plaine humide, jadis marécageuse, la Vistrenque est maintenant drainée par de nombreux drains profonds et des canaux. Dans le matériel limoneux qui recouvre cette dépression, se sont développés des sols noirs hydromorphes et calcimorphes. La teneur en calcaire atteint et dépasse 40 %. Fréquemment, ces sols présentent des accumulations calcaires à profondeur variable, localement indurées en « croûte ». Le drainage de la Vistrenque a permis le développement de la polyculture qui recule maintenant devant le front d'urbanisation de la ville de Nîmes.

### LES COSTIÈRES DE NÎMES

Les problèmes de la genèse de ces plateaux subhorizontaux et caillouteux ont été évoqués dans le paragraphe consacré aux formations détritiques des Costières.

**Sols des Costières.** Ils ont été étudiés et cartographiés en détail par le Service des Sols de la C.N.A.R.B.R.L.. De manière simplifiée, ils peuvent être classés en trois groupes :

- les sols anciens, développés sur les formations détritiques des Costières ;
- les sols établis sur les limons lœssiques ;
- les sols peu évolués sur roche mère d'origine colluviale, limoneuse ou limono-caillouteuse.

*Les sols anciens, développés sur les formations détritiques des Costières, souvent rouges, marquent fortement le paysage.* Le Service des Sols de la C.N.A.R.B.R.L. a distingué dans cet ensemble toute une gamme de sols et établi une relation entre le degré d'évolution du sol et l'âge du dépôt. Les sols les plus évolués sont localisés sur les plateaux les plus élevés. Ce sont des sols lessivés à accumulation argileuse colmatée rouge ou bariolée (sols fersiallitiques désaturés, très lessivés à podzoliques - gress caveran en dialecte). Ils sont parfois fossilisés sous une couverture de limons lœssiques qui sont eux-mêmes la roche mère de sols plus récents.

Le type de sol le plus caractéristique des Costières est un sol lessivé à accumulation argileuse rouge à bariolée, non colmatée (sol fersiallitique lessivé modal - gress à gapan). Il occupe des surfaces étendues entre Bouillargues et Meynes. Les sols les moins évolués de cette gamme sont des sols bruns caillouteux à accumulation argileuse rouge (sols fersiallitiques saturés à légèrement désaturés, lessivés). Ils sont fréquents entre Bellegarde et Beaucaire.

Dans les *limons lœssiques*, se sont développés *des sols bruns, plus ou moins lessivés*, selon l'âge du dépôt. Ils présentent souvent des accumulations calcaires diffuses ou en forme d'encroûtements (taparas), principalement localisées au niveau des discontinuités granulométriques, soit au contact des limons et des cailloutis sous-jacents, soit à la base des horizons lessivés des sols fossiles établis dans la partie supérieure de ces cailloutis.

Les phénomènes d'érosion et de colluvionnement, la cryoturbation quaternaire, les pratiques culturales ont, en bien des points, stoppé ou modifié les modalités de ces pédogenèses.

**Végétation des Costières.** Jadis probablement recouverte d'une forêt mixte de chênes verts et de chênes pubescents, les Costières ont été mises en culture. Dans la première moitié de ce siècle, l'exode rural a permis une reconquête partielle de la végétation, atteignant localement le stade forestier. Cette évolution « progressive » a cependant été freinée par l'importance du pâturage et de l'exploitation forestière. D'importants travaux d'irrigation, effectués au cours des vingt dernières années, ont permis de nouveau l'extension de la culture de la vigne, des arbres fruitiers, des céréales et des plantes fourragères. Entièrement renouvelé, le paysage des Costières est maintenant orné de haies et de cyprès dont le rôle est de freiner l'évaporation importante due à la fréquence des vents desséchants du secteur nord.

Dans la période de grand abandon des Costières, G. Kuhnholz-Lordat (1949) a examiné l'évolution de la végétation. Sur les plateaux à tendance xérophile, cet auteur a distingué une série de peuplement végétaux en stades successifs jusqu'à l'installation d'un climax forestier. La période post-culturale est marquée par le grand développement d'espèces telles que *Diplotaxis tenuifolia* D.C. (Roquette jaune) ou *Inula viscosa* Ait. sur les limons lœssiques et, plus généralement, de *Satureia* (*Calamintha*) *Nepeta* Clairville (Calament).

Localement peuvent se développer des Légumineuses arbustives avec *Spartium junceum* L., *Calycotome spinosa* Link., *Ulex parviflorus* Pourr. et *Sarothamnus scoparius* Koch. Plus généralement, la friche post-culturale passe directement à un stade préforestier avec landes à *Thymus vulgaris* L. et *Lavandula latifolia* (Aspic) ou à Cistes avec *Cistus salvifolius* et *Lavandula stoechas* L. sur terrains strictement silicicoles ou plus généralement *Cistus monspeliensis* L., en peuplements particulièrement vastes et continus sur les formations détritiques des Costières. Dans ces landes, apparaît et se développe le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) qui prédomine et subsiste dans des conditions très défavorables (xérophilie, incendies).

Les dépressions des Costières, anciennement drainées et cultivées, ont subi une évolution comparable à celle des plateaux. Elles ont été fréquemment envahies par *Holoschænus vulgaris* Link., si l'hydromorphie est constante ou par *Deschampsia media* (Gouan) R. et S., souvent associée à des sols à texture limoneuse et haute teneur en calcaire et qui supporte des périodes de sécheresse relativement prolongées. Par assèchement naturel, la dépression peut évoluer vers une lande à *Thymus vulgaris* L., par l'intermédiaire d'une prairie à *Brachypodium phoenicoides* et *Dactylis glomerata* L.

Bien des vallons des Costières ont également évolué vers une xérophilie relative, avec l'évolution régressive suivante : populaie → ulmaie → chênaie mixte (*Quercus pubescens* et *Q. ilex*) → chênaie verte (*Q. ilex*).

#### LES « PIEDMONTS » DES COSTIÈRES

Ils offrent des affleurements importants de formations marneuses et sableuses pliocènes et de colluvions et portent une mosaïque de sols de type peu évolué à brun faiblement lessivés, avec quelques rendzines et, dans les parcelles depuis longtemps protégées de l'érosion et du colluvionnement, des sols lessivés et des sols podzoliques, dans les terrains sablonneux. L'évolution du couvert végétal, assez comparable à celle des plateaux, a permis l'extension des landes à Cistes, avec des peuplements importants de *Cistus albidus* L., de landes à bruyères (*Erica scoparia* L. et *Calluna vulgaris* Salisb.), de pinèdes (*Pinus halepensis* Mill., *P. pinea* L.) et de chênaies à *Quercus pubescens* Willd. et *Quercus ilex* L.. Sur ces coteaux, la culture de la vigne et des arbres fruitiers est de nouveau en extension avec localement des terrassements importants, souvent imprudents, quant à la stabilité des versants.

## PARTIES EST ET SUD-EST DE LA FEUILLE

Les collines de Beaucaire ont beaucoup d'analogie avec la garrigue marno-calcaire. Les buttes-témoins des calcaires du Ludien et du Burdigalien apportent une diversification plus grande des peuplements végétaux.

Dans la vallée du Gardon, les alluvions anciennes, conservées en terrasses, sont les roches mères de sols faiblement fersiallitiques, à fersiallitiques lessivés, à réserve calcique. C'est encore le domaine de la vigne et des arbres fruitiers. Les alluvions sableuses de la basse vallée du Gardon sont le support de sols peu évolués, légèrement brunifiés. Vignes, céréales, plantes fourragères et prairies sont réparties en fonction de l'importance de l'hydromorphie. Les rives du Gardon sont occupées par une forêt galerie aux essences variées, avec *Quercus ilex* L. et *Quercus robur* L.

Dans les collines de Thézières et de Montfrin, domaines d'affleurements étendus de formations sableuses et marneuses pliocènes, il faut distinguer les zones érodées, à sols squelettiques, couvertes de landes à Cistes et les zones d'accumulations colluviales, où, selon l'âge de ces accumulations, les sols sont de type peu évolué à brun calcaire. Ces surfaces sont plantées de vigne et d'arbres fruitiers.

La basse vallée du Rhône est occupée par des alluvions, sableuses et limoneuses en surface, parfois caillouteuse. Les sols sont peu évolués, légèrement brunifiés, localement hydromorphes. La régularisation du cours du Rhône par les ouvrages de Vallabrègues a permis une meilleure répartition de l'eau, dans l'économie de ces sols. A l'exception de quelques forêts galeries résiduelles sur les anciennes rives du Rhône et des ruisseaux affluents, cette plaine est entièrement occupée par la polyculture.

Entre Beaucaire et Bellegarde, les sols établis sur les alluvions anciennes du niveau des Paravaudes sont du type brun, légèrement lessivé (sols fersiallitiques saturés modaux, à légèrement lessivés), caillouteux, avec accumulation calcaire en « croûtes ». Disposés en terrasses, ces sols conviennent à la culture de la vigne et des arbres fruitiers.

Au Sud-Est de la feuille, la petite Camargue, quadrillée de drains profonds et de canaux bordés de roseaux, est le domaine de sols hydromorphes, plus ou moins calcaires. Le drainage tend à faire évoluer ces sols vers un type brun calcaire. Ils peuvent encore contenir de faibles quantités de chlorure de sodium. Vignes, céréales et cultures fourragères se répartissent en fonction de l'efficacité du drainage.

## DONNÉES GÉOTECHNIQUES

(Remarques générales induites des observations de terrain)

PROBLÈMES POSÉS PAR LES FORMATIONS ;  
PARTICULARITÉS DES PRINCIPALES FORMATIONS

Six domaines seront successivement examinés : les Garrigues, le piedmont des Garrigues, la Vistrenque et les dépressions des Costières, les Costières, le piedmont des Costières et les collines de Thézières-Montfrin, les vallées du Gardon et du Rhône.

**Les formations des Garrigues.** Un assemblage hétérogène de matériaux durs et de matériaux meubles, la disposition des couches en structure plissée, la présence de poches et de dépressions karstiques, des recouvrements importants de matériaux lœssiques, sont les principaux éléments qui conditionnent les qualités des différents sols de fondation dans ce domaine. Dans les zones d'affleurement calcaire, les bancs sont souvent inclinés suivant des pentes atteignant 30° ; ils sont aussi fréquemment diaclasés et percés de cavités. Pour les fondations importantes, la possibilité d'existence de réseaux karstiques invisibles en surface peut entraîner la nécessité de faire des sondages préalables. Dans les fonds de dépressions et de poches karstiques peuvent

exister des phénomènes de poinçonnement. Le matériel de remplissage peut être en contact vertical avec la masse rocheuse. Ce matériel pouvant être hétérogène et sujet à des terrassements importants, il convient de tenir compte des essais les plus défavorables.

Les placages de limons peuvent avoir des épaisseurs très variables. Ils empâtent et masquent les irrégularités des formations sous-jacentes. Leur surface de base peut être inclinée. La résistance mécanique des limons est faible ; ils sont sujets à des tassements importants. Ils peuvent être affouillés par les animaux fousseurs et sont sensibles au gel et aux variations de teneur en eau.

**Le piedmont des Garrigues.** Les caractéristiques des sols de fondation de ce long coteau sont liées à celles des limons examinés dans l'alinéa précédent. Les grandes épaisseurs (jusqu'à 20 m) présentées par ces formations limono-caillouteuses n'excluent pas la présence possible de chicots rocheux à faible profondeur. Les passées caillouteuses sont parfois cimentées en brèches cohérentes (sistre) par des accumulations calcaires d'origine pédologique. Ces niveaux indurés peuvent être inclinés.

**La Vistrenque et les dépressions des Costières.** Ces aires basses sont tapissées de formations meubles, hydromorphes, d'épaisseur variable. Localement, les teneurs en argile de ces formations peuvent atteindre et dépasser 40 %. Celles-ci peuvent contenir des « croûtes » calcaires plus ou moins indurées et plus ou moins ondulées. Ces formations ont une résistance mécanique très faible et sont sujettes à des tassements importants. Aucune formation tourbeuse étendue n'a été observée.

**Les Costières.** En Costières, trois principaux types de sols de fondation sont à considérer : les formations détritiques des Costières, les limons et les colluvions limono-caillouteuses. Les formations détritiques des Costières constituées de galets, proches à contigus, bien enchassés dans une matrice argileuse, ont une tenue relativement bonne et une certaine homogénéité. Elles sont cependant localement hydromorphes et peuvent être indurées en conglomérats plus ou moins discontinus (Bellegarde). Les limons ont des épaisseurs relativement faibles dans l'ensemble ; leurs caractéristiques ne diffèrent guère de ceux des garrigues. Leur surface de base est cependant fréquemment horizontale. Les colluvions limono-caillouteuses ont des caractéristiques qui ne sont guère supérieures à celles des limons avec, en outre, une hétérogénéité importante.

**Le piedmont des Costières et les collines de Théziers—Montfrin.** Une très grande hétérogénéité des terrains, et l'affleurement souvent à mi-pente, de marnes et argiles pliocènes avec venues d'eau sont à l'origine de la faible stabilité d'une grande partie des versants de ces domaines. Des études détaillées du terrain, avant toute construction, sont le plus souvent nécessaires.

**Les vallées du Gardon et du Rhône.** Les alluvions anciennes, disposées en terrasses, ont en général de bonnes caractéristiques de portance, sauf sur les bords des replats, où elles sont fréquemment remaniées. Elles sont souvent peu épaisses et il est souvent nécessaire de tenir compte des caractéristiques mécaniques des formations sous-jacentes.

Les alluvions des fonds des vallées, généralement meubles, sableuses à limoneuses et hydromorphes, ont une faible résistance mécanique et sont sujettes à des tassements plus ou moins importants.

#### PROBLÈMES DE TERRASSEMENTS ET DE STABILITÉ

Les terrains durs, nécessitant le plus souvent l'emploi d'engins de déroctage et d'explosifs, sont essentiellement les calcaires du Crétacé. Les indurations des formations détritiques des Costières en poudingue (Bellegarde) et les passées caillouteuses des formations du piedmont de la garrigue (sistre) peuvent gêner

localement les terrassements.

Par contre, les limons, les colluvions, les alluvions limoneuses, les marnes et les sables du Pliocène présentent des risques d'affouillement et doivent être terrassés selon des talus à faible pente. Sur les versants, en particulier ceux du piedmont des Costières et des collines de Théziers—Montfrin, les problèmes de stabilité de pentes doivent être étudiés avant tout mouvement de terre important.

#### PROBLÈME DU RÉEMPLOI DE MATÉRIAUX

Parmi les déblais les plus courants, seules les formations détritiques des Costières et les passées caillouteuses les mieux calibrées des formations du piedmont de la Garrigue peuvent être réutilisées comme matériaux de remblais.

#### REMARQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Au Sud des garrigues crétacées qui occupent toute la partie nord-ouest de la feuille, l'existence de nappes d'eau souterraines est favorisée par l'extension remarquable des formations détritiques plio-quaternaires et l'on peut y distinguer trois principaux ensembles aquifères se développant tous les trois selon une direction NE-SW :

- au Nord, la Vistrenque, étroit couloir n'excédant pas 5 km de largeur, bordant, à leur partie méridionale, les garrigues nîmoises ;
- au Centre, la Costière, plateau de 7 à 8 km de largeur dominant quelque peu les régions périphériques ;
- au Sud, une basse plaine traversée par le Rhône et appartenant déjà à la Camargue.

Enfin on doit considérer à part — outre la région des garrigues déjà citées — le secteur, moins homogène du point de vue aquifère, qui est situé à la partie nord-est de la feuille, en amont de Beaucaire.

Les principales données sur l'hydrogéologie de ces différentes zones sont les suivantes :

##### **Garrigues nîmoises**

Elles comportent deux niveaux aquifères assez bien isolés mais très compartimentés.

— Le premier est constitué par les calcaires du Barrémien supérieur ; très karstifiés, ces calcaires sont, pour leur plus grande part, drainés par le Gardon où ils contribuent à l'alimentation de grosses sources, pérennes ou temporaires, toutes situées sur la feuille Uzès. Ils sont en outre susceptibles de recéler des réserves au voisinage de cette vallée où les conditions structurales permettent l'existence d'une zone noyée permanente au-dessous du niveau d'écoulement du Gardon ; ce réservoir est encore pratiquement inutilisé.

— Le second est constitué par les calcaires de l'Hauterivien supérieur ; moins karstifiés que les précédents, ces calcaires sont drainés par quelques sources toutes situées à la partie méridionale des garrigues : mais, qu'elles soient pérennes ou temporaires, ces sources n'ont un débit élevé qu'en période de crue. La plus importante est la Fontaine de Nîmes dont le bassin hydrogéologique se développe surtout sur la feuille Sommières (à l'Ouest de la feuille Nîmes). Les 20 à 30 l/s qu'elle écoule à l'étiage n'ayant pu satisfaire longtemps les besoins de la cité, c'est à des ressources éloignées que Nîmes dut recourir, dès la période d'occupation romaine, pour assurer son alimentation en eau : d'abord, pendant plusieurs siècles, par dérivation d'une partie de l'écoulement naturel de la Fontaine d'Eure à Uzès (au Nord de la feuille Nîmes) grâce à un aqueduc long de 50 km dont le Pont du Gard constitue le plus remarquable vestige ; puis, depuis 1873, par pompage dans les alluvions du

Rhône en aval du confluent du Gardon, l'eau étant amenée à la ville par deux conduites de près de 25 km chacune. Les pompages effectués récemment sur les principaux exutoires des calcaires hauteriviens (Fontaine de Nîmes, Foux du Saint-Gervasy) ont montré qu'il n'y avait pratiquement pas de réserve en-dessous des seuils d'écoulement : aussi peut-on penser que les apports souterrains de ces calcaires à la nappe de la Vistrenque, bien que probables, ne doivent pas être très élevés.

### **Vistrenque**

Elle constitue, entre Garrigues et Costières, une zone déprimée en légère déclivité du Nord-Est vers le Sud-Ouest qui forme l'amont d'un système aquifère se poursuivant, bien au-delà de la feuille, jusqu'à la Mer Méditerranée.

L'épaisseur des formations détritiques (sables et conglomérats plus ou moins argileux) qui occupent cette zone augmente régulièrement du Nord-Est - où affleure le mur imperméable du réservoir aquifère (argiles plaisanciennes) - vers le Sud-Ouest où elle atteint quelques dizaines de mètres.

Ce réservoir recèle une nappe continue mais localement stratifiée par des passées argileuses ou par des passées conglomératiques fortement cimentées. Les paramètres hydrauliques de l'aquifère peuvent ainsi varier dans d'assez fortes proportions selon les points, de même que la situation des niveaux aquifères productifs ; on observe ainsi des transmissivités comprises entre  $10^{-2}$  et  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s et des coefficients d'emmagasinement allant de quelques % jusqu'à plus de 10 %.

La profondeur de l'eau par rapport au sol dépasse rarement cinq mètres et son niveau d'équilibre est soumis à des fluctuations saisonnières en général comprises entre un et trois mètres ; toutefois la nappe ne cesse pas d'être drainée par le Vistre, que l'on soit en hautes ou en basses eaux.

Les points de prélèvement, tant à usage alimentaire qu'à usage agricole, sont particulièrement nombreux en Vistrenque et leurs débits varient entre quelques m<sup>3</sup>/h et jusqu'à 200 m<sup>3</sup>/h.

Le volume global de ces prélèvements paraît encore inférieur aux possibilités de la ressource disponible, les possibilités d'alimentation de la nappe étant par ailleurs favorisées par le développement, sans cesse en accroissement au cours de ces dernières années, de la pratique des irrigations. A cet égard, on doit observer que la diminution parfois constatée du débit de certains captages n'est pas imputable, si l'on s'en réfère à la piézométrie générale de la nappe, à un appauvrissement de la ressource, mais au vieillissement des ouvrages captants (colmatage par les particules fines, incrustations).

Il serait opportun que soient précisées les possibilités réelles et les limites permises pour l'avenir à une exploitation plus rationnelle de ce réservoir.

### **Costière**

En situation topographique élevée par rapport aux régions périphériques, les formations détritiques de la Costière constituent elles aussi un système aquifère bien délimité, mais moins épaisses et moins perméables, elles n'offrent qu'un intérêt réduit du point de vue hydrogéologique.

La nappe qu'elles recèlent est « perchée » en raison de la position élevée de son mur imperméable (argiles plaisanciennes sur presque toute l'étendue) et son alimentation se fait exclusivement par les pluies.

L'épaisseur de la zone saturée est variable, liée à la morphologie irrégulière du substratum, mais, même dans les zones les plus favorables où cette épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres, le débit des ouvrages ne dépasse qu'exceptionnellement 10 m<sup>3</sup>/h.

Par contre, son plus grand intérêt est d'assurer l'écoulement de nombreuses petites sources, toutes utilisées, situées soit sur sa bordure nord — où la nappe de la Vistrenque bénéficie en outre d'une alimentation permanente par déversement souterrain de la nappe de la Costière tout au long de la limite de ces deux systèmes aquifères — soit sur sa bordure sud et notamment dans le val de Bellegarde emprunté par la route nationale 113.

Dans la partie orientale où les argiles plaisanciennes sont absentes, la formation aquifère repose directement sur les calcaires créacés qui jouent un rôle de drain pour les eaux de surface (dépression fermée de Jonquières-et-Saint-Vincent) ainsi que pour les eaux souterraines de ce secteur ; mais l'exutoire des eaux ainsi dérivées n'est pas encore connu : il pourrait se situer vers la plaine du Rhône, peut-être à la Font de Pécoud sous les carrières de Beaucaire ?

*Aussi bien en Costière qu'en Vistrenque*, les quelques sondages profonds réalisés à ce jour pour la prospection pétrolière n'ont pas permis d'établir l'existence de réservoirs aquifères intéressants en dessous des argiles plaisanciennes. Seuls quelques indices de présence d'eau (pertes de circulation en cours de forage) ont été notés à la traversée de formations calcaires ou dolomitiques. Par contre, un forage destiné à la recherche d'eau à Garons (965.6.94) s'est révélé sec sur les 50 m reconnus dans le Miocène argilo-gréseux sous près de 300 m de Pliocène. Faute de données plus nombreuses et plus précises, aucune conclusion ne peut être apportée sur l'intérêt hydrogéologique des formations infra-pliocènes.

### **Plaine du Rhône en aval de Beaucaire**

Partie septentrionale de la vaste zone d'affaissement de la Camargue, cette région a vu se succéder durant le Quaternaire plusieurs épisodes de sédimentation liés à la genèse du delta du Rhône.

Une alternance de dépôts à prédominance argileuse ou graveleuse se rencontre ainsi au-dessus des cailloutis villafranchiens et l'on peut distinguer deux réservoirs aquifères d'intérêts très inégaux :

- un réservoir supérieur, quaternaire, renfermant une nappe superficielle de faible épaisseur et d'assez médiocre intérêt, car contenue dans des formations hétérogènes et de faible perméabilité ;

- un réservoir inférieur, villafranchien et quaternaire, renfermant la nappe principale de la région, captive sur sa plus grande part sous des passées de marnes et de tourbes. La profondeur du toit de ce niveau aquifère augmente en allant du Nord-Ouest (bordure de la Costière) au Sud-Est (val du Rhône) et son épaisseur varie entre 15 et 25 mètres. Les transmissivités sont comprises entre  $10^{-1}$  et  $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La piézométrie de ces deux nappes, malgré quelques différences locales, exprime bien les origines diverses de leur alimentation tout en mettant en évidence leurs relations avec le Rhône qui ne sont pas les mêmes sur les deux rives :

- *en rive droite*, on observe une alimentation permanente par le Rhône — et à un moindre degré par la bordure de la Costière — le drainage se faisant selon un axe NE-SW emprunté par le canal du Rhône à Sète (ce dernier ne paraît pas toutefois être à l'origine de ce drainage qui serait plutôt lié à l'existence d'un chenal souterrain de bonne perméabilité).

- *en rive gauche*, le Rhône joue au contraire un rôle de drain, l'écoulement des nappes vers le Sud-Ouest étant favorisé par la bonne perméabilité des alluvions d'un ancien lit du fleuve développé durant le Quaternaire entre la Montagnette et les Alpilles (à l'Est de la feuille Nîmes), région où des irrigations importantes assurent l'essentiel de l'alimentation souterraine.

Tant en rive droite qu'en rive gauche, d'importants réseaux de drainage ont permis d'assainir de vastes surfaces autrefois marécageuses.

Enfin, du point de vue chimique, il faut noter une dégradation de la qualité de l'eau à la partie méridionale du secteur situé en rive droite du Rhône, au voisinage notamment du hameau des Corrèges où la présence d'eaux salées et ferrugineuses limite l'utilisation des deux nappes.

### **Zone située en amont de Beaucaire**

Quoique plus diversifiée du point de vue géologique, cette zone n'offre de ressources intéressantes que dans les alluvions récentes du Gardon et du Rhône.

Bien que les épaisseurs soient plus réduites qu'en aval de Beaucaire, ces alluvions possèdent une très bonne transmissivité en général - comprise entre  $10^{-1}$  et  $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  -

et elles autorisent souvent des prélèvements élevés au voisinage des écoulements de surface qui les traversent : le débit de ces prélèvements reste évidemment fonction de la cote des écoulements et des possibilités de réalimentation du réservoir aquifère, parfois limitée par colmatage des berges.

Ainsi la ville de Nîmes a multiplié ses ouvrages de captage à proximité du lit du Rhône, peu à l'aval du confluent du Gardon (station de Comps), la capacité de production étant de l'ordre de 3 000 m<sup>3</sup>/h à l'étiage du fleuve (1964). Les aménagements hydrauliques liés à la création du barrage de Vallabrègues sur le Rhône en amont du confluent du Gardon ayant eu pour effet de modifier les niveaux naturels d'écoulement, il a fallu rechercher les moyens de maintenir et renforcer la capacité de production de la station de Comps, où le niveau du fleuve s'est trouvé abaissé de plus d'un mètre.

### SUBSTANCES MINÉRALES

Une carte spécifique a été élaborée pour la coupure à 1/50.000 Nîmes (1968) (voir carte géologique).

Tableau des équivalences approximatives des notations

1/80.000 Arles 1969	1/80.000 Avignon 1926	1/50.000 Nîmes 1973	1/50.000 Uzès 1967	1/50.000 Sommières 1974
	A <sup>1</sup>	U C	U E	C
A <sub>1</sub> } A <sub>1</sub> } Acr	Aa1	A <sub>Fv</sub> Ac	E OE	P
Al	a <sup>2-1</sup> a <sup>2</sup>	OE CF } Fz }	Fz	{ CF Fz }
	a <sup>1a-el</sup> a <sup>1e</sup> a <sup>1c</sup> a <sup>1a</sup>	{ Fy Fya Fx F	Fy Fx	Fy Fx
a <sup>v</sup>		Fvb	Fv	Fv
p <sup>2</sup>	p <sup>1</sup> Po	Fva p2b p2a	p2b	
p <sup>1</sup>	p <sub>I</sub>	p1 Rm	p2a	
m <sup>3</sup>	m <sup>3b</sup> m <sup>3a</sup>	m2b m2a	m2g m2m	{ m1b3 m1b2 m1b1 }
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> m <sub>I</sub> p.p. e <sup>3</sup>	m1b g3 e7	e7	e7
	<sup>e</sup> III-V p.p. CII	e1-4 n4bU	e n4bU	e1-4 n4bU
CIII <sub>u</sub>		{ n4a3 n4a2 } n4a1 }	n4a	{ n4aB n4aM }
CIII	CIII	n3b n3a	n4-3 n3b n3a	n3b n3a
CIV <sub>a</sub> CIV <sub>b</sub>	CIV <sub>a</sub> CIV <sub>b</sub>			

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAL H. (1965) — Contribution à l'étude des terrasses rhodaniennes : les surfaces situées au NW de Villeneuve-lès-Avignon (Gard). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. VIII, p. 676-684.
- BALLESIO R. (1971) — Le Pliocène rhodanien. *Docum. Lab. géol. Univ. Lyon*, h.s., p. 201-239, 3 fig., 3 tabl.
- BARRIÈRE J. (1965) — Utilisation des faunes malacologiques dans l'étude des sols et sédiments récents et quaternaires. Application à l'étude du calcaire lacustre de Vendres et à l'étude des formations colluviales de Pauvre Ménage (Languedoc). D.E.S. Sciences (géologie), Montpellier, 88 p.
- BARRIÈRE J. (1966) — Sur la limite Pliocène-Quaternaire et la présence du Calabrien dans les régions rhodaniennes et en Languedoc. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 4, p. 160-161.
- BARRIÈRE J. et TONI C. (1972) — Les Costières du Gard. Données nouvelles et interprétation. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (3), t. 6, fasc. 3, p. 231-276. Montpellier.
- BARRIÈRE J., BOUSQUET J.-Cl. et TONI Cl. (1973) — Données nouvelles sur la néotectonique des Costières du Gard. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 277, sér. D, p. 285-288.
- BEAUFORT L., BRUNEAU J., GRÉPIN A., JULIAN Y. (1954) — Ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène en Camargue. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6), t. IV, p. 175-184, 3 fig.
- BILLANGES A. (1942) — La Garrigue de Nîmes ; étude de géographie régionale. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, Montpellier, 2<sup>e</sup> sér., t. XIII, fasc. 2, p. 72-135.
- BLAYAC J. (1922) — Note préliminaire sur quelques observations relatives au Quaternaire du Bas-Languedoc. *C.R. Ass. Franc. avancement des sciences*, 16<sup>e</sup> session, Montpellier, p. 281-284.
- BONIFAY E. (1962) — Les terrains quaternaires dans le Sud-Est de la France. *Travaux Inst. Préhist. Univ. Bordeaux*, vol. II, 194 p.
- BONNET A. (1953) — Tectonique post-villafranchienne du Languedoc méditerranéen. *C.R. 4<sup>e</sup> congr. INQUA*, Rome-Pise, p. 209-215.
- BONNET A. (1962) — Liaison des tectoniques profondes et superficielles en Camargue. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. LIX, n° 269, p. 251-259.
- BONNET A. (1963) — Nouvel essai de corrélation des terrasses rhodaniennes. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. V, p. 543-554, 5 fig.
- BONNET A. (1965) — Le Quaternaire des environs de Saint-Gilles (Gard). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. VII, p. 571-579, 2 fig., 1 pl.

- BONNET A. (1966) — Structure de la Camargue entre Arles, Beaucaire et Saint-Gilles-du-Gard. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 7, p. 258-259. Observations, fasc. 9, p. 348.
- BONNET A. (1967) — Sur l'âge et la disposition tectonique des formations du synclinal de Fougéras. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 2, p. 41-42.
- BONNET A. et BORNAND M. (1970) — Pédologie et Quaternaire dans la vallée du Rhône moyen. *Bull. Assoc. Franç. Et. Quat.*, n° 23-24, p. 105-116, 2 pl.
- BONNET A. et DUBOUL-RAZAVET C. (1952) — Contribution à la connaissance du Pliocène du Bas-Rhône. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6), t. II, p. 123-130, 3 fig.
- BONNET A., JULLIAN Y., LYS M., VATAN A. (1952) — Études dans le Néogène du Bas-Rhône, *Att. VII<sup>e</sup> Conv. naz. Metano e Petroleo*, Taormina, 16 p.
- BORDAS, KUHNHOLTZ-LORDAT, LONG, MARCELIN, MARRES et NÈGRE (1949-1952) — Contribution à la mise en valeur de la Costières du Gard (étude du milieu). *Mém. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, 1949, 411 p., 8 pl. ph., 2 cartes h. t.
- BOULAY (Abbé) (1889) — Flore pliocène des environs de Théziers (Gard). *Mém. Académie de Vaucluse*, Avignon, t. 8, 70 p., 7 pl.
- BOURDIER F. (1962) — Le bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et préhistoire. Thèse (1958), Paris, C.N.R.S., t. I, texte, 346 p. ; t. II, 295 p., 297 fig., bibl., index.
- BOUTEYRE G. et ALLEMANN M. (1964) — Sur quelques phénomènes périglaciaires en Costières du Gard. Un réseau polygonal de fentes en coin. *Bull. Soc. Ét. Nat. Nîmes*, t. L, p. 84-96.
- BRUN P. de, et MARCELIN P. (1924-1962) — Note sur l'Urgonien de la Baume Saint-Vérédème. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLIV, p. 132.
- CABOUAT P. et MARCELIN P. (1954) — Sur la formation et l'âge de quelques terres rouges de la région nîmoise. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XXV, fasc. 2, p. 261-268. Montpellier.
- CAILLEUX A. et TRICART J. (1965) — Initiation à l'étude des sables et des galets. t. 2, valeurs numériques. Paris, C.D.U., C.E.P.
- CARRIÈRE G. (1891) — Sur un échantillon de calcaire poli et strié du quartier de la Croix de Fer. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XIX, p. XXXVII.
- CARRIÈRE G. (1904) — Traces de rivage pliocène aux environs de Nîmes. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XXXII, p. 86-90.
- CARRIÈRE G. (1905) — Sur un gisement de Bélemnites dans la première carrière, à gauche de la route d'Alès, après le cimetière protestant. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XXXIII, p. XVIII, XIX.

- CARRIÈRE G. (1912) — Contacts du Pliocène marin et du Sannoisien avec l'Hauterivien aux environs de Nîmes. *Assoc. Fr. pour l'avancement des Sciences*, 41<sup>e</sup> session, Nîmes, p. 324-326.
- CAVELIER Cl. (1971) — Note sur le classement des dépôts paléogènes des bassins du Gard et du Nord de l'Hérault. A propos de la terminologie à utiliser sur la feuille Anduze à 1/50 000. Rapport B.R.G.M. n° 71 SGN 315 GEO, 55 p.
- CAZALIS de FONDOUCE (1881) — Sur l'action érosive du sable en mouvement sur les cailloux roulés de la vallée du Rhône. *Mém. Acad. Sci. et Lett. Montpellier*, sect. Sciences, t. X, p. 103.
- CAZIOT M. (1890) — Étude sur le bassin pliocène de Théziers-Roquemaure (Gard). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XIX, p. 205-219.
- CAZIOT M. (1896) — Étude sur le Tongrien inférieur des environs de Nîmes. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XXIV, p. 32.
- CHEYLAN G. (1966) — Études géologiques des aménagements hydrauliques de la Compagnie du Bas-Rhône—Languedoc. Thèse Sciences, Grenoble, p. 71-80 et p. 311-317.
- COLLOT L. (1904) — Pliocène et Quaternaire de la région du Bas-Rhône. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (4), t. IV, p. 401-415.
- C.N.A.R.B.R.L. Nîmes (1957-1971) — Archives (cartes, rapports et fiches du Service d'étude des Sols).
- C.N.A.R.B.R.L. Nîmes (1967) — Chronologie des paléosols du Bas-Languedoc. Excursion pédologique du 29 sept. - 2 oct. 1967, 53 p.
- COURRIÈRE J. et MARCELIN P. (1928-1929) — Sur la présence de loess en Costière. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLVI, p. 141-148.
- DEBELMAS J. et THIEULOY J.P. (1965) — Étage Hauterivien. Colloque sur le Crétacé inférieur. Lyon 1963. *Mém. B.R.G.M.*, n° 34, p. 85.
- DEMANGEON P. (1959) — Contribution à l'étude de la sédimentation détritique dans le Bas-Languedoc pendant l'ère tertiaire. *Recueil des travaux des lab. de bot., géol. et zool. de la Fac. des Sci. de Montpellier*, 393 p.
- DEMANGEON P. (1960) — Données apportées par les transports minéraux sur l'évolution morphotectonique du Bas-Languedoc au Tertiaire. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, (2), vol. III, fasc. 3, p. 149-157.
- DEMARCO G. (1970) — Étude stratigraphique du Miocène rhodanien. *Mém. B.R.G.M.*, n° 61, 257 p., 4 pl. h.t.
- DENIZOT G. (1934) — Note sur l'extension des cailloutis pliocènes, dans le Sud-Est de la France. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), t. IV, p. 613-648, 14 text-fig.
- DENIZOT G. (1940) — Pliocène et Quaternaire du Bas-Rhône. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. XLII, n° 203, p. 163-171.

- DENIZOT G. (1946) — La Costière nîmoise. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLVIII, p. 137-151.
- DENIZOT G. (1952) — Le Pliocène dans la vallée du Rhône. *Rev. Géogr. Lyon*, vol. XXVII, n° 4, p. 327-357, 9 fig., 1 pl.
- DEPAPE G. (1922) — Recherches sur la flore pliocène de la vallée du Rhône (Gard). *Ann. Sci. Nat. Bot.*, 10<sup>e</sup> série, 4, p. 73-266, 15 pl., 45 fig.
- DEPÉRET Ch. (1890) — Note sur le Pliocène et sur la position stratigraphique des couches à Congéries de Théziers (Gard). *Bull. Serv. Carte. géol. Fr.*, t. II, n° 16, p. 19-28.
- DESAUNETTES J.-R. et VIGNERON J. (1958) — Étude pédologique au 1/50 000 de la Costière du Gard et de la Vistrenque. *Ann. Agro.* n° 6, p. 749-789.
- DUBOUL-RAZAVET Ch. (1956) — Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône. *Mém. Soc. géol. Fr.*, n° 76, 234 p., 3 pl. h.t., 1 carte h.t.
- DUMAS E. (1875-1877) — Statistique géologique, minéralogique et paléontologique du département du Gard. 3 vol., Bertrand éd. Paris. vol. 1 (1875), 284 p. ; vol. 2 (1876), 735 p., 46 fig., 9 pl. ; vol. 3 (1877), 518 p., 32 fig., 5 cartes h.t.
- FALKENHAYN J. von (1967) — Le bassin d'Uzès et ses bordures. Étude géomorphologique. Thèse 3<sup>e</sup> cycle géographie, Fac. Lettres, Paris, 197 p.
- FAURE D. (1965) — Le Barrémien du Sud du couloir rhodanien. Colloque sur le Crétacé inférieur, Lyon 1963. *Mém. B.R.G.M.*, n° 34, p. 135-146.
- FONTANNES F. (1884) — Description sommaire de la faune malacologique des formations saumâtres et d'eau douce du groupe d'Aix dans le Bas-Languedoc, la Provence et le Dauphiné. Éd. Savy, Paris, 60 p., 7 pl.
- FONTANNES F. (1885) — Le groupe d'Aix, dans le Dauphiné, la Provence et le Bas-Languedoc. Études stratigraphiques pour servir à l'histoire de la période tertiaire dans le bassin du Rhône. Éd. Georg à Lyon et Savy à Paris. 1<sup>ère</sup> partie, VIII, 200 p.
- FONTANNES F. (1885-1886) — Sur les causes de la production de facettes sur les quartzites des alluvions pliocènes de la vallée du Rhône. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XIV, p. 246-255.
- GABERT-DELAY Y. (1965) — La Montagnette et son cadre de plaines rhodaniennes. *Méditerranée*, n° 4, p. 251-269, 1 carte h.t., 2 pl. ph., Aix-en-Provence.
- GABERT-DELAY J. (1967) — L'importance des déformations quaternaires et du modelé cryonival wurmien dans les pays du Bas-Rhône et de la Basse-Durance. *Méditerranée*, n° 2, p. 87-107, 1 carte, 3 pl. ph., Aix-en-Provence.
- GABERT-DELAY J. (1969) — Les terrasses quaternaires et la néotectonique dans la région de Châteauneuf-du-Pape. *Méditerranée*, n° 4, p. 371-382, 1 carte in t., Aix-en-Provence.

- GABERT-DELAY J. (1969) — Morphologie des pays du Bas-Rhône dans la région d'Avignon. *Études vauclusiennes*.
- GEORGE P. (1935) — La région du Bas-Rhône. Étude de géographie régionale. Paris.
- GEORGE P. (1942) — Interprétation des dislocations récentes, pliocènes et quaternaires dans la région du Bas-Rhône et du Bas-Languedoc. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, p. 38-40.
- GEORGE P. (1943) — Essai de synthèse de l'histoire morphologique des pays du Bas-Rhône et du Bas-Languedoc au Pliocène et au Quaternaire. *Études rhodaniennes*, p. 181, Lyon.
- GEORGE P. (1943) — A propos des surfaces d'aplanissement du Bas-Languedoc. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XIV, fasc., p. 3-16, Montpellier.
- GEORGE P. (1944) — Sur la date des surfaces d'aplanissement du Bas-Languedoc. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XV, fasc. 2, p. 159-166, Montpellier.
- GOGUEL J. (1938) — Remarques sur la tectonique du massif de Gigondas et des régions voisines. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), t. 8, p. 355-362.
- GOTTIS M. (1968) — Les dépression fermées du Languedoc. Hypothèses sur leur mode de formation. *Act. Soc. linn. Bordeaux*, t. 105, sér. B, n° 18.
- GUILLIEN Y., MARCELIN P., RONDEAU A. (1951) — Le modelé cryonival autour de Nîmes et d'Avignon. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 233, 2<sup>e</sup> sér., nov. 1951, p. 1131-1132.
- KUHNHOLTZ-LORDAT G. (1948) — La végétation de la Costière et sa cartographie. In BORDAS, KUHNHOLTZ-LORDAT, LONG, MARCELIN, MARRES et NÈGRE (1949-1952) - Contribution à la mise en valeur de la Costière du Gard. *Mém. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, 1949, p. 61-226, 1 carte h.t.
- LADOR M. (1884) — Compte rendu de l'excursion à Labeaume. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XI, p. 111-115.
- LEXIQUE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONAL (1957) — Quaternaire. Vol. 1, fasc. 4b (direction F. Bourdier), 231 p.
- MARCELIN P. (1921-1923) — Contribution à l'étude des Garrigues nîmoises. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLIII, p. 108-109.
- MARCELIN P. (1926) — Contribution à l'étude géographique de la Garrigue nîmoise. *Études rhodaniennes*, Lyon, vol. II, p. 41-165.
- MARCELIN P. (1928-1929) — Note sur un remplissage alluvionnaire dans un « cadereau » à Nîmes. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLVI, p. 149.
- MARCELIN P. (1942) — Sur le problème des terres rouges. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XIII, p. 1-9, Montpellier.
- MARCELIN P. (1947) — Observations sur des terres et des sols en région méditerranéenne. I : Terres et sols de Costières. Nîmes, Chastanier et Alméras éd., 145 p., 1 carte.

- MARCELIN P. (1949-1952) — Terres de Costière. In : BORDAS, KUHNHOLTZ-LORDAT, LONG, MARCELIN, MARRES et NÈGRE (1949-1952) - Contribution à la mise en valeur de la Costière du Gard. *Mém. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, 1949, p. 228-411.
- MARCELIN P. (1950) — Phénomènes du vent et du froid au Quaternaire supérieur dans la région nîmoise. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XXI, fasc. 2, p. 85-122.
- MARCELIN P. (1946-1960) — Sur les paléopodzols du Bas-Languedoc. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLIX, p. 47-51 (1959).
- MARCELIN P. (1959) — Sur la terre rouge. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLIX, p. 67-71.
- MARCELIN P. et RUTTEN P. (1946-1960) — Loess et lapiaz aux environs de Nîmes. Notes sur un pédiment quaternaire du Languedoc. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XLIX, p. 53-66.
- MAZENOT G. (1956) — Recherches sur les faunes malacologiques du loess récent wurmien et de divers limons terrestres holocènes dans le SE de la France. *Bull. mens. Soc. linn. Lyon*, n° 1, p. 9-24, n° 2, p. 41-56, n° 3, p. 73-86.
- MICHAUX J. (1971) — Histoire de la faune de rongeurs de l'Europe sud-occidentale au cours du Pliocène et du Pléistocène inférieur. Thèse sc. nat., Montpellier, 63 p., 8 tabl., 12 fig. h.t.
- MOULLADE M. et THIEULOY J.-P. (1967) — Les zones d'Ammonites du Valanginien supérieur et de l'Hauterivien vocontiens. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 6, p. 228-230.
- NEJAD HACHEMI M.A. (1968) — Contribution à l'étude hydrogéologique de la région nîmoise. Thèse 3<sup>e</sup> cycle (hydrogéologie), Fac. sciences Montpellier, 70 p.
- NITARD J. (1966) — Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée du Gardon (Gard). Thèse 3<sup>e</sup> cycle (hydrogéologie), Fac. sciences Montpellier, 78 p.
- PELLAT E. (1895) — Sur un lambeau pliocène plaqué contre la molasse à *Pecten praescabriusculus*, à droite et à gauche du tunnel de Ginestest près Beaucaire (Gard). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XXIII, p. 432-433.
- PELLAT E. et ALLARD M. (1895) — Dépôts lacustres de la Butte Jouton entre Comps et Beaucaire (Gard). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XXIII, p. 434-436.
- PICARD Th. (1889) — Résumé descriptif de la géologie du Gard. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XVII, p. 5-110.
- PICARD Th. (1897) — Classification nouvelle des formations sédimentaires du Gard. Tableau synoptique de ces formations et carte géologique du département. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, p. 23-90 (suite : 1896, p. 1-29).
- POGGI J.-P. (1968) — Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale du Rhône entre Beaucaire et Arles. Thèse, Fac. sciences Montpellier, 198 p.

- ROMAN F. (1905) — La géologie des environs de Nîmes. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XXXIII, p. 1-64.
- ROMAN F. (1906) — Sur un nouveau gisement pliocène aux environs de Nîmes. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XXXIV, p. 43-53.
- ROMAN F. (1910) — Faune saumâtre du Sannoisien du Gard. Réunion extraordinaire de la Société géologique de France du 22 au 29 septembre 1910. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (4), t. X, p. 952-954.
- ROMAN F. (1912-1913) — Observations sur la dent d'éléphant trouvée dans la tranchée de Fournès (Gard). « *Elephas antiquus* » Falconer. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XL, p. 39-41.
- RUTTEN P. et VIGNERON J. (1946-1960) — Contribution à l'étude des paléopodzols du Bas-Languedoc. *Bull. Soc. Ét. Nat. Nîmes*, t. XLIX, p. 35-45.
- SCHWOBTHALER J.-P. et VOGT H. (1955) — Aspects de la morphogénèse plioquaternaire dans le Bas-Rhône occidental. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, (2), t. XXVI, fasc. 1, p. 13-59 et fasc. 2, p. 67-126.
- THALER L. (1966) — Les Rongeurs fossiles du Bas-Languedoc dans leur rapports avec l'histoire des faunes et la stratigraphie du Tertiaire d'Europe. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat.*, Paris, nlle sér., Sér. C, t. XVII, p. 258-259 (Le gisement de Nîmes).
- TORCAPEL A. (1882) — Note sur l'Urgonien du Languedoc. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. XI, p. 72-77.
- TORCAPEL A. (1882) — Note sur la classification de l'Urgonien du Languedoc. *Ibid.*, p. 310-314.
- TORCAPEL A. (1883) — Quelques fossiles nouveaux de l'Urgonien du Languedoc. *Bull. Soc. Ét. Sci. Nat. Nîmes*, t. XI, p. 109-110 et p. 113-141.
- TORCAPEL A. (1894) — Le plateau infracrétacé aux environs de Nîmes. *Bull. Serv. Cart. géol. Fr.*, t. VI, (1894-1895), n° 39, 22 p., 1 carte.
- TORCAPEL A. (1895) — Les Garrigues de Nîmes, leur constitution géologique et le bassin d'alimentation de « la Fontaine ». Académie de Nîmes, 2 cartes.
- TOURNOUËR R. (1874) — Sur les terrains tertiaires supérieurs du bassin de Théziers et sur le *Potamides basteroti* dans le bassin du Rhône. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), t. II, p. 287-308.
- TRICART J. (1952) — Paléoclimats quaternaires et morphologie climatique dans le midi méditerranéen. *Eiszeitalter und Gegenwart*, II, p. 172-188.

CARTES ANTÉRIEURES A 1/80.000

Feuille AVIGNON :

- 1ère édition (1888) par F. FONTANNES et L. CAREZ,  
2ème édition (1926) par F. ROMAN et P. LEBRUN,  
3ème édition (1973) par A. BONNET.

CARTES VOISINES PARUES A 1/50.000

UZÈS  
AVIGNON  
LES ALPILLES

LUNEL  
SOMMIÈRES  
ANDUZE

ÉTUDES SPÉCIALISÉES

**Micropaléontologie**

Pliocène : P. ANDREIEFF (B.R.G.M. Service Micropaléontologie).

**Sédimentologie**

Minéralogie des argiles : C. JACOB (B.R.G.M. Service Minéralogie).

Granulométrie : B.R.G.M. (Service Sédimentologie) - Interprétation  
F. MÉNILLET.

Morphoscopie : G. NEAU (Service Sédimentologie) - Interprétation  
G. NEAU et F. MÉNILLET.

**Stratigraphie**

Crétacé : indications orales de G. BERGER (B.R.G.M. Montpellier).

Tertiaire : indications orales de Cl. CAVELIER (B.R.G.M. Orléans).

Formations superficielles : indications orales de G. BOUTEYRE (pédologie  
C.N.A.R.B.R.L., Nîmes) - Collaboration de J.-P. LAJOINIE et J. VOGT  
(B.R.G.M. Orléans). Indications de J.-P. PUECH (Géologie appliquée,  
Ministère de l'Équipement).

**Sondages**

Sondages superficiels - Documentation du Service des Sols de la  
C.N.A.R.B.R.L.

Sondages profonds (sup. à 10 m) - Documentation du Code Minier  
(Service Géologique Régional Languedoc-Roussillon, Montpellier).

AUTEURS DE LA NOTICE

Notice rédigée par F. MÉNILLET, à l'exception du chapitre hydrogéologie, élaboré par  
H. PALOC (B.R.G.M. Orléans).

Documents non mentionnés dans la bibliographie, utilisés : manuscrit de A. BONNET,  
pour le Crétacé.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Présentation de la carte . . . . .	1
Histoire géologique . . . . .	1
Conditions d'établissement de la carte . . . . .	2
État des connaissances sur la géologie profonde . . . . .	3
Description des terrains affleurants . . . . .	3
<i>Crétacé</i> . . . . .	3
<i>Tertiaire</i> . . . . .	6
<i>Formations superficielles, Quaternaire</i> . . . . .	11
Remarques tectonique . . . . .	21
Indications morphologiques, pédologiques et phytosociologiques . . . . .	22
<i>Domaine des garrigues</i> . . . . .	23
<i>Le piedmont des garrigues</i> . . . . .	24
<i>La Vistrenque</i> . . . . .	24
<i>Les Costières de Nîmes</i> . . . . .	24
<i>Les « piedmonts » des costières</i> . . . . .	25
<i>Parties est et sud-est de la feuille</i> . . . . .	26
Données géotechniques . . . . .	26
Remarques hydrogéologiques . . . . .	28
Substances minérales . . . . .	31
Tableau des équivalences approximatives des notations . . . . .	31
Bibliographie . . . . .	32
Études spécialisées . . . . .	39
Auteurs de la notice . . . . .	39