

---

# Chevauchement aveugle au front de la nappe de l'Étoile (Provence) : la structure du pli de Bouc-Bel-Air \*

Patrick GAVIGLIO (1)  
Raymond MONTEAU (2)

*Blind thrust in front of the Etoile nappe (Provence): the Bouc-Bel-Air fold*

---

Géologie de la France, n° 1, 2007, p. 3-9, 8 fig.

Mots-clés : Provence, Chevauchement, Pli de rampe, Microstructures

Key word: Provence, Thrust, Folded fault-ramp, Microstructures.

## Résumé

*Au front du chevauchement vers le nord de la nappe de l'Étoile sur le synclinal de l'Arc plusieurs écaillés sont imbriquées (Durand et Guieu, 1980). En avant de l'écaillé de Gardanne, la plus externe de ces unités, se trouve une structure particulière dite pli de Bouc-Bel-Air : il s'agit d'un anticlinal déversé, entièrement délimité par des contacts anormaux. Bordé au sud par l'écaillé de Gardanne, le pli est limité au nord par un contact anormal entre le Lutétien calcaire renversé de son flanc nord et le Lutétien calcaire autochtone du plateau de Bouc-Bel-Air en position normale. Le contact anormal principal (faille de la Diote) peut être localisé, par construction, vers le sommet du Rognacien supérieur : ainsi cet accident constitue une rampe à pendage 25 à 30° sud et passe à un décollement plat dans le Rognacien supérieur. L'enfoncement frontal du chevauchement aurait provoqué l'apparition d'un pli disharmonique dans l'Éocène à partir du pli de rampe initial.*

## Abstract

*The Bouc-Bel-Air fold, located in front of the Etoile nappe, is an overturned anticline surrounded by faults. To the south, the fold is limited by the Gardanne lens; the northern limit is a fault between the overturned Lutetian limestone in the fold and the same autochthonous series forming the Bouc-Bel-Air plateau. The main, blind, thrust can be localized close to the top of the Upper Rognacian; this Diote fault is a ramp with a 25 to 30° southerly dip followed by a flat décollement plane located in Upper Rognacian marl. A disharmonic fold was formed during the*

*Eocene by frontal collapse of the thrust based on folding of the initial ramp.*

## Introduction

Les structures provençales résultent en grande partie d'un décollement d'ensemble de la couverture sédimentaire post-paléozoïque intervenu à l'Éocène (Bertrand, 1899 ; Lutaud, 1957 ; Aubouin & Chorowicz, 1967 ; Guieu, 1968). Les unités constituant cette couverture ont été déplacées vers le nord. Le décollement s'est produit par cisaillement des formations plastiques du Trias moyen et supérieur (marnes et gypses). Deux modèles de mise en place ont été proposés : Tempier, 1987 (raccourcissement pyrénéo-provençal) ; Guieu, Roussel, 1990 (soulèvement de l'épaulement nord du rift à l'origine de l'océan provençal). Le synclinal de l'Arc constitue l'une des grandes unités résultant de la structuration de la Provence par cette tectonique de couverture qui s'est exercée sur un ensemble de panneaux déjà individualisés par des failles et des plis (Tempier, 1987).

Au front du chevauchement de l'unité de l'Étoile sur le synclinal de l'Arc plusieurs écaillés sont imbriquées (Durand, Guieu, 1980). En avant de l'écaillé de Gardanne, la plus externe de ces unités, se trouve une structure particulière dite pli de Bouc-Bel-Air : il s'agit d'un anticlinal déversé, entièrement délimité par des contacts anormaux. Peu d'observations ont été consacrées à cette structure qui a été considérée comme un « bourrelet » du substratum dû à la poussée de l'écaillé de Gardanne (Guieu, 1968 ; Orsolini, 1974). Les données de la carte au 1/50 000 d'Aix-en-Provence (1968) ne permettent pas d'en donner une interprétation satisfaisante.

(1) EA2642 Géosciences, Université de Franche-Comté, 16 route de Gray, 25030 Besançon cedex, IUFM de Franche-Comté-Fort Griffon, 25042 Besançon cedex.

(2) Unité d'Exploitation de Provence, HBCM, 13590 Meyreuil. Square La Pauline -12C, 13009 Marseille.

\* Manuscrit présenté le 2 août 2005, accepté le 15 octobre 2005.

L'interprétation des coupes fait apparaître qu'il s'agit probablement d'un pli de propagation venant se greffer parallèlement sur un pli de rampe formé dans l'écaïlle de Gardanne.

### Cadre structural

Le synclinal de l'Arc est une structure dissymétrique d'axe est-ouest qui s'étend sur 70 km environ (fig. 1). Dans le synclinal de l'Arc affleurent principalement les terrains du Crétacé supérieur et de l'Eocène fluviolacustres (du Campanien au Lutétien). Il est bordé par des chaîons plissés ou chevauchants. À l'ouest l'anticlinal de la Nerthe constitue sa bordure méridionale. Plus à l'est le synclinal est recouvert par la nappe de l'Étoile chevauchant vers le nord (fig. 2). À l'extrémité orientale les terrains autochtones sont déformés par le brachyanticlinal du Regaignas. Les structures plissées ou chevauchantes qui encadrent le synclinal de l'Arc sont constituées de Jurassique et de Crétacé anté-Campanien carbonatés.

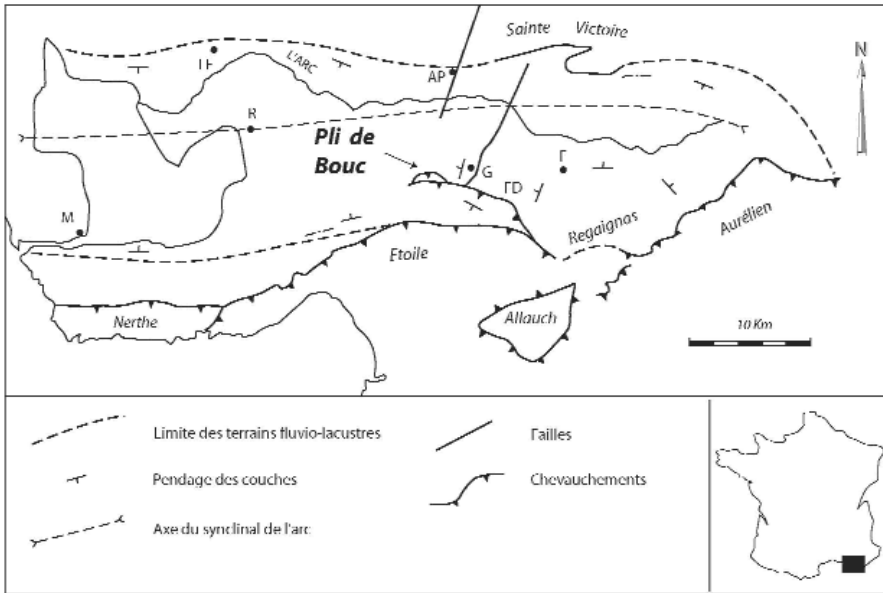
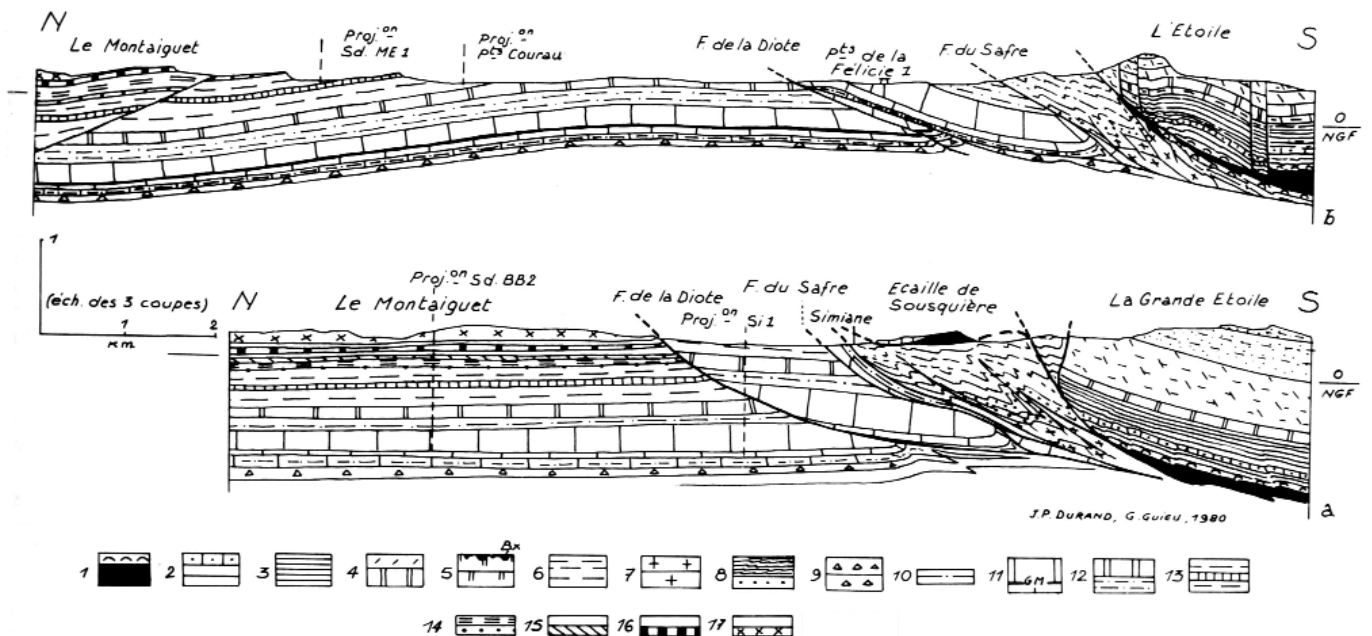


Fig. 1.- Situation du pli de Bouc-Bel-Air dans le synclinal de l'Arc. Le pli, situé à l'avant de l'écaïlle de Gardanne, apparaît comme la manifestation la plus septentrionale du chevauchement de l'Étoile.

Fig. 1.- Location of the Bouc-Bel-Air fold in the Arc syncline. The fold, located in front of the Gardanne lens, is the most northerly expression of the Etoile thrust.

### Données cartographiques

La cartographie à l'échelle du 1/5 000 (fig. 3) a permis de distinguer plusieurs formations stratigraphiques dans le pli de Bouc-Bel-Air et de mettre en évidence leurs relations avec les unités environnantes. Au sud du pli, dans l'écaïlle de Gardanne,



1 : Trias et Rhétien. 2 : Lias dolomitique et calcaire. 3 : Dogger. 4 : Kimmeridgien calcaire et dolomitique. 5 : Jurassique supérieur calcaire ; Bx : bauxite. 6 : Néocomien. 7 : Urgonien. 8 : Aptien (Bédoulien et Gargasien) et, dans l'Étoile, Albien pro parte. 9 : Crétacé supérieur marin. 10 : Valdonnien. 11 : Fuvélien (GM : Grande Mine). 12 : Bégudien inférieur et supérieur. 13 : Rognacien inférieur, barre de Rognac, Rognacien supérieur. 14 : Montien : barre de Vitrolles. 15 : Thanétien : barre de Meyreuil. 16 : Sparnacien : calcaire de Saint-Marc. 17 : Lutétien : calcaire du Montaiguët.

Fig. 2.- Coupes dans la bordure méridionale du bassin, au niveau du chevauchement de l'Étoile (JP. Durand, G. Guieu, 1980).

Fig. 2.- Sections through the southern edge of the basin, at the level of the Etoile thrust (from Durand & Guieu, 1980).

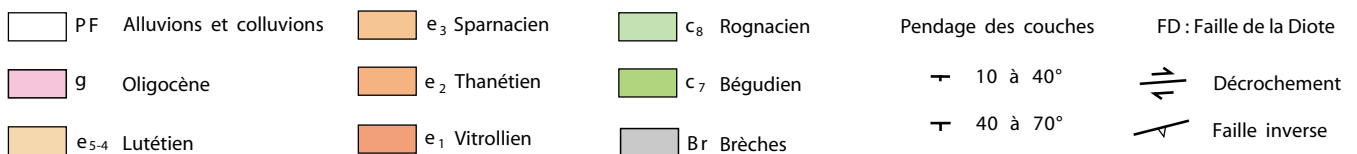
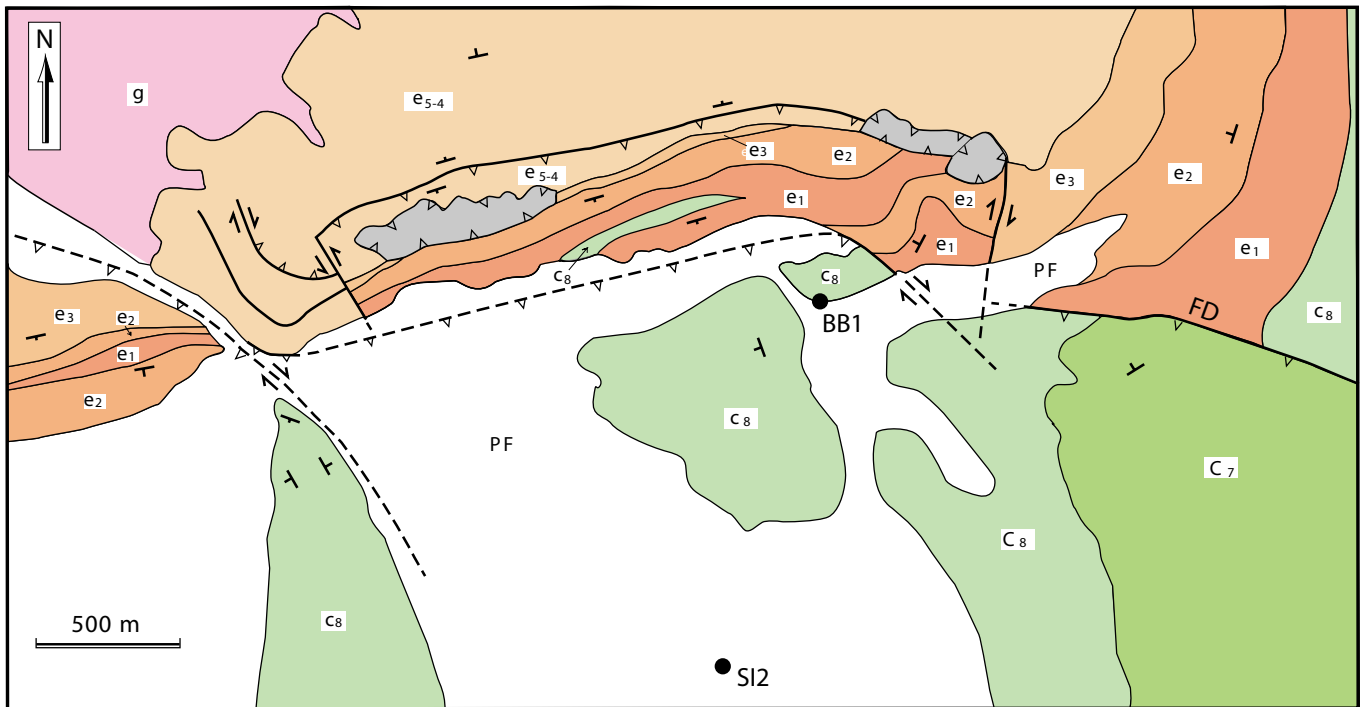


Fig. 3.- Carte géologique détaillée du pli de Bouc. Le levé a été effectué au 1/5 000.

Fig. 3.- Detailed geological map of the Bouc fold; mapping at 1:5,000 scale.

affleurent le Bégudien et le Rognacien, étages régionaux à faciès d'eau douce correspondant au Maastrichtien. Le contact anormal séparant l'écaïlle du pli est masqué. Autour du pli la série autochtone est continue du Rognacien au Lutétien. Ce dernier terrain constitue la majeure partie du plateau de Bouc-Bel-Air et des collines qui s'étendent vers le nord en direction d'Aix-en-Provence.

Le pli est formé de terrains paléocènes et éocènes, son axe anticlinal montre le sommet du Rognacien terminal, constitué d'argilites et de conglomérats (niveau du « poudingue de la Galante »). La succession stratigraphique et les critères de polarité montrent clairement que le pli est déversé vers le nord. Le pendage des couches varie de 40 à 70°S ; localement, à l'ouest, il peut atteindre 80°.

La limite nord de la structure est un contact anormal entre le Lutétien calcaire renversé du flanc nord et le Lutétien calcaire du plateau de Bouc-Bel-Air en position normale. Le pendage de ce dernier terrain, qui est de 50 à 60° vers le nord au niveau du contact anormal, n'est plus que de 10° à quelques dizaines de mètres de là.

Ce contact, qu'on peut suivre facilement, grâce à la différence de pendage des couches, est bien visible dans

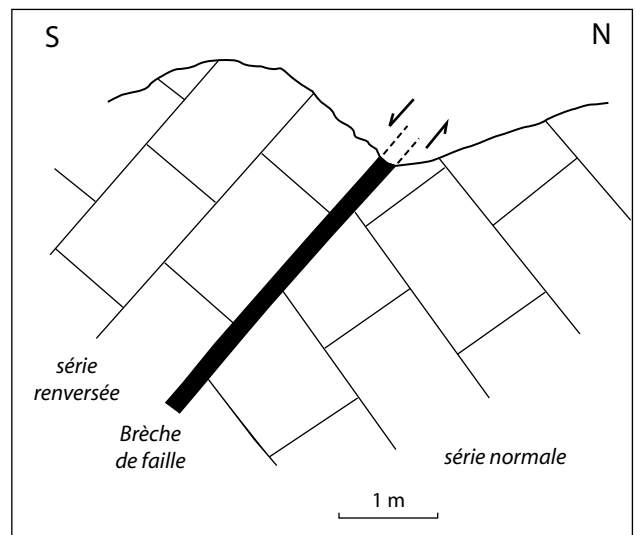


Fig. 4.- Contact entre la série normale et la série renversée dans les calcaires lutétiens (secteur de la Malbergue).

Fig. 4.- Contact between the normal and overturned Lutetian limestones (the Malbergue area).

la carrière de la Malbergue (fig. 4). Les bancs de la série renversée reposent sur les bancs de la série normale. Le contact anormal (sommet du Lutétien renversé) est

interprété comme un chevauchement plat (basculé). Il est souligné par des stries indiquant un jeu apparent normal. À cet endroit cependant le pli de Bouc-Bel-Air est faillé : seul son flanc sud est bien développé. Encore plus à l'ouest, on trouve un autre pli, à cœur de Vitrollien, écaillé et déversé vers le nord. Sa structure n'est pas étudiée ici.

Dans le pli de Bouc-Bel-Air on peut observer de nombreuses traces de déplacements banc sur banc : certains de ces déplacements sont à l'origine de la mise en place tardive de masses de brèches reposant sur la tranche des bancs déjà plissés et érodés. Ces paquets apparaissent sur la carte comme en discordance sur le substratum plissé (fig. 3).

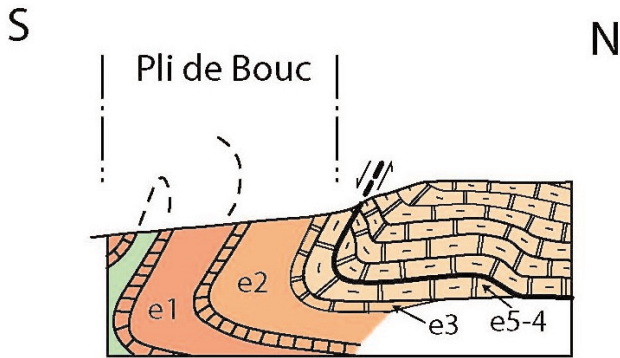


Fig. 5.- Interprétation de la formation du contact observable dans la carrière de la Malbergue entre le Lutétien autochtone, au nord, et le Lutétien du pli de Bouc-Bel-Air renversé, au sud. (e5-4 = Lutétien, e3 = Sparnacien, e2 = Thanétien, e1 = Vitrollien).

Fig. 5.- Interpretation of how the contact seen in the Malbergue quarry was formed between the autochthonous Lutetian to the north, and the Lutetian of the overturned Bouc-Bel-Air fold to the south. (e5-4=Lutetian, e3=Sparnacian, e2=Thanetian, e1=Vitrollian).

### Interprétation

Une coupe générale nord-sud (fig. 6), basée sur les données de la cartographie et de deux sondages de reconnaissance qui ont atteint le Campanien ou « Fuvélien » (BB1 et SI2), permet de fixer les grandes lignes de l'interprétation :

- la « faille de la Diote » (FD) correspond au contact anormal sous l'écaille de Gardanne (fig. 2) ; elle est bien repérée dans les deux sondages de reconnaissance et connue plus au sud grâce aux travaux miniers, formant une rampe assez régulièrement inclinée vers le sud ;
- le Rognacien parautochtone et faiblement déformé de l'écaille de Gardanne est juxtaposé, par faille, au Rognacien supérieur et au Paléocène redressés et déversés du pli de Bouc-Bel-Air ;
- cette disposition disharmonique est le résultat d'un soulèvement de l'Éocène par le Crétacé supérieur et d'une rupture tardive amenant les deux terrains au même niveau ;
- le prolongement de la faille de la Diote se situe dans la partie supérieure du Rognacien supérieur marneux (C8c) ;
- la disharmonie entre le Rognacien et l'Éocène peut être expliquée par la formation d'un pli de propagation formé sur une faille apparue dans le Rognacien supérieur du flanc nord du pli de rampe ; la formation d'un tel pli (Suppe, 1985 ; Mercier, 1992) est rendue possible par les nombreuses alternances de marnes et de calcaires dans les terrains éocènes.

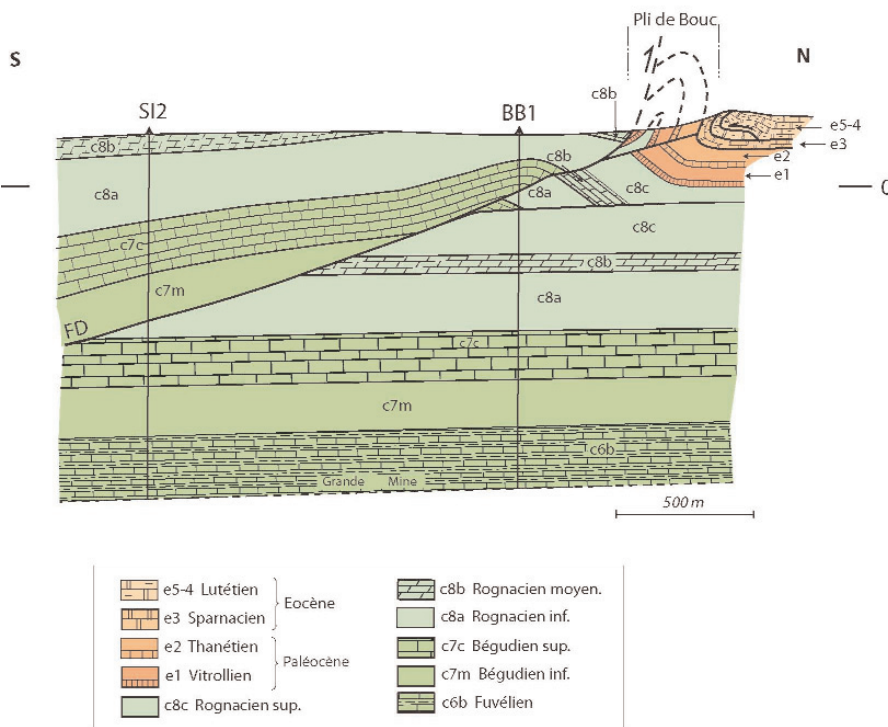


Fig. 6.- Coupe interprétative montrant les relations entre l'écaille de Gardanne, le pli et l'autochtone. La coupe est Nord-sud; les sondages BB1 et SI2 ont été projetés dans le plan de la coupe.

Fig. 6.- Interpretative north-south section showing the relations between the Gardanne lens, the fold and the autochthonous rocks. Boreholes BB1 and SI2 have been projected onto the section plane.

La position actuelle du pli par rapport au sommet de la rampe formée par la faille de la Diote implique que cette dernière se prolonge par un plat dans les niveaux marneux du Rognacien supérieur et s'enracine au nord. Le chevauchement de l'écaille de Gardanne serait donc, au niveau du pli de Bouc-Bel-Air, un chevauchement aveugle.

Le contact anormal limitant le pli de Bouc-Bel-Air au nord peut être interprété comme un chevauchement vers le sud ultérieurement renversé



(fig. 5 et 6). À l'Ouest du pli de Bouc proprement dit on retrouve une disposition semblable : le même chevauchement est légèrement décalé vers le sud. À quelques centaines de mètres de là, le contact anormal s'incurve vers le Nord : il constitue là une rampe latérale dextre du chevauchement. La structure visible dans la carrière de la Malbergue constitue la tête du chevauchement. Ce chevauchement renversé au moment de la formation pli de Bouc-Bel-Air peut expliquer le blocage de ce dernier. Toutes les données microtectoniques (orientations des stries et sens de déplacements) corroborent cette interprétation.

La faille inverse qui coupe toute la structure plissée au sud, en mettant en contact le Rognacien et le Paléocène, peut être considérée comme un accident secondaire tardif sans doute consécutif au blocage du déplacement sur le pli. Sa trace est oblique par rapport à la surface axiale du pli ce qui explique la disparition d'une partie du flanc normal.

La formation d'un chevauchement aveugle vers le nord est compliquée ici par un blocage dû à un chevauchement de vergence opposée qui a donné au pli de Bouc sa géométrie particulière. Une faille inverse tardive, inscrit le pli dans une structure triangulaire.

La structure du pli de Bouc-Bel-Air peut donc être interprétée comme résultant de la formation d'un chevauchement aveugle. On peut proposer la reconstitution suivante des événements (fig. 7) :

- chevauchement de l'écaille de Gardanne et formation d'un anticlinal de rampe ; le chevauchement s'enracine dans les niveaux supérieurs du Rognacien (fig. 7 a) ;
- blocage du pli, qui pourrait être une conséquence de la formation du chevauchement à vergence sud dans le Lutétien (fig. 7 a) ;
- rupture secondaire qui entraîne la formation d'un pli de propagation dans le Rognacien supérieur et le Paléocène sur le flanc nord de l'anticlinal de rampe (fig. 7 b) ;

- la formation de ce pli a pour conséquences de redresser puis de renverser le plan de chevauchement affectant le Lutétien ;

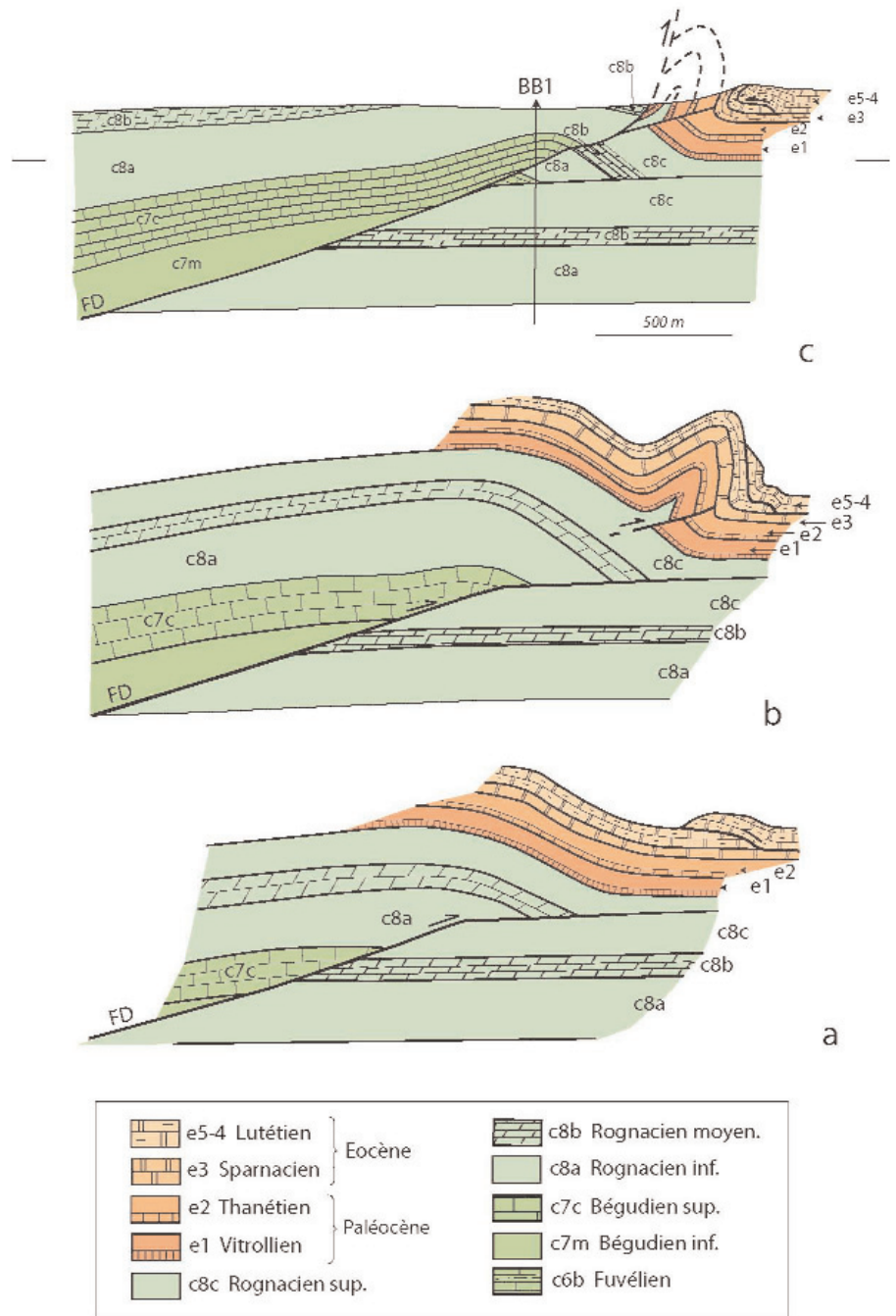


Fig. 7.- Coupes représentant la succession des stades de la déformation. a = enracinement de l'écaille de Gardanne et chevauchement à vergence Sud affectant le Lutétien ; b = : apparition du pli de propagation dans l'Eocène et le Rognacien supérieur ; c = : raccord de l'accident sur lequel s'est formé le pli de propagation de la rampe de la Diote et rupture du flanc sud du pli de Bouc-Bel-Air.

Fig. 7.- Sections showing the successive deformation. a=root of the Gardanne Lens and thrusting with a southerly vergence affecting the Lutetian; b=appearance of the propagation fold in the Eocene and the Late Rognacian; c=linking of the fault on which the propagation fold of the Diote ramp was formed and the ruptured south limb of the Bouc-Bel-Air fold.

- déplacement de la déformation en arrière du pli par raccordement de cette rupture secondaire avec la rampe de la Diote (fig. 7 c).
- une dernière rupture issue de ce cisaillement recoupe le flanc sud du pli de Bouc-Bel-Air ; c'est l'accident actuellement observable en surface.

### Les structures associées

Dans l'ensemble du pli de Bouc les failles ont de faibles rejets hormis les décrochements limitant le pli. Dans la série renversée les surfaces des plans de stratification portent de nombreuses marques de cisaillements : les stries ou les cannelures indiquent un jeu ou normal, ou inverse. Il n'est pas possible de dater de manière relative ces deux types de mouvement ; on peut remarquer, tout au plus, que les jeux normaux apparents peuvent correspondre aux mouvements relatifs des couches par décollement au moment du plissement. Les mouvements inverses peuvent traduire la compression tardive du pli consécutive au blocage. Il s'agirait de jeux inverses vrais : on en observe également dans la série normale.

Dans un certain nombre de cas les jeux inverses banc sur banc correspondent à la mise en place de masses de brèche qui reposent en position anormale sur la série renversée. Sur la tranche des bancs les stries montrent un déplacement vers le nord ; localement on observe que la surface de glissement plonge vers le sud et passe dans la stratification (fig. 8). Ailleurs ces masses de brèches apparaissent en position de klippe ; elles sont constituées de calcaires bréchifiés dans lesquels la stratification est difficile à distinguer. Cartographiquement, la racine de ces chevauchements apparaît nettement : elle se situe dans le Sparnacien à l'ouest et dans le Thanétien à l'est. La disparition quasi-totale des marnes de ces étages dans la série renversée

peut ainsi s'expliquer par un décollement de certains bancs calcaires sur ces niveaux et par leur laminage.

On distingue deux grands ensembles de brèches : celui qui est situé à l'est recouvre localement le contact anormal principal au nord. Ils représentent le reste de bancs ayant glissé les uns sur les autres et s'étant mis en place sur la surface d'érosion du pli : ils constituent un chevauchement différentiel secondaire de faible amplitude et tardif.

### Conclusion

Le pli de Bouc-Bel-Air serait une structure formée par un chevauchement aveugle dans la série fluvio-lacustre du synclinal de l'Arc : le décollement est localisé au sommet du Rognacien. La structure est compliquée par un décollement secondaire entraînant un chevauchement vers le sud.

Le blocage du pli a pu provoquer l'apparition d'une faille secondaire sur laquelle s'est développé un pli de propagation dans les terrains du Rognacien supérieur et de l'Éocène. Un dernier stade de déformation est représenté par un cisaillement de la rampe de la Diote qui recoupe le pli de Bouc-Bel-Air. Des chevauchements tardifs de faibles amplitudes se sont formés à l'intérieur du pli, par décollement sur la stratification ; ils se sont mis en place sur une surface d'érosion très irrégulière du pli.

### Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants à J.P. Durand, G. Guieu et C. Tempier pour les discussions fructueuses qu'ils ont eues avec eux. Ils remercient également les Houillères de Bassins du Centre et du Midi pour l'aide qui leur a été apportée au cours de ce travail. Sans oublier les rapporteurs de cette note pour leurs remarques constructives.

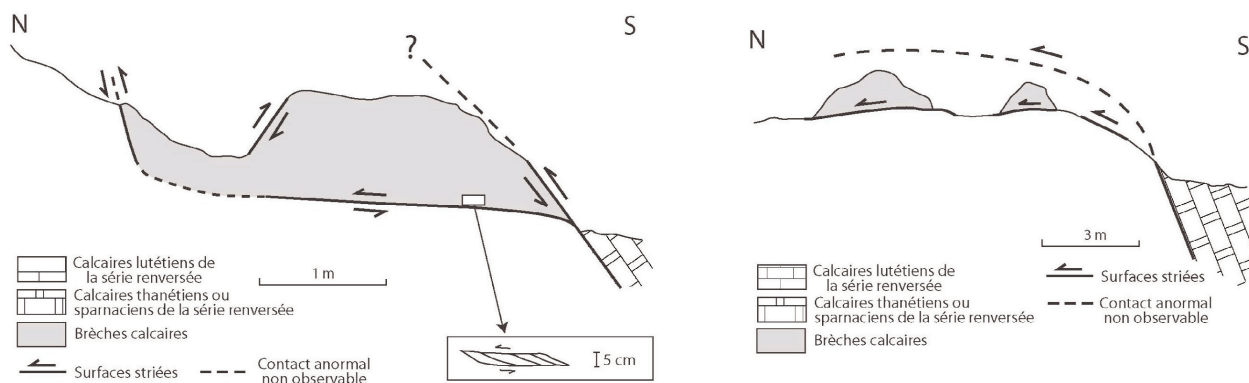


Fig. 8.- Masses de brèche en position de klippe ; les surfaces striées liées à ces masses recoupent la tranche des bancs de la série renversée ; localement on peut observer le prolongement de ces surfaces striées qui passent dans la stratification.

Fig. 8.- Breccia masses in a klippe position; the striated surfaces related to these masses intersect the edges of the layers of the overturned succession; locally, the prolongation of such striated surfaces can be seen to meld into the bedding.

## Bibliographie

- Aubouin J., Chorowicz J. (1967) - Le chevauchement sud-provençal : de l'Étoile à la Sainte Baume. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), IX, 4, 600-609.
- Bertrand M. (1899) - La grande nappe de recouvrement de la Basse Provence. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 10, 68, 397-467.
- Carte géologique 1/50 000 d'Aix-en-Provence. XXXII-44 – 2<sup>e</sup> édition, 1969.
- Durand J.P., Guieu G. (1980) - Cadre structural du bassin de l'Arc. *Rev. Ind. minér., Suppl.* n° de juin, 3-12.
- Gaviglio P. (1985 a) - A fault and stress field analysis in a coal mine (Gardanne, Bouches-du-Rhône, France). *Tectonophysics*, 113, 349-366.
- Guieu G. (1968) - Étude tectonique de la région de Marseille. Thèse Doctorat d'Etat, Marseille, 604 p.
- Guieu G., Roussel J. (1990) - Arguments for the pre-rift uplift and rift propagation in the Ligurian-Provençal basin (Northwestern Mediterranean in the light of Pyrenean Provençal orogeny). *Tectonics*, vol. 9, 1113-1142.
- Lutaud L. (1957) - La tectogenèse et l'évolution structurale de la Provence. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), vol. 1, 103-112.
- Mercier E. (1992) - Une évolution possible des chevauchements associés aux plis de propagation : le transport sur le plat (modélisation et exemple). *Bull. Soc. géol. Fr.*, t. 163, n° 6, 713-720.
- Orsolini P. (1974) - Étude géologique (sédimentologie et tectonique) de la région de Bouc-Bel-Air et de Cabriès (Bouches-du-Rhône). DEA, Marseille, 69 p.
- Suppe J. (1985) - Principles of structural geology, 1985. Prentice Hall, 537 p.
- Tempier C. (1987) - Modèle de mise en place des structures provençales. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), III, 3, 533-540.

