

Données chronologiques (mammifères et magnétostratigraphie) sur les dépôts plio-pléistocènes au toit du bassin de Valensole ; implications morphodynamiques

Michel DUBAR ⁽¹⁾
Jean-Pierre AGUILAR ⁽²⁾
Jean CHALINE ⁽³⁾
Jacques MICHAUX ⁽⁴⁾
François SEMAH ⁽⁵⁾

Chronological data (mammalian faunas, paleomagnetism) on the Plio-Pleistocene deposits from the top of the Valensole Basin: morphodynamic implications.

Géologie de la France, n°1, 1998, pp. 57-68, 5 fig.

Mots-clés : Faune mammifères, Biostratigraphie, Paléomagnétisme, Pliocène supérieur, Pléistocène inférieur, Morphodynamique, Alpes de Haute-Provence, Bassin Valensole.

Key words: Mammals, Biostratigraphy, Palaeomagnetism, Upper Pliocene, Lower Pleistocene, Landform evolution, Alpes de Haute-Provence, Valensole Basin (France).

Résumé

Au Pliocène supérieur, sur la bordure subalpine du bassin de Valensole, les apports caillouteux deviennent très abondants et la fin du remblaiement est marquée par la mise en place de grands cônes torrentiels dont la brèche de Balène est l'un des principaux témoins. L'augmentation en volume et en gabarit des cailloutis est corrélée avec la tectonique de l'arc de Castellane. Vers l'aval, les cônes convergent en direction de la cuvette lacustre de Puimoisson où les apports caillouteux s'interstratifient localement avec des dépôts lacustres ou palustres. Plusieurs gisements de mammifères permettent une chronologie des dépôts lacustres. Le gisement de Cornillet (zone de Saint-Vallier, vers 2 Ma) situé entre les deux premiers bancs de la brèche de Balène, date en ce point le début de la progradation des cônes torrentiels. Le nouveau gisement de Valensolette, situé pratiquement au toit

des cailloutis, indique un âge compris entre 1 et 0,7 Ma. En raison de ce contexte favorable, une étude magnétostratigraphique a pu être entreprise. Le corps de la brèche est entièrement de polarité négative à l'exception de deux niveaux de polarité directe, l'un situé vers sa base, un peu au-dessus du gisement de Cornillet, l'autre vers son sommet, approximativement au niveau du gisement de Valensolette. Ainsi, globalement la brèche prendrait place dans la période inverse de Matuyama, débutant dans la première partie de cette période (2,6-1,77 Ma), un peu avant l'événement d'Olduvai (1,95-1,77 Ma) et prenant fin dans la deuxième partie de la période de Matuyama, après l'événement de Jaramillo (1,05-1 Ma). La continuation des dépôts caillouteux dans ce secteur du bassin, comme leur persistance bien après la fin du chevauchement, impliquent deux conditions : 1) un nourrissage important et permanent en matériel détritique, vraisemblablement sous une double influence,

tectonique et climatique ; 2) la stabilité du niveau hydrographique local.

English Abridged version

The wide distribution of end-Pliocene torrential gravelly deposits along the Subalpine border of the Valensole Basin, of which the Balène breccia is the most important, indicates drastic erosional conditions. The causes were either tectonic, associated with the Subalpine thrust, or climatic, but both may be involved. The stratigraphic record is apparently continuous and sedimentology reveals a succession of environmental events. The aim of the present paper is to put these events into a chronological frame and assess their importance and their relationships.

Topmost facies

The different topmost facies and their lateral variations (Fig. 1) illustrate the

* Manuscrit reçu le 6 janvier 1998, accepté le 26 mars 1998.

(1) CNRS, USR 708, Centre de Recherches Archéologiques, Laboratoire de Sédimentologie, Bât.1, 250 rue Albert Einstein, Sophia-Antipolis, 06560 Valbonne.

(2) Institut des Sciences de l'Evolution, UMR - CNRS. 5554, Case courrier 064, Université Montpellier II, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cédex 5.

(3) UMR - CNRS 5561, Paléontologie analytique, Centre des Sciences de la Terre, 6 Bd. Gabriel, 21000 Dijon, France et Laboratoire de Préhistoire et de Paléoécologie du Quaternaire de l'EPHE (même adresse).

(4) Laboratoire de Paléontologie de l'EPHE et UMR - CNRS. 5554, Case courrier 064, Université Montpellier II, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cédex 5.

(5) Laboratoire de Préhistoire du Museum National d'Histoire Naturelle, UMR 6569 du CNRS (MNHN, UAM. I et II). IPH, 1 rue René Panhard, 75013 Paris.

diversity of environments encountered in the Subalpine piedmont. The fluvial conglomerates of the Asse and Verdon paleorivers are a common type of deposit in the area, whereas the Puimoisson basin was a site of lacustrine or palustrine marly and limy sedimentation. Local fans deposited at the foot of the reliefs during the Late Pliocene, of which the most important is the Balène breccia (Dubar, 1984), converge towards the Puimoisson basin and provide evidence of an important increase in coarse deposits. The gravelly layers contain interbeds of lacustrine or palustrine origin (Fig. 2), the oldest of which (interbedded between the first two gravelly layers) is remarkable because of its extension and of the fact that it includes the Upper Pliocene fossil mammal-bearing locality of Cornillet. Near the paleo-valleys of the Asse and Verdon rivers, gravelly deposits are so important that they constitute a well individualized formation that was deposited just before the cutting of present valleys.

Deformation at the margin

At the foot of the Subalpine thrust on the northeastern border of the basin, the Pliocene formation is tilted at the contact of the calcareous reliefs. In the Ponteilhas thalweg (Fig. 1), the tectonized formation dips steeply and is exposed over a 70-m-thick section; Lower Pliocene conglomerates and red paleosoils are observed below the whitish marly deposits of the Puimoisson Formation (Upper Pliocene), and the Balène breccia (10 m thick) ends the sequence at the top. This section represents an interval of ca 1 million years. The lower levels dip more steeply (ca 75°) than the upper ones (ca 10°), with the dip decreasing upward – a pattern that indicates syndepositional deformation. It can be inferred that the Subalpine thrust was due to continuous tectonism and that the gravelly deposits of the upper part of the sequence testify to the progression of the Subalpine thrust front.

Paleontologic and paleomagnetic data

Mammals

Several faunas are recognized from the Puimoisson, Grenouillet and Les Deffends localities in the Puimoisson area and the Ségriès, Cornillet, Plaine de

Balène and Valensolette localities in the Ségriès area (Figs. 1 and 2). The paleontological data are:

Puimoisson N.D.: Large mammal remains found more than 20 years ago indicate the Montpellier - Roussillon fauna (Guérin et al., 1970), and recently collected fossils of *Hipparion crassum* and *Anancus arvernensis* (discovered 30 m below the top of the Puimoisson Formation and very similar to specimens from Montpellier) give strength to the former dating.

Grenouillet: The fauna found in a bed 15 m below the top of the Puimoisson Formation includes the following rodents (Bachelet, 1990): *Mimomys cf. gracilis*, *Mimomys cappettai*, *Stephanomys cf. donnezani* and *Apodemus dominans*. It is roughly contemporaneous with the fauna of Sète, a reference fauna of the biochronological scale for small mammals.

Les Deffends: *Equus stenorhinus* has been collected in a bed 5 m below the top of the Puimoisson Formation (Biquand et al., 1990).

Ségriès: A small mammal fauna has been found in the upper part of the Puimoisson Formation (Guérin et al., 1970). The presence of a large *Stephanomys* (*S. cf. thaleri*) and of *Castillomys crusafonti* indicates a fauna more or less contemporaneous with the fauna of Seynes, which defines an immediately younger level than that of Sète on the biochronological scale for small mammals.

Cornillet: The fauna has been collected 10 m above the level containing the Ségriès fauna. It was extracted from a lacustrine marl which lies above a several-metre-thick gravelly deposit and just below the Balène breccia. Eleven species of large mammal have been recognized, similar to those of the Saint-Vallier fauna dating from ca 2 million years (Debard et al., 1994).

Plaine de Balène: One molar of a much evolved *Equus stenorhinus* has been found on the surface of the Balène breccia (ref. in Dubar, 1983 b).

Valensolette: This recently discovered locality is at the distal edge of the Balène breccia (Fig. 1). Fossils have been found near the top of the breccia in a bed of

colluvial origin (Fig. 2 B) located at the base of a gravelly deposit. Two species of rodents have been determined: *Microtus pliocaenicus* and *Mimomys cf. savini* (Fig. 3). The stage in evolution of *M. pliocaenicus* and the presence of *Mimomys cf. savini* indicate the lower part of the Biharian small mammal stage, which is at the top of the Lower Pleistocene (Fejfar and Heinrich, 1990).

In conclusion, the Cornillet and Valensolette localities provide dating for the Balène breccia: the former, which belongs to the upper part of the lacustrine marly and travertinous Puimoisson Formation, gives a lower boundary age, whereas the latter dates the ultimate deposits of the breccia.

Paleomagnetism

In a previous study of the uppermost 20 m of the Puimoisson Formation (Biquand et al., 1990) a direct polarity was recognized for the first 10 metres and a reverse one for the last 10 metres. The polarity reversal was interpreted as the boundary between the Gauss and Matuyama epochs (ca 2.6 Ma). In the Balène breccia, which overlies the Puimoisson Formation, paleomagnetic study was possible only for the silty or travertinous beds interstratified in the gravelly deposits. Ten levels distributed among eight sections have been analysed (Figs. 1 and 2), which demonstrates the discontinuous character of the study. The analyses were conducted with a high sensibility inductometer (JR4 type, Geofysica, Brno) in the Laboratoire de Géomagnétisme de St Maur. Eight out of the ten levels show a reverse polarity (Fig. 4a) from which it can be interpreted that the Balène breccia belongs to a reverse epoch. This interpretation agrees with that of Biquand et al. (1990) as the upper part of the Puimoisson Formation, which lies immediately below the Balène breccias, belongs to the first part of the reverse Matuyama epoch (1.95 - 2.6 Ma).

Two levels in the Balène breccia appear to have a normal polarity (Fig. 4b). The first recognized at two different points of the Balène breccia (profile A, no. 3 and profile B, no. 3'), and the second corresponding to the Rème - Valensolette section (profile E, no. 9) at the top of the gravelly deposits. New paleomagnetic measurements made

on further samples from these levels confirm the normal polarity. The loess from the top of the Balène breccia has a reverse polarity.

Taking into account the biochronological data, the paleomagnetism of the Balène breccia can be interpreted as belonging to the Matuyama reverse epoch. Two levels are of importance; the Cornillet level (ca 2 Ma), which gives a lower boundary age for the base of the breccia, and the Valensolette level (between 1 and 0.7 Ma), which dates the uppermost deposits of the breccia. According to our preliminary interpretation, the two levels of normal polarity could represent the Jaramillo event (1 - 1.05 Ma) for the youngest, and the Olduvai event (1.95 - 1.77 Ma) for the oldest. The time interval during which the Balène breccia was deposited was thus almost 1 Ma, with deposition starting ca 2 Ma ago (Fig. 5).

The age and meaning of the Balène breccia. Neogene to Quaternary morphodynamics of the basin

Over a period of 1 million years, there was an important increase of gravelly deposition, with the torrential fans of the upper part of the Valensole Basin being deposited during the end Pliocene and Early Pleistocene. This perennality has two implications:

1 - The gravelly drift was important and constant, resulting from the tectonism that gave rise to high reliefs at the border of the basin. There was also a probable climatic influence at altitude producing cryoclastic debris (Bourdier, 1962; Gigout, 1969; Dubar, 1972).

2 - The local hydrographic base level was stable, which can be inferred from two facts: first, the alluvial deposits are everywhere present in an uppermost position, and second, the Puimoisson basin existed over a long period of time.

The downcutting of local valleys began very late (i.e. since the Valensolette fauna) in comparison with the downcutting of the Durance river, which represents the major drainage of the area. The lower boundary age (1.7 Ma) for the downcutting of the Durance river was deduced from paleomagnetic data obtained on terraces

of this river (Dubar and Sémah, 1986). The discrepancy between these ages is still not understood.

Introduction

Dans le remblaiement du bassin néogène de Valensole, les cinquante derniers mètres présentent une diversification des faciès qui semble être en relation avec d'importantes modifications environnementales survenant à la fin du Pliocène. En particulier les grands épandages caillouteux torrentiels, dont la « brèche de Balène » est le principal représentant et qui forment le toit de la formation, dénotent des conditions d'érosion drastiques sur les bordures du bassin. Les causes sont soit tectoniques, et en liaison avec la mise en place du chevauchement subalpin, soit climatiques, et peut-être même les deux à la fois. L'enregistrement se fait apparemment de manière continue et l'analyse sédimentologique met en évidence une série d'événements en rapport avec ces modifications. Le but du présent travail est de replacer ces événements dans le temps, d'apprécier leur importance et leurs relations.

Un étalonnage biochronologique et magnétostratigraphique existe déjà dans la formation lacustre de Puimoisson (Aguilar in Clauzon *et al.*, 1990; Biquand *et al.*, 1990) qui constitue le soubassement des épandages caillouteux sommitaux. Le plus récent des niveaux lacustres datés, sous-jacent à la brèche de Balène, correspond au site de grands mammifères de Cornillet d'âge Pliocène terminal. La découverte d'un niveau à rongeurs au sommet de la brèche de Balène apporte de son côté pour la première fois un repère précis pour la datation de la fin de l'édification des épandages caillouteux. Une étude paléomagnétique a été réalisée pour appuyer les nouvelles données biochronologiques et compléter l'analyse magnétostratigraphique initiale faite sur la formation de Puimoisson.

Les faciès sommitaux

Le remblaiement continental miopliocène du bassin de Digne-Valensole est constitué sur près de 300 m d'épaisseur, pour l'essentiel de matériel détritique d'origine fluviatile : le poudingue de Valensole. Une partie de ce remblaiement est d'âge miocène, l'autre est d'âge pliocène

ne : la discontinuité de ravinement messinienne les sépare (Dubar, 1983 a et b). Entre les vallées de l'Asse et du Verdon, sur le piémont du chevauchement subalpin de l'arc de Castellane, dans le secteur nord-est du bassin sur lequel porte la présente étude (fig. 1), la série sommitale atteint le Pliocène terminal. Les dépôts ont pratiquement conservé, en dehors de la zone de contact avec l'arc de bordure, leur sub-horizontalité d'origine et la morphologie du piémont est particulièrement bien conservée. Les différents faciès rencontrés et leurs passages latéraux illustrent bien la diversité des milieux qui composaient ce piémont et les changements lithostratigraphiques rendent compte de son évolution.

Les conglomérats fluviatiles des paléo-rivières Asse et Verdon représentent un apport sédimentaire traditionnel dans le bassin et contribuent fortement au comblement dans le secteur d'étude. La cuvette de Puimoisson, un temps à l'abri de ces apports grossiers, a été en revanche le siège d'une sédimentation calme, marneuse et carbonatée, lacustre ou palustre. D'épais travertins se forment localement, surtout vers l'est, dans le secteur de Ségriès (fig. 1) à proximité de la bordure calcaire subalpine, en rapport avec des résurgences. Au Pliocène supérieur, il y a un accroissement considérable des apports grossiers des rivières et des torrents tributaires du bassin. En effet vers l'amont, en direction des reliefs subalpins, se forme un système de cônes locaux dont celui de Balène est le plus important (Dubar, 1984), qui convergent en direction de la cuvette de Puimoisson (fig. 1).

Les apports caillouteux, irréguliers au début, deviennent plus massifs et plus réguliers et les cônes progradent vers l'aval en même temps que l'aire lacustre se rétrécit. La présence de dépôts lacustres ou palustres entre les bancs caillouteux indique toutefois que le phénomène n'est pas continu et qu'il y a de petites récurrences lacustres (fig. 2, A, coupe 1). Les faciès représentés, marnes crayeuses, oncolithes, croûtes travertineuses à ooïdes et filaments algaires, croûtes de remplissage de chenaux, traduisent une topographie de bas de pente en bordure d'une dépression ennoyée (Freytet, 1984). L'une des récurrences lacustres est particulièrement remarquable par son extension et parce que le

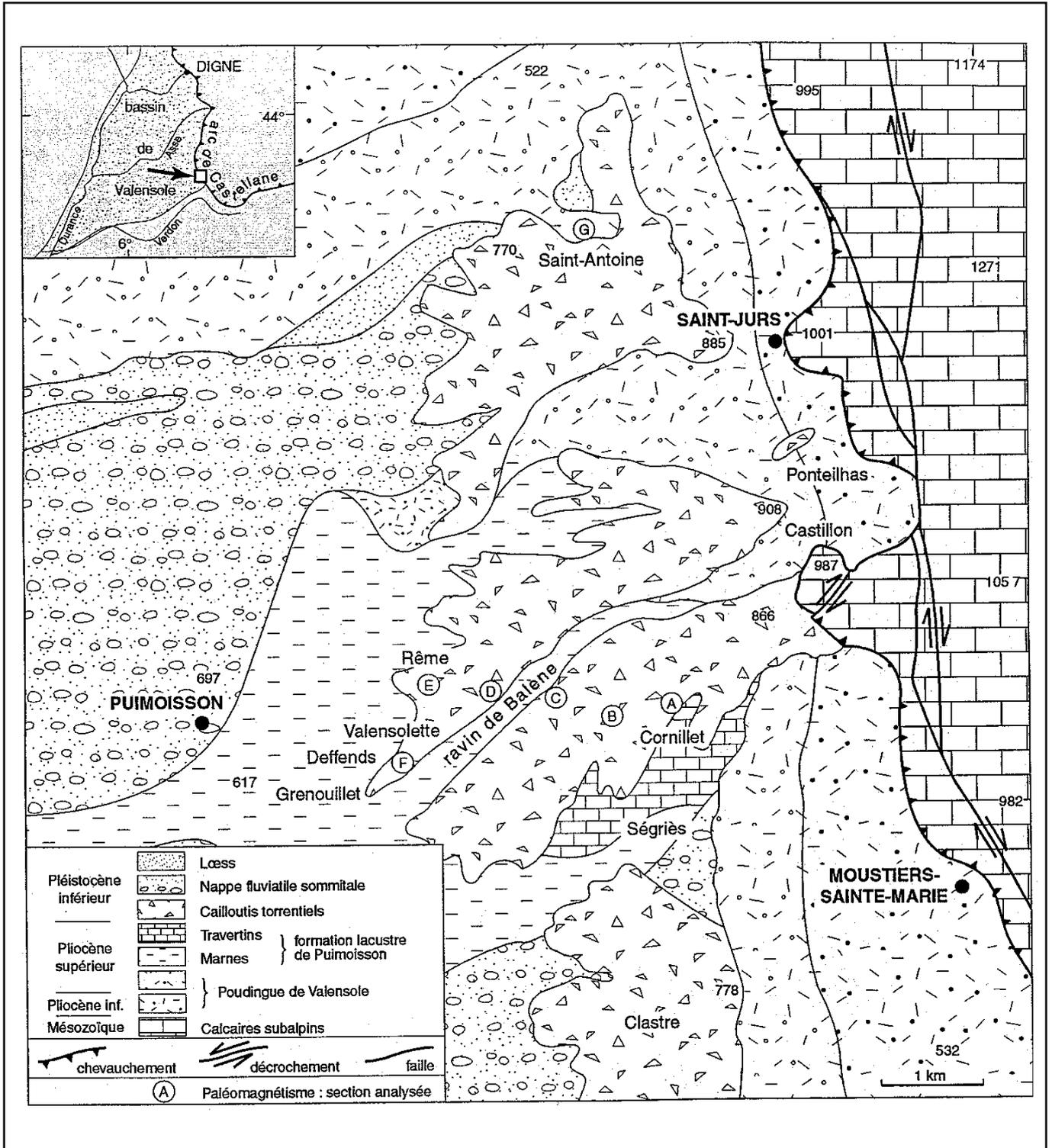


Fig. 1.- Géologie du secteur étudié. Carte des faciès au toit du bassin de Valensole (Pliocène supérieur et Pléistocène inférieur). Situation des gisements paléontologiques et des sites paléomagnétiques. Emplacement des coupes 1 et 2 de la figure 2.

Fig. 1.- Geology of the studied area. Map of facies at the top of Valensole Basin (Upper Pliocene and Lower Pleistocene). Location of paleontological and geomagnetic sites. Location of sections 1 and 2 in Fig. 2.

gisement de Cornillet, d'âge Pliocène terminal, y est situé (Dubar *et al.*, 1978). Ce gisement, compris entre les deux premiers bancs caillouteux qui annoncent la brèche de Balène (fig. 2 B), date par voie de conséquence, en ce point, le début de

la progradation des cônes torrentiels. La coupe de Cornillet permet de suivre sur une même verticale les variations de faciès des cailloutis ainsi que l'évolution des apports de versants. Le premier banc de brèche, sous-jacent au niveau fossilifère,

est peu induré à sa base, l'induration progressant vers le sommet. Au-dessus de la séquence palustre à faune de Cornillet, le deuxième banc qui inaugure le corps principal de la brèche de Balène est cimenté : c'est le faciès-type dit « de la

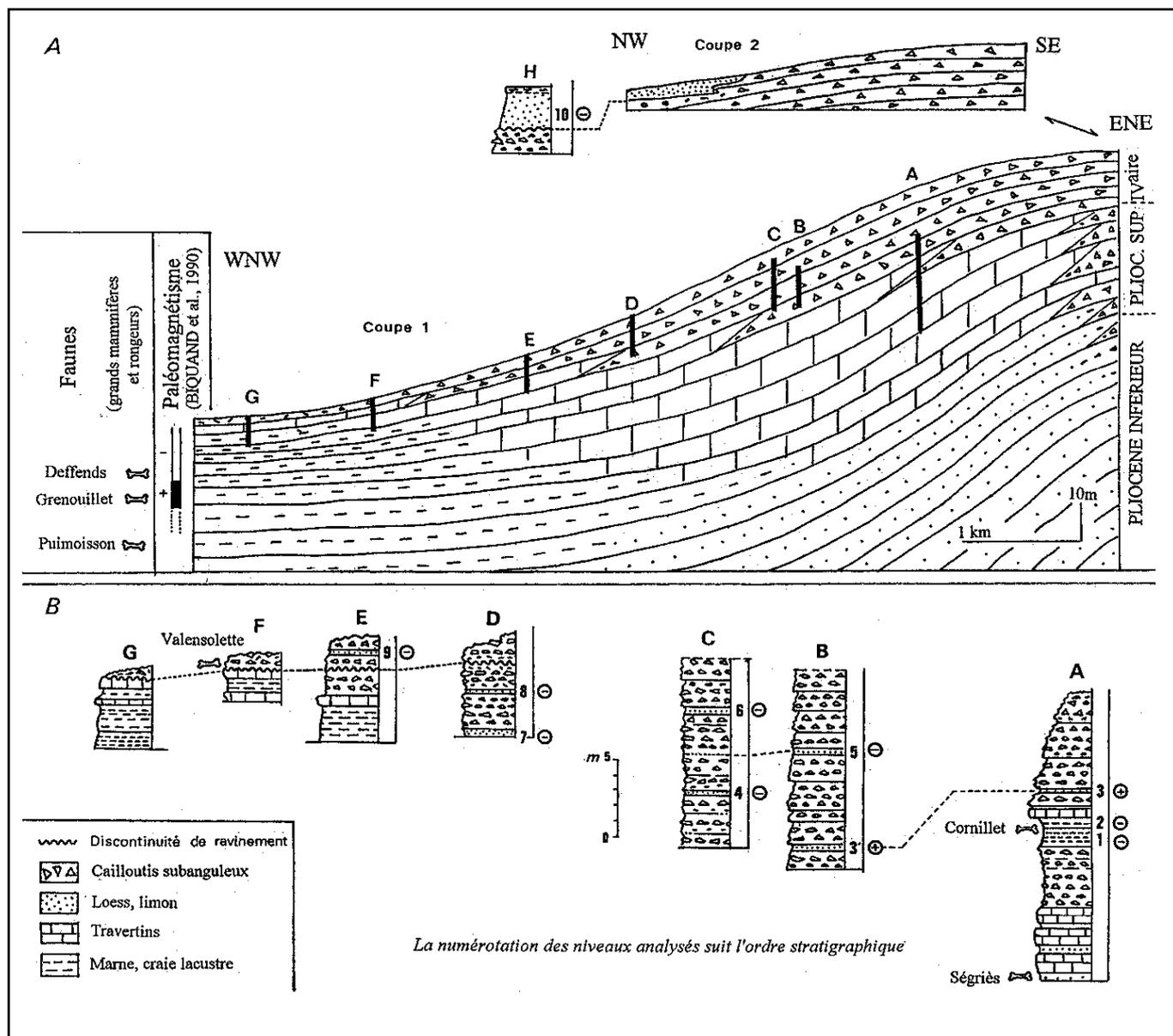


Fig. 2.- Données stratigraphiques. A) Organisation des dépôts du Pliocène supérieur et du Pléistocène inférieur (coupe 1 : cône de Balène ; coupe 2 : cône de Saint-Jurs) et emplacements des gisements paléontologiques et des sections paléomagnétiques. Encart de gauche : rappel des données biochronologiques et paléomagnétiques du secteur de Puimoisson (Biquand *et al.*, 1990). B) Cône de Balène. Sections analysées (A à G) : principaux résultats paléomagnétiques.

Fig. 2.- Stratigraphic data. A) Upper Pliocene and Lower Pleistocene depositional systems (section 1: Balène cone; section 2: Saint-Jurs cone) and location of paleontological and paleomagnetic sites. Left inset: reminder of biochronological and paleomagnetic data from the Puimoisson area (Biquand *et al.*, 1990). B) Balène cone. Analysed sections (A to G): main paleomagnetic results.

brèche de Balène ». L'induration est essentiellement liée à l'abondance des calcaires dolomitiques du Jurassique qui sont facilement altérables et ont produit en abondance de la calcite de cimentation. Dans le cône de Balène, ces éléments sont en général abondants sauf à la base ainsi que dans certains horizons où dominent les calcaires marneux du Crétacé ; les niveaux restent alors meubles. Cette variation de faciès se manifeste aussi latéralement. Certains cônes (Clastre) présentent des indurations, d'autres (Saint-

Antoine), au contraire, sont constitués de matériel meuble. La « brèche de Balène » ne représente donc qu'un faciès terminal des cailloutis sommitaux du bassin. La persistance du petit lac de Puimoisson au Pliocène supérieur indique qu'il n'y a pas de modifications importantes dans les conditions du drainage local et que l'enfoncement du réseau hydrographique n'a pas encore commencé.

Du côté des vallées actuelles de l'Assise et du Verdon, les cailloutis torrentiels

d'origine locale sont si abondants à la fin du Pliocène qu'ils forment une nappe bien caractérisée qui reste en position sommitale et s'étend sur plusieurs kilomètres vers l'aval. Des loess ainsi que des colluvions rougeâtres sont associés à cette nappe ou la recouvrent (fig. 2A, coupe 2). Des figures de ravinement sont fréquentes dans ces niveaux sommitaux et sont interprétées comme les signes d'une érosion dans l'axe des cours d'eau affectant jusqu'au réseau secondaire et qui

marque le début de l'enfoncement général du réseau hydrographique.

Les déformations synsédimentaires de la bordure

Au pied du chevauchement subalpin sur la bordure nord-est du bassin, la série pliocène est redressée au contact des reliefs calcaires. Les plissements anticlinaux ou synclinaux passent sous la ligne de chevauchement. Sur la coupe de Ponteuillas (fig. 1), la série tectonisée est visible sur 70 m d'épaisseur environ. Dans le tiers supérieur, des marnes blanches de la formation lacustre de Puimoisson (Pliocène supérieur) viennent au dessus des conglomérats et paléosols rouges du Pliocène moyen. Au-dessus des marnes blanches, les cailloutis sommitaux débutent par des faciès colluviaux à matrice rouge puis des niveaux franchement cryoclastiques, non indurés, assurent le passage à la brèche de Balène (10 m environ). La découverte (Dubar, inédit) d'un bois de *Cervus cf. philisi* dans les colluvions intermédiaires permet de situer le niveau dans le Pliocène terminal ou même dans le Pléistocène basal. L'ensemble de la coupe représente donc un temps relativement long, estimé à plus d'un million d'années. L'importance de la déformation change de la base au sommet : les couches de base sont assez fortement redressées (75° environ), celles du sommet ont un pendage de 10° à peine, et les niveaux intermédiaires ont, de bas en haut, des valeurs de pendage décroissantes. Un tel dispositif indique une déformation synsédimentaire, le chevauchement subalpin correspondant à un continuum tectonique. Il n'y a pas de discordance angulaire visible entre la brèche de Balène (faciès induré) et les assises caillouteuses sous-jacentes. La géométrie des dépôts par ailleurs traduit un amortissement de la déformation.

Le caractère continu de la déformation n'est pas observable sur tout le front du chevauchement et en particulier en rive gauche du ravin de Balène sur la coupe de Castillon qui a servi de référence pour l'interprétation de la tectonique de bordure (Lapparent, 1938 ; Clauzon, 1975). En effet, dans cette zone, comme en plusieurs points de la partie externe de l'arc existe un petit décrochement

oblique NE-SW (fig. 1) dont le jeu a activé très localement le chevauchement sur le bassin. Ce jeu peut être mis en relation avec le coulisage dextre, tardif, des grands accidents longitudinaux (N 170) qui structurent l'arc (Gigot, 1982). Dans ce secteur de Castillon, la série néogène a été plissée violemment (Combes, 1984). Sur le contact même, les couches sont verticalisées y compris les travertins du pliocène terminal. Une fois ce phénomène achevé, les cailloutis se déposent en discordance sur des couches redressées. La discordance angulaire entre ces couches redressées et la brèche de Balène subhorizontale décrite dans ce secteur est donc une particularité locale et globalement il n'existe pas de discordance entre les cailloutis sommitaux et leur soubassement pliocène.

En résumé, les cailloutis sont les témoins de la progression du front chevauchant subalpin sur le bassin. Les plus récents d'entre eux, qui constituent la brèche de Balène, traduisent des conditions morphodynamiques nouvelles, la tectonique ayant créé dans l'arrière-pays immédiat un volume montagneux encore plus important qu'auparavant. Les décharges détritiques deviennent plus puissantes et les éléments grossiers plus anguleux parce que la longueur des torrents diminue et que le bassin versant est plus abrupt. Il est évident aussi, pour certains niveaux, que l'empreinte climatique est forte (voir infra).

Données biochronologiques et magnétostratigraphiques

La démonstration du synchronisme des premiers dépôts de la brèche de Balène avec les derniers dépôts du lac de Puimoisson permet d'exploiter les datations apportées par les faunes de vertébrés reconnues dans le secteur et récoltées à plusieurs niveaux des marnes lacustres et des travertins de la série de Puimoisson. La plus récente d'entre elles, la faune de grands mammifères de Cornillet, date la base de la brèche de Balène. A l'opposé, l'âge des derniers épandages caillouteux est donné par les rongeurs de Valensolette récemment découverts dans la partie sommitale de la brèche de Balène. Une analyse magnétostratigraphique de la brèche de Balène complète les données

biochronologiques fournies par les mammifères ainsi que les résultats magnétostratigraphiques déjà obtenus dans la partie supérieure de la formation de Puimoisson (Biquand *et al.*, 1990).

Les gisements de mammifères

Plusieurs gisements de mammifères sont connus dans la région de Puimoisson-Ségriès dont nous rappelons les principales données biochronologiques. L'étude du nouveau gisement de Valensolette nous conduit à compléter l'échelle biostratigraphique du bassin.

Secteur de Puimoisson

Trois gisements appartenant à la formation de Puimoisson sont connus dans ce secteur : ce sont, par ordre stratigraphique, ceux de Notre-Dame de Puimoisson, Grenouillet et les Déffends (fig. 1 et fig. 2 A).

1 - Puimoisson N.D.

La formation lacustre de Puimoisson, épaisse de 60 m, a livré depuis longtemps, à plusieurs niveaux, des faunes de vertébrés d'âge pliocène. Les restes de grands mammifères proviennent le plus souvent des grandes ravines creusées dans la moitié inférieure de la formation ; elles appartiennent à la faune dite « du Roussillon » (Guérin *et al.*, 1970). La découverte récente, par nous-mêmes, vers 30 m sous le toit de la formation, de plusieurs molaires d'*Hipparion crassum* et de deux molaires complètes de *Anan-cus arvernensis*, spécimens proches de ceux de Montpellier (V. Eisenmann et C. Guérin, comm. pers.) confirment cette attribution.

2 - Grenouillet (appelé Puimoisson II in Bachelet, 1990)

Une marne tourbeuse située à une quinzaine de mètres sous le toit de la formation lacustre de Puimoisson a livré une faunule de micromammifères qui inclut *Mimomys cf. gracilis*, *Mimomys cappettai*, *Stephanomys cf. donnezani* et *Apodemus dominans*. Cette faune place Grenouillet à proximité du site de Sète dans l'échelle biochronologique des mammifères.

3 - Les Deffends

Une molaire d'*Equus stenonis* (détermination F. Prat, inédit) a été trouvée dans un lit de cailloutis à 5 m sous le toit de la formation lacustre de Puimoisson (Biquand *et al.*, 1990). D'après F. Prat, ce fossile serait plus archaïque que l'*Equus stenonis* du gisement de Cornillet qui serait ainsi un peu plus récent que celui des Deffends.

Secteur de Ségriès

Deux gisements situés pratiquement sur la même coupe (fig. 2) sont connus dans ce secteur ; dans la littérature, ils sont dénommés Ségriès et Cornillet.

Ségriès

Le niveau à micromammifères de Ségriès (Guérin *et al.*, 1970) se trouve dans les travertins qui caractérisent dans ce secteur la partie supérieure de la formation lacustre de Puimoisson. La faune récoltée est très proche de celle du gisement de Seynes. Elle comprend un *Stephanomys* de grande taille (*S. cf. thaleri*), *Castillomys crusafonti*, *Rhagapodemus frequens*, *Apodemus cf. dominans*, *Ruscinomys europaeus*, *Cricetus angustidens*, *Mimomys gracilis*, *Mimomys sp. (grande taille)*, *Glirulus sp.*, *Glis sp.*, *Pliopetaurista pliocaenica*, *Spalacidae indet.* et *Prolagus sp.*

Cornillet

Au-dessus du niveau à rongeurs de Ségriès, la coupe se poursuit sur une épaisseur de 5 m environ par plusieurs bancs de travertin, puis au-dessus d'un niveau rougeâtre, débute un premier ensemble bréchique lité de quelques mètres d'épaisseur. Au-dessus d'un nouveau niveau pédologique rouge se trouvent des limons travertineux qui ont fourni la faune de grands mammifères dite de Cornillet. Un banc très induré termine la série travertineuse. Au-dessus, se développe la brèche de Balène dont l'épaisseur est d'une dizaine de mètres dans le secteur. La faune de Cornillet comprend onze espèces de grands mammifères (Dubar *et al.*, 1978) : des carnivores (*Pachycrocuta perrieri*, *Nyctereutes megamastoides*, *Canis groupe arnensis-etruscus*), des équidés (*Equus stenonis vireti*), des rhinocerotidés (*Dicerorhinus etruscus*), des bovidés (*Gazella borbonica*, *Gazella torticornis*, *Leptobos*

sp.), des cervidés (*Croizetoceros ramosus*, *Cervus philisi*, *Eucladoceros senzensis*). Cette faune s'apparente à celle du gisement de Saint-Vallier (Drôme) dont l'âge approximatif est de deux millions d'années (Debard *et al.*, 1994).

Plaine de Balène

Une molaire d'un équidé gracile a été trouvée en surface de la brèche de Balène. Cet équidé correspondrait à une forme très évoluée d'*Equus stenonis* (F. Prat, inédit, *in* Dubar, 1983 b).

Le gisement nouveau de Valensolette

Le gisement de Valensolette se trouve à l'extrémité distale du cône de Balène (fig. 1) à la base d'un banc de cailloutis sommital (fig. 2). Le contact de base, sur la brèche de Balène est de type ravinant et même, vers l'aval, ces cailloutis paraissent emboîtés dans le cône de Balène. Le ravinement est souligné par une colluvion argileuse qui a livré une faune de rongeurs. Un peu plus en amont et latéralement, au lieu-dit Rème (fig. 1), ce niveau de ravinement encore visible est représenté par des poches argileuses plus ou moins rubéfiées et par des figures d'éro-

sion dans les cailloutis. Ces remaniements semblent caractéristiques de la partie sommitale de la brèche de Balène. A Valensolette, le lavage tamisage de 300 kg de colluvion argileuse grise a permis la récolte de quelques dents de rongeurs et de fragments osseux divers. Deux espèces sont présentes : *Microtus pliocaenicus* et *Mimomys cf. savini*.

Microtus pliocaenicus est représentée par 4 M1 inf. et 1 M3 sup. Deux des molaires inférieures ont le dessin caractéristique trouvé dans les populations évoluées de *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* (Brochet *et al.*, 1983 ; Chaline, 1974). Une dent (fig. 3, 1) possède un lobe AC2 (terminologie *in* Van der Meulen, 1973) isolé, un peu plus long que large, un AC3 peu différencié (LRA5 peu profond et BRA4 inexistant) et les triangles T4 et T5 ne sont pas tout à fait fermés. Le second spécimen (fig. 3, 2) montre un AC2 isolé, aussi long que large et un AC3 non différencié (LRA5 peu profond, pas de BRA4) et les triangles T4 et T5 sont largement confluent. Les morphotypes représentés sont respectivement « *ratticepoides* » et « *hintoni* ». Les deux autres M1 inf. ont été très altérées par la fossilisation. La M3 sup. (fig. 3, 3) indique par

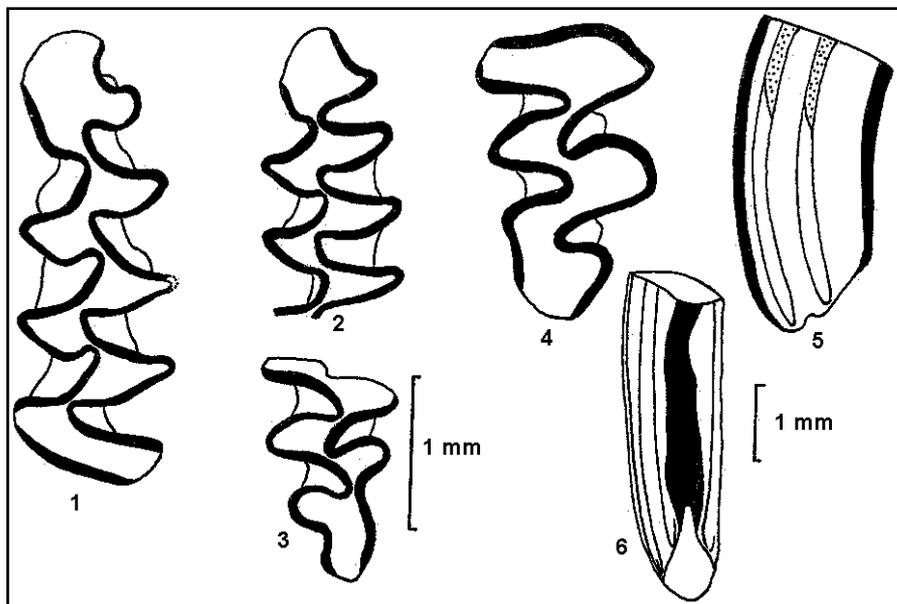


Fig. 3.- 1 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* M1g ; morphotype évolué « *ratticepoides* » ; 2 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* : M1g brisée, morphotype « *hintoni* » ; 3 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* : M3d, triangles dentaires très fermés indiquant un morphotype évolué. 4 : *Mimomys cf. savini* : M3g ; 5 : id. : vue latérale externe montrant la linea sinuosa ; 6 : id. : vue postérieure montrant l'interruption de l'émail.

Fig. 3.- 1 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* M/1 sen, derived "ratticepoides" "morphotype"; 2 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus* M/1 sen, broken "hintoni" "morphotype"; 3 : *Microtus (Allophaiomys) pliocaenicus*, M3/ dex, closed enamel triangles indicating a derived species; 4 : *Mimomys cf. savini*: M3/ sen; 5 : id. : in lateral external view with the linea sinuosa; 6 : id. : posterior view with the enamel free area.

sa taille et sa morphologie, un animal compatible avec la détermination des M1 inf. Les triangles de la M3 sup. sont inégaux en taille (du plus grand au plus petit, T3, T2, T4) et fermés, ce qui atteste un degré d'évolution élevé. Malgré la modestie de l'échantillon, le campagnol représenté à Valensolette appartient à une forme évoluée du groupe d'espèces placées dans le sous-genre *Microtus* (*Allophaiomys*). Le degré d'évolution de la forme représentée à Valensolette est supérieur à celui des *Microtus* (*Allophaiomys*) du Mas Rambault (Chaline, 1972) et comparable à celui des espèces présentes dans les sites de Bourgade, les Valerots (Chaline *et al.*, 1985), le Vallonnet (Chaline, 1971). Une M3 sup. d'un campagnol de grande taille, à couronne très élevée, sans puiset, avec une échancrure latérale externe de l'émail également très élevée, et du ciment dans les angles rentrants, indique la présence d'un *Mimomys* de degré d'évolution comparable à celui du *Mimomys savini*. La présence d'une telle forme est compatible avec celle d'un représentant du groupe des *Microtus* (*Allophaiomys*) évolués. L'association *Mimomys-Microtus* détermine un intervalle de temps caractéristique du Pléistocène d'Europe connu sous le nom de Biharien (Fejfar et Heinrich, 1989 ; Chaline, 1986 ; Chaline et Farjanel, 1990). L'étalonnage de cet intervalle donne un âge compris entre 1,8 et 0,6 Ma mais le degré d'évolution élevé des espèces trouvées à Valensolette indique la partie supérieure de cet intervalle : une fourchette comprise entre 1,0 et 0,7 Ma peut être avancée pour la datation de la faunule de Valensolette.

En conclusion, les niveaux à mammifères de Cornillet et de Valensolette apportent des renseignements sur l'âge de la brèche de Balène. Le premier, situé dans une récurrence lacustre qui interrompt momentanément la mise en place de la brèche de Balène, date le début de la progradation du cône de Balène. Le deuxième site, Valensolette, s'est formé alors que l'édification de la brèche de Balène proprement dite était sur le point de se terminer ou était achevée. Il fournit un repère chronologique pour dater le début de l'enfoncement du réseau hydrographique régional.

Étude magnétostratigraphique

Dans le cadre du présent travail, nous avons réalisé une analyse paléomagné-

tique dans les faciès terminaux du bassin, mais nous rappelons d'abord les résultats déjà obtenus dans la formation lacustre de Puimoisson (Biquand *et al.*, 1990). L'analyse a été faite sur la coupe des Deffends qui correspond aux vingt derniers mètres du remblaiement lacustre (fig. 2, A). L'interprétation paléomagnétique alors proposée s'appuyait sur les données biostratigraphiques disponibles dans les niveaux lacustres et palustres de Puimoisson. La partie inférieure de la séquence analysée (10 m environ) est de polarité directe tandis que la moitié supérieure est de polarité inverse. L'inversion mise ainsi en évidence est située à 6 m au-dessus du niveau à rongeurs de Grenouillet (zone de Sète) et à 3 m au-dessous du niveau à *Equus stenonis* archaïque. Ce contexte biochronologique plaide en faveur de l'inversion de Gauss-Matuyama (2,6 Ma). Au-dessus du niveau caillouteux à *Equus*, la série lacustre se poursuit, en restant de polarité inverse, par des niveaux de travertins qui se situent dans une position équivalente à ceux de Cornillet (zone mammalogique de Saint-Vallier). C'est à ce niveau stratigraphique que se fait le relais avec les termes plus élevés de la brèche de Balène, objet de la présente étude.

Dans la brèche de Balène, la possibilité d'analyse se limite aux niveaux limoneux ou travertineux interstratifiés avec les cailloutis. Ces niveaux sont plus nombreux à la base de la formation et sur ses bords, où ils correspondent à des faciès de passage, et à son sommet où il y a des loess. Pour ces raisons, les prélèvements analysés n'ont pu être effectués sur une même coupe mais sur un cheminement qui reste dans le voisinage des deux gisements paléontologiques. Nous avons prélevé par sections locales (identifiées de A à H sur les figures 1 et 2) de deux à trois niveaux superposés de façon à avoir des séquences assez longues qui se recoupent partiellement et qui soient corrélées directement *de visu* dans le corps de la brèche (ou par rapport à des niveaux-repères dans le lacustre sous-jacent). Toutes les sections se situent en avant de la zone tectonisée et ne présentent aucune déformation. Dix niveaux différents (fig. 2, B) répartis sur les huit sections ont été analysés. Une section (A) se situe à Cornillet et passe par le gisement lui-même et rejoint vers le bas les niveaux lacustres où se situe le gisement de Ségriès. Il n'a pas été possible en raison

de la nature du sédiment (colluvion argileuse craquelée) de faire un prélèvement sur le site même de Valensolette (section F), mais une série de mesures a été faite un peu en amont et latéralement à Rème (section E), dans un niveau équivalent de la nappe sommitale. Nous avons fait un prélèvement dans le loess sommital (section H), à Saint-Antoine, sur le cône de Saint-Jurs (fig. 1).

Les analyses paléomagnétiques ont été effectuées au Laboratoire de Géomagnétisme de St Maur, sur des cubes de 17 mm d'arête issus des échantillons prélevés (4 à 10 cubes ont été obtenus sur chacun des prélèvements). Un inductomètre à haute sensibilité (type JR4, Geofysica, Brno) a été utilisé pour la mesure. L'élimination de l'aimantation rémanente visqueuse (ARV), souvent importante dans les sédiments (voir par exemple Biquand et Sémah, 1987) est obtenue par un traitement thermique progressif, jusqu'à une température de 200°C, suivi d'un refroidissement en champ nul. Le comportement de la composante non visqueuse, a cependant été vérifié à des paliers de chauffe plus élevés, et les résultats de la figure 4 ont été obtenus après traitement à 320°C. Sur les dix niveaux répartis sur l'épaisseur de la brèche de Balène, huit présentent, pour chacun des spécimens étudiés, une direction d'aimantation proche de celle du dipôle inverse (fig. 4a). La dispersion des directions individuelles est très importante, comme à l'accoutumée dans les sédiments peu aimantés, mais la polarité est nettement inverse. Ce résultat montre que globalement, la brèche s'est formée durant une période de polarité inverse. Vers la base, il y a concordance avec les résultats précédemment publiés (Biquand *et al.*, 1990) qui attestent l'appartenance du sommet de la formation de Puimoisson à la première partie de la période inverse de Matuyama (1,95 - 2,6 Ma). Malheureusement, à Ségriès (section A) nous n'avons pas pu vérifier la polarité des niveaux travertineux lacustres sous-jacents aux cailloutis, l'aimantation étant trop faible.

Deux niveaux de la brèche, l'un, situé vers sa base, l'autre vers son sommet, paraissent avoir une polarité directe : les échantillons se dispersent mais s'orientent très majoritairement après le traitement thermique vers le pôle direct. Ces

deux niveaux ont fait l'objet d'un deuxième prélèvement et de contrôles : la polarité directe est confirmée par la multiplication des mesures (fig. 4b). Le premier de ces niveaux a été recoupé en deux points différents (section A, n°3 et section B, n°3') du cône de Balène. La section A passe par le site de Cornillet : le site lui-même et les limons sous-jacents sont de polarité inverse (fig. 2, n°1 et n°2). Au-dessus d'un premier banc de brèche épais de 1 m environ (de polarité non déterminée) se trouve un limon argileux qui est le niveau de polarité directe en question. Le second niveau de polarité directe est celui de Rème (section E, n°9) qui correspond à la nappe caillouteuse sommitale dans laquelle se situe le gisement de Valensolette (section F).

Les loess sommitaux analysés (fig. 2, section H, n°10), encore plus récents, sont de polarité inverse (fig. 4a). Pour comprendre la signification de la polarité inverse de ces loess situés au sommet du remblaiement de Valensole, il convient de rappeler que ce dépôt éolien est contemporain des premiers stades d'enfoncement du réseau hydrographique. Dans les vallées internes du bassin (Asse, Bléone, Verdon), ces stades d'enfoncement n'ont laissé que de rares témoins, par contre le long de la vallée de la Durance, en bordure aval du bassin de Valensole, ils sont représentés par des hautes terrasses. Sur les trois plus anciennes terrasses, les couvertures de loess sont de polarité inverse et le quatrième niveau emboîté comprend l'inversion Bruhnes/Matuyama (0,78 Ma) (Dubar et Sémah, 1986). Les loess, ceux de la surface de Valensole et ceux des hautes terrasses s'inscrivent donc tous dans la partie récente de l'époque de Matuyama.

Même si les résultats paléomagnétiques obtenus à Balène restent forcément lacunaires compte tenu de la nature sédimentologique des niveaux analysés, l'interprétation proposée apparaît comme la seule compatible avec les données de la biostratigraphie. La signification des deux niveaux de polarité directe situés respectivement vers la base et vers le sommet de la brèche de Balène ne peut être totalement précisée. Le niveau supérieur, sous-jacent aux loess sommitaux de polarité inverse, et qui correspond à celui de la faune de Valensolette, représente vraisemblablement l'épisode direct de 1-1,05 ma (Jaramillo). Nous écartons l'évènement de

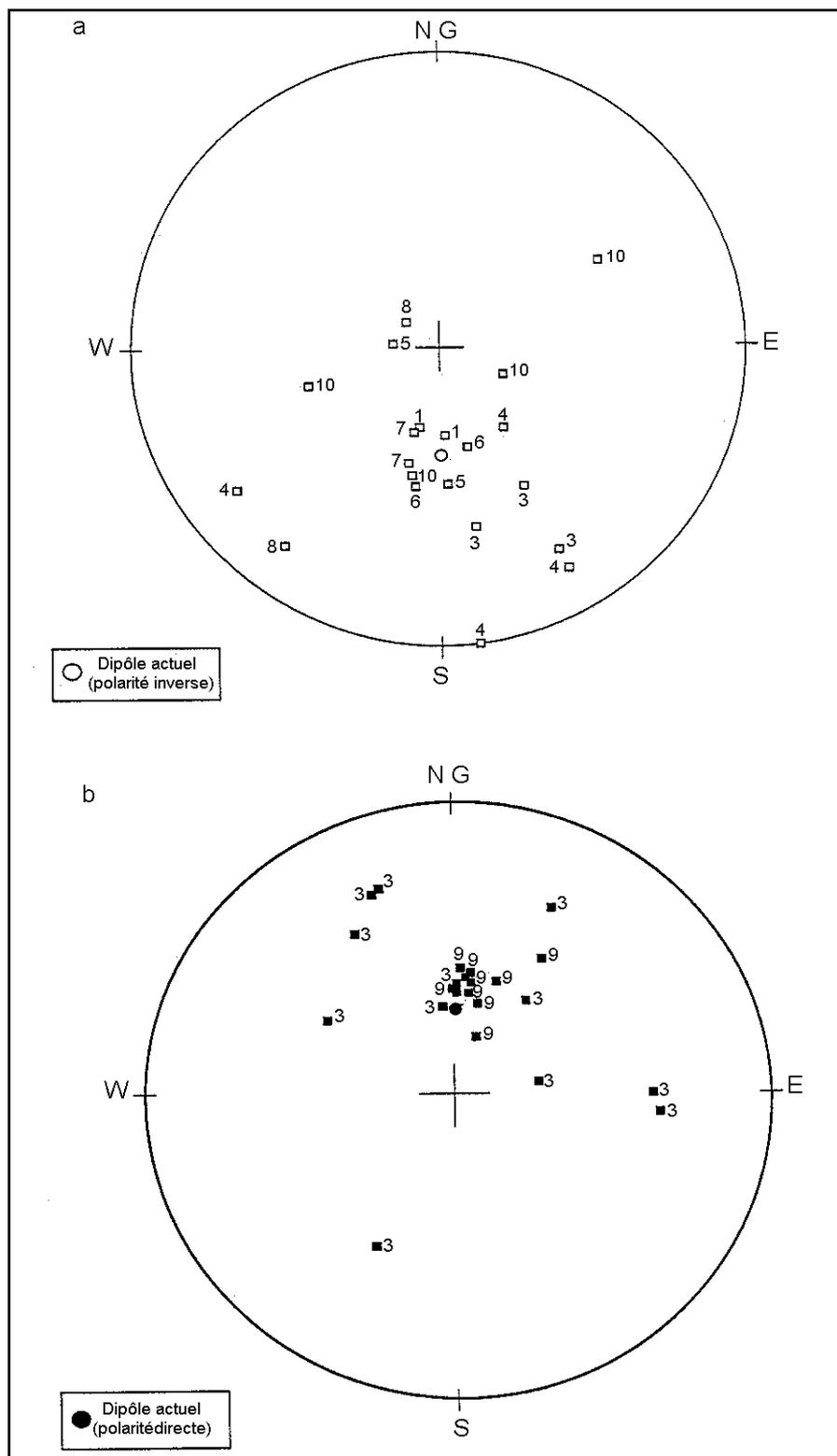


Fig. 4.- Assises terminales du bassin de Valensole. Représentation en projection à surfaces conservées, des directions individuelles d'aimantation après traitement thermique à 320°C. NG = Nord Géographique. Les symboles pleins correspondent aux directions d'inclinaison positive (vers le bas) et les symboles évidés aux inclinaisons négatives (vers le haut). Les polarités (inverse en 4 a et directe en 4 b) sont à évaluer en regard de la position du champ dipolaire actuel et de son inverse.

Fig. 4.- Terminal deposits of the Valensole Basin. Representation, on an equal area net, of the individual magnetisation directions after a 320°C treatment. NG = Geographic North. Full symbols represent positive (downwards) inclinations, and empty symbols represent negative (upwards) inclinations. Polarities (reversed in 4a and normal in 4b) are to be compared with the position of the present and reversed dipole field.

Cobb Mountain qui est probablement trop bref pour avoir été fossilisé dans ce type de formation. L'épisode direct mis en évidence vers la base de la brèche, un peu au-dessus du site de Cornillet, peut correspondre soit à l'épisode de 1,95-1,77 Ma (Olduvai) soit à l'événement de 2,2 Ma (Réunion). En tout état de cause, le site de Cornillet est antérieur à l'épisode d'Olduvai, ce qui lève l'imprécision dont fait état un article récent (Lindsay *et al.*, 1997).

Ainsi, globalement, la brèche de Balène correspond à la deuxième partie de la période inverse de Matuyama (1,77-0,78 Ma), mais son épandage débute très probablement vers la fin de la première partie de cette période (2,6-1,77 Ma) (fig. 5).

Âge et signification de la brèche de Balène. Evolution morphodynamique du bassin à la transition Néogène-Quaternaire

Sur les bordures subalpines du bassin de Valensole, l'apport de cailloutis anguleux torrentiels est un phénomène permanent durant tout le Pliocène. Au Pliocène terminal, il y a augmentation considérable du volume de ces cailloutis et constitution de grands cônes torrentiels qui s'étendent peu à peu vers l'aval. C'est le début de cette progradation des cônes que nous datons entre 2,2 et 1,95 Ma sur la coupe de Cornillet. Vers 1 Ma, la formation de la brèche est terminée. C'est donc durant pratiquement un million d'années que des cailloutis s'accumulent massivement sur le piémont. Cette pérennité implique deux conditions :

1) La première est celle d'un apport caillouteux suffisant et continu. Comme le volume des apports caillouteux reste considérable alors que la tectonique de l'arc est terminée, il faut envisager que la morphologie des reliefs subalpins nouvellement créés suffisait certainement à entretenir une érosion vive des versants et une production massive de détritique grossier. S'y ajoutaient les effets du climat. Le caractère climatique de la brèche de Balène, déjà signalé (Bourdier, 1962 ; Gigout, 1969 ; Dubar, 1972), se manifeste par des niveaux riches en débris calcaires gélifracés. Le phénomène de la gélifraction des roches est aujourd'hui

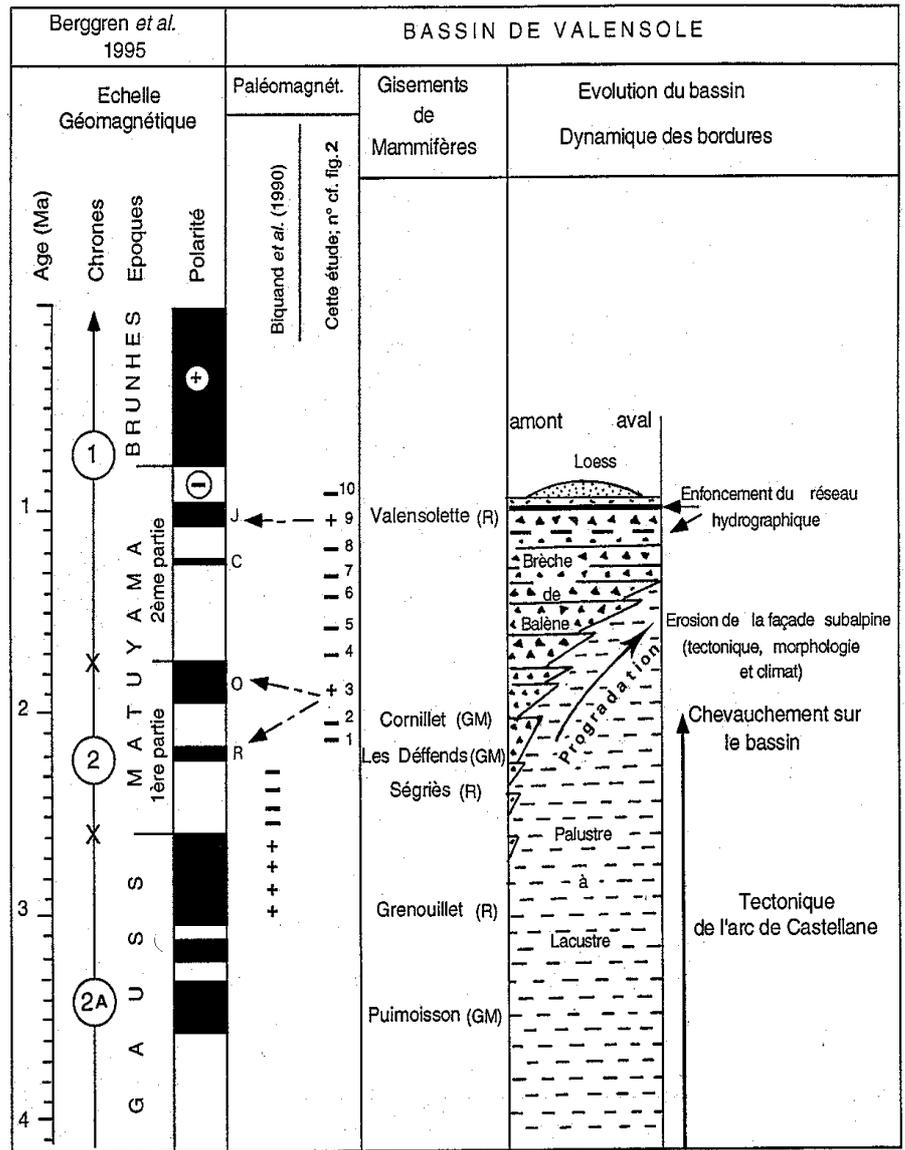


Fig. 5.- Synthèse des données biostratigraphiques et magnétostratigraphiques : chronologie des dépôts terminaux du bassin de Valensole et principaux événements (tectonique, morphogénèse, hydrographie et climat). Sur l'échelle magnétostratigraphique, J : épisode de Jaramillo ; C : épisode de Cobb Mountain ; O : épisode d'Olduvai ; R : épisode de Réunion.

Fig. 5.- Synthesis of biostratigraphic and magnetostratigraphic data: chronology of top most deposits of the Valensole Basin and main events (tectonic, morphogenetic, hydrographic and climatic). On the magnetostratigraphic scale, J: Jaramillo event; C: Cobb Mountain event; O: Olduvai event; R: Reunion event.

efficace dans les montagnes subalpines au-dessus de 1 000 m. Lors de la glaciation würmienne (il y a 20 000 ans environ), la gélifraction, généralisée au-dessus de 600 m, a donné naissance à des dépôts considérables. La cryoclastie de la fin du Pliocène, que la brèche de Balène enregistre sur le piémont, est vraisemblablement un phénomène d'altitude apparu sur les hauts-reliefs subalpins nouvellement créés en bordure du bassin. On peut aussi relier l'apparition de la gélifraction d'altitude à la détérioration du climat global de cette époque qui est bien démontrée, au

niveau du bassin, par l'apparition et le développement des espèces de mollusques steppiques (Dubar et Magnin, 1992).

2) La seconde condition est la stabilité du niveau hydrographique local (et donc l'absence d'incision) pendant le Pliocène supérieur et le début du Pléistocène. Cette stabilité est attestée par deux indices : a) le maintien en position sommitale des nappes fluviales ; b) la persistance d'un régime palustre dans le secteur de Puimoisson. On en déduit que le creusement des rivières Asse et Verdon

ne commence que très tardivement au moins dans ce secteur. Ceci indique, pour le Pléistocène inférieur, une physiographie qui contraste avec la morphologie actuelle où ces deux vallées fortement encaissées franchissent en cluses profondes les chaînons subalpins. Il y a donc inversion de la dynamique fluviale probablement vers 1 Ma. Le début de l'incision est très tardif par rapport à la Durance qui est le drain principal et qui commande l'exutoire avec la Méditerranée. En effet, pour la Durance, en considérant que la vitesse d'enfoncement a été constante au

cours du Quaternaire et en se servant du repérage de la limite magnétique Bruhnes-Matuyama (0,78 Ma) sur la terrasse HT4 (Dubar et Sémah, 1986) à 140 m en contrebas de la surface de Valensole, le début de l'incision de la moyenne Durance se situerait vers 1,7 Ma. Il existe donc dans le secteur de Puimoisson un fort retard d'incision (0,7 Ma) par rapport à la Durance. Les causes de ce retard pourraient être d'ordre hydrodynamique (nous n'avons pas de données pour les autres affluents de la

Durance) ou liées à un comportement néotectonique spécifique du secteur.

Remerciements

Les mesures de paléomagnétisme ont été effectuées par Abdelkrim Moutmir que nous remercions vivement. Les auteurs remercient aussi les deux rapporteurs qui ont permis d'améliorer le texte, en particulier en ce qui concerne le paléomagnétisme.

Contribution n° 98070 isem (UMR 5554 du CNRS).

Références

- Bachelet B. (1990) - Muridae et Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) du Pliocène du Sud de la France : systématique, évolution, biochronologie. Thèse de doctorat, Univ. de Montpellier I, 199 p.
- Berggren W.A., Kent D.V., Swisher C.C., Aubry M.P. (1995) - A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *In: Geochronology times scale and Global Stratigraphic Correlation. SEPM spec. publ.* **54**, 129-212.
- Biquand D., Sémah F. (1987) - Viscosité magnétique potentielle, aimentation détritique et viscosité réelle d'un sédiment lacustre Quaternaire. *Canad. J. Earth Sci.*, **24**, 1903-1912.
- Biquand D., Dubar M., Sémah F. (1990) - Palaeomagnetic Correlation of the Mediterranean Upper Neogene Biochronology and Villafranchian Vertebrate Sites of the Massif Central. *Quaternary Research*. **33**, 241-252.
- Bourdier F. (1962) - Le bassin du Rhône au Quaternaire. Thèse Sciences, Paris. 2 vol., 364 p., 297 fig., Louis Jean édit.
- Brochet G., Chalain J., Poplin F. (1983) - Courterolles (Yonne), une faune interglaciaire à hippopotame (Waalien ?) et une microfaune steppique à *Allophaiomys* (Menapien ?) du Pléistocène inférieur. *Mém. Soc. Préhist. Fr.*, **16**, 15-18.
- Chalain J. (1971) - La microfaune du Vallonnet (A.M.) et le problème des corrélations micro-macromammifères à la limite Pléistocène inférieur-moyen. *Bull. Musée Anthropol. Préhist. Monaco*, **17**, 65-69.
- Chalain J. (1972) - Les rongeurs du Pléistocène moyen et supérieur de France. *Cahiers de Paléontologie*, éd. CNRS, Paris, 410 p.
- Chalain J. (1974) - Esquisse de l'évolution morphologique, biométrique et chromosomique du genre *Microtus* (*Arvicolidae*, *Rodentia*) dans le Pléistocène de l'hémisphère nord. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), **16**, 4, 440-450.
- Chalain J. (1986) - Continental faunal units of the Plio-pleistocene of France. *Mem. Soc. Geol. italiana*, **31**, 175-183.
- Chalain J., Farjanel G. (1990) - Plio-pleistocene rodent biostratigraphy and palynology of the Bresse Basin, France and correlation within western Europe. *Boreas*, **19**, 69-80.
- Chalain J., Renault-Miskowsky J., Brochet G., Clément-Dels R., Jammot D., Mourer-Chauvire C., Bonvalot J., Lang J., Leneuf N., Pascal A. (1985) - L'aven des Valerots (Nuits-St-Georges, Côte-d'Or), site de référence du Pléistocène inférieur. *Rev. géol. Dynam. Géogr. Phys.*, **26**, 2 : 109-118.
- Clauzon G. (1975) - Sur l'âge villafranchien du chevauchement subalpin au droit de Puimoisson (Alpes de Haute-Provence). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **280**, (D), 2433-2436.
- Clauzon G., Suc J.P., Aguilar J.P., Ambert P., Cappetta H., Cravatte J., Drivaliari A., Domenech R., Dubar M., Leroy S., Martinell J., Michaux J., Roiron P., Rubino J.L., Savoye B., Vernet J.L. (1990) - Pliocene geodynamic and climatic evolutions in the French Mediterranean region. *In: Iberian Neogene Basins. Paleontologia i Evolucio*, Sabadell, Mem. Sp., 2, 133-186.
- Combes Ph. (1984) - La tectonique récente de la Provence occidentale. Microtectonique, caractéristiques dynamiques et cinématiques. Méthodologie de zonation tectonique et relation avec la sismicité. Thèse 3e cycle (non publiée), Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 182 p.
- Debard E., Faure M., Guérin C. (1994) - Stratigraphie du gisement villafranchien moyen de Saint-Vallier (Drôme). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **318**, (2), 1283-1286.
- Dubar M. (1972) - Stratigraphie des formations plio-pléistocènes de la région de Puimoisson-Saint-Jurs-Ségriès (Alpes de Haute-Provence). *Bull. Assoc. Fr. Et. Quat.*, **3**, 185-194.
- Dubar M. (1983 a) - Reconnaissance de la discontinuité de ravinement messinienne dans le bassin de Riez-Valensole ; implications stratigraphiques. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **296**, (2), 855-857.
- Dubar M. (1983 b) - Stratigraphie des dépôts du Néogène supérieur et du Pléistocène du bassin de la moyenne Durance ; interprétations géodynamiques et paléogéographiques. Thèse d'Etat Sciences, Univ. Aix-Marseille, 428 p.

- Dubar M. (1984) - Chronologie et signification des dépôts continentaux du Néogène supérieur du bassin de Riez-Valensole (A.H.P.). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7), **27**, 5, 971-978.
- Dubar M., Guérin C., Heintz E. (1978) - Les nouveaux gisements villafranchiens du ravin de Cornillet (Moustiers Sainte-Marie, A.H.P., France) et leur contexte géologique. *Géobios*, **11**, 3, 367-381.
- Dubar M., Magnin F. (1992) - Présence d'Hélicelles (Helicellinae) dans le Pliocène du Midi de la France ; nouvelles données sur la dispersion du groupe au Pléistocène. Implications paléoclimatiques. *Géobios*, **25**, 2, 357-366.
- Dubar M., Semah F. (1986) - Paleomagnetic Data Bearing on the Age of High Terraces deposits (Durance Valley) sequence in Alpine valleys of Southern France. *Quaternary Research*, 25 (1986-3), 387-391.
- Fejfar O., Heinrich W.D. (1989) - Muroid Biochronology of the Neogene and Quaternary in Europe. - *In European Neogene Mammal Chronology* (E. Lindsay, V. Fahlbusch and P. Mein, edits), Plenum Press, New York, 91-118.
- Freytet P. (1984) - Les sédiments lacustres et palustres carbonatés et leurs transformations par émergence et pédogénèse. Importance de leur identification pour les reconstitutions paléogéographiques. *Bull. Centre rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, **8**, 1, 223-247.
- Gigot P. (1982) - Notice explicative de la feuille de Digne à 1/50 000, BRGM, 76 p.
- Gigout M. (1969) - Le Quaternaire du plateau de Valensole. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **268**, (D), 2167-2169.
- Guerin C., Mein P., Truc G. (1970) - Nouveaux mammifères et mollusques continentaux d'âge pliocène terminal au toit du plateau de Valensole (A.H.P.). *C.R. Acad. Sci. Paris*, (D), **271**, 2094-2097.
- Lapparent A. De (1938) - Etudes géologiques dans les régions provençales et alpines entre le Var et la Durance. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, **40**, 198, 302 p, 57 fig.
- Lindsay E.H., Opdyke N.D., Fejfar O. (1997) - Correlation of selected Late Cenozoic European mammal faunas with the magnetic polarity time scale. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **133**, (1997), 205-226.
- Meulen A. Van der (1973) - Middle Pleistocene smaller mammals from the monte Peglia (Orvieto, Italy), with special reference to the phylogeny of microtus (*Arvicolidae, Rodentia*). *Quaternaria*, **17**, 1-114.