

GRANDS TRAITs DE LA GEOLOGIE DE LA PARTIE ORIENTALE DU MASSIF DE TANNERON (Alpes-Maritimes et Var, France)

Gilbert CREVOLA
Institut EGID, Université Bordeaux 3, 33607 Pessac
crevola@egid.u-bordeaux3.fr

INTRODUCTION

En Provence varisque ou cristalline ⁽¹⁾ le massif métamorphique de Tanneron est situé au nord-est du massif des Maures, dont il est séparé par le fossé permien du Bas-Argens, auquel fait suite plus à l'est le massif volcanique de l'Estérel (fig. 1). Le massif de Tanneron peut être divisé en deux parties séparées par le sillon houiller du Reyran d'orientation subméridienne : le *Tanneron occidental* et le *Tanneron oriental*. Cet article concernera essentiellement le Tanneron oriental, en raison de son plus grand intérêt géologique et de sa meilleure accessibilité.

Le Tanneron oriental est couvert pour l'essentiel ⁽²⁾ par les deuxièmes éditions des cartes géologiques à 1/50 000 Grasse-Cannes (Crevola, *in* Dardeau *et al.*, 2010) et Fréjus-Cannes (Crevola, *in* Toutin-Morin *et al.*, 1994). Ces cartes présentent l'état actuel de nos connaissances sur le massif. Elles sont basées sur des conceptions lithostratigraphiques et structurales modernes, développées à partir de la fin des années 70 (Crevola, 1977), qui ont renouvelé celles issues des travaux cartographiques de Bordet : premières éditions des

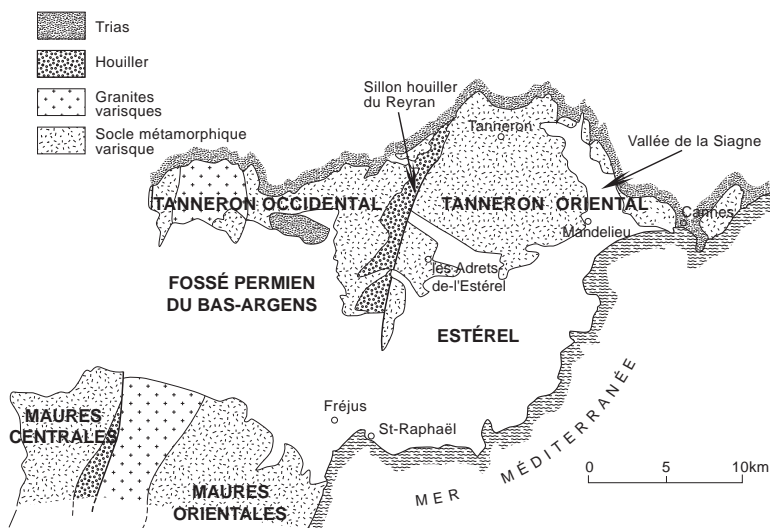


Fig. 1 : Carte de situation.

mêmes feuilles (Bordet *et al.*, 1966 ; Ginsburg *et al.*, 1970) ainsi que : Bordet, 1961, 1966. Par ailleurs, les études structurales, pétrologiques et radiochronologiques associées à la cartographie, conduisent maintenant à un modèle d'évolution tectono-métamorphique régional, en accord avec les concepts géodynamiques actuels sur la chaîne varisque (Faure *et al.*, 2008).

L'objectif premier de cet article est de présenter une vue d'ensemble de la géologie du Tanneron oriental, explicitant les données des cartes géologiques et soulignant les progrès des connaissances. En outre, on décrira plus en détail dans des localités-types des dispositifs structuraux et des formations métamorphiques remarquables, qui permettent de caractériser le style tectonique et l'évolution tectono-métamorphique du massif.

LE MASSIF DE TANNERON, SA PLACE A L'EST DU SOCLE PROVENÇAL

Deux domaines contrastés

En Provence varisque, on distingue classiquement deux grands domaines séparés par l'accident de Grimaud-Joyeuse. *Le domaine oriental*, qui s'étend sur 40 km d'est en ouest, comprend le massif de Tanneron et les Maures orientales avec les massifs de Ste-Maxime et de St-Tropez. Il est constitué de séries gneissiques toujours *migmatitiques* ⁽³⁾ d'apparence monotone, ce qui explique que, jusqu'à une date récente il n'ait suscité que peu d'intérêt de la part de la communauté scientifique. *Le domaine occidental* s'étend sur les Maures occidentales et centrales. Le métamorphisme y croît progressivement d'ouest en est, jusqu'à atteindre localement *l'anatexie* ⁽³⁾. Il présente une série diversifiée devenue classique, qui comporte notamment les emblématiques micaschistes à minéraux et gneiss de Bormes et l'énigmatique complexe leptyno-amphibolique, l'une des clés de la géodynamique du socle provençal.

La continuité Maures-Tanneron

A l'intérieur du domaine oriental, la continuité du socle entre les deux massifs avait été établie par Bordet (1961) à partir de la correspondance de structures tardives postmétamorphiques des Maures orientales et du Tanneron occidental : houiller de Plan-de-la-Tour des Maures et de Pennafort du Tanneron, granite de Plan-de-la-Tour des Maures et granite du Rouet du Tanneron, accident de Grimaud des Maures et de Joyeuse du Tanneron. L'identité de leurs formations métamorphiques, qui passent d'un massif à l'autre, de leur structuration et de leur niveau de métamorphisme, a été démontrée plus récemment (Crevola *in* Toutin-Morin *et al.*, 1994) ce qui confirme l'unité du socle provençal.

Le massif et ses bordures

Le Tanneron oriental se présente comme un quadrilatère de socle d'une dizaine de km de côté que prolongent à l'est, vers Cannes, les massifs annexes de la Croix des Gardes et du Bois de la Maure et au sud-ouest l'appendice des

Adrets-de-l'Estérel. Sa morphologie est caractérisée par la présence de surfaces sommitales vigoureusement entaillées par le réseau hydrographique actuel. Ces hautes surfaces, où s'est établi l'habitat ancien, sont les vestiges d'une surface d'aplanissement élaborée au Miocène sur les massifs anciens provençaux et leurs bordures sédimentaires. Le Tanneron oriental est limité par des formations sédimentaires d'âge et de nature divers (fig. 1) :

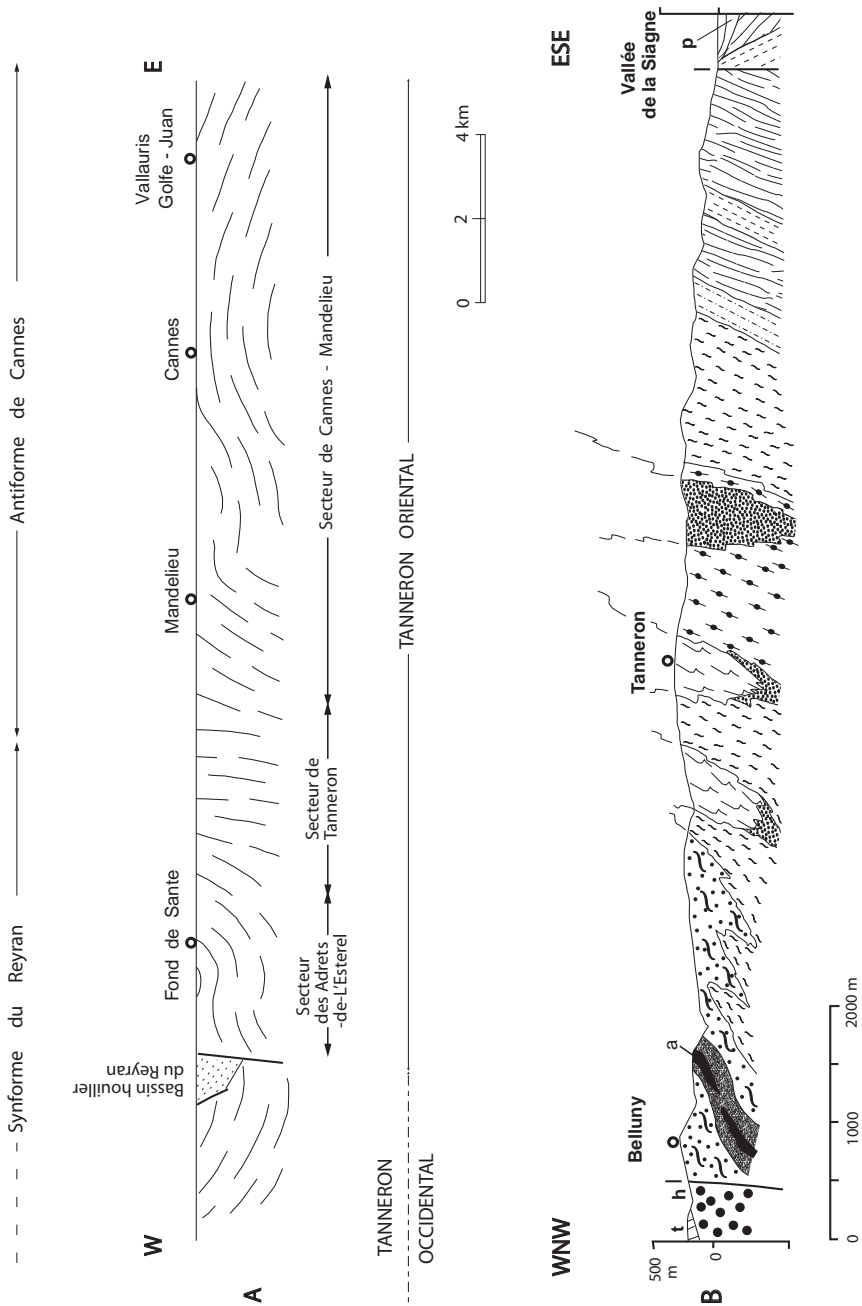
- au sud, il est abaissé en gradins vers le fossé de l'Estérel par des failles permienes de direction sensiblement E-W ;
- à l'ouest, il est séparé du Tanneron occidental par le fossé stéphanien du Reyran, dépression morphologique correspondant à l'évidement d'un fossé tectonique à remplissage détritique avec intercalations houillères ;
- au nord et au nord-est, les grès de la base du Trias drapent le socle, formant une auréole continue depuis le lac de St-Cassien jusqu'à Vallauris ;
- à l'est, la retombée du Tanneron oriental est profondément entaillée par la vallée pliocène et quaternaire de la Siagne, large de 1 à 3 km. Il s'agit d'une ancienne ria pliocène remplie de marnes à cailloutis.

LITHOSTRATIGRAPHIE ET GRANDES STRUCTURES TECTONIQUES

Dans une première approche le Tanneron oriental est replacé dans la structure d'ensemble du domaine oriental. Les données cartographiques et structurales montrent que l'ensemble du massif de Tanneron présente une suite de trois grandes structures décakilométriques tardives, de type dôme (ou brachyantoclinal) et cuvette (ou brachysynclinal). Ce sont d'est en ouest : *l'antiforme de Cannes, la synforme du Reyran - les Issambres, l'antiforme du Rouet - Plan-de-la-Tour* (Crevola in Toutin-Morin et al., 1994). Les deux dernières structures sont communes au massif de Tanneron et aux Maures orientales. Le Tanneron oriental s'étend sur l'antiforme de Cannes et sur la moitié orientale de la synforme du Reyran - les Issambres, divisée en deux parties par le bassin houiller du Reyran (fig. 2A). Le Tanneron oriental, montre une bonne continuité cartographique de ses formations métamorphiques et de ses structures plissées de direction N-S et NE-SW (fig. 2D). De ce fait la description de deux coupes transversales (fig. 2B et C) permettra une bonne approche de sa lithostratigraphie et de sa structure. Sont distingués, d'est en ouest, trois secteurs, différents par leur succession lithostratigraphique (fig. 3) et leur structure (fig. 2A et D).

Le secteur de Cannes - Mandelieu (largeur 14 km)

Il s'étend de part et d'autre de la basse vallée de la Siagne depuis Vallauris jusqu'au versant droit de la vallée de la Siagne. Les gneiss leptynitiques migmatitiques ocellés de Cannes et de Mandelieu, épais de plus d'un millier de mètres, occupent l'essentiel de ce secteur. Ce sont les formations structurellement les plus inférieures du Tanneron oriental. Sur le versant droit de la vallée de la Siagne apparaît, intercalée au sein de ces gneiss, la formation plurihectométrique à micaschistes dominants des « micaschistes de Mandelieu ». Ces micaschistes, riches en sillimanite et grenat, à disthène et staurotide sporadiques,



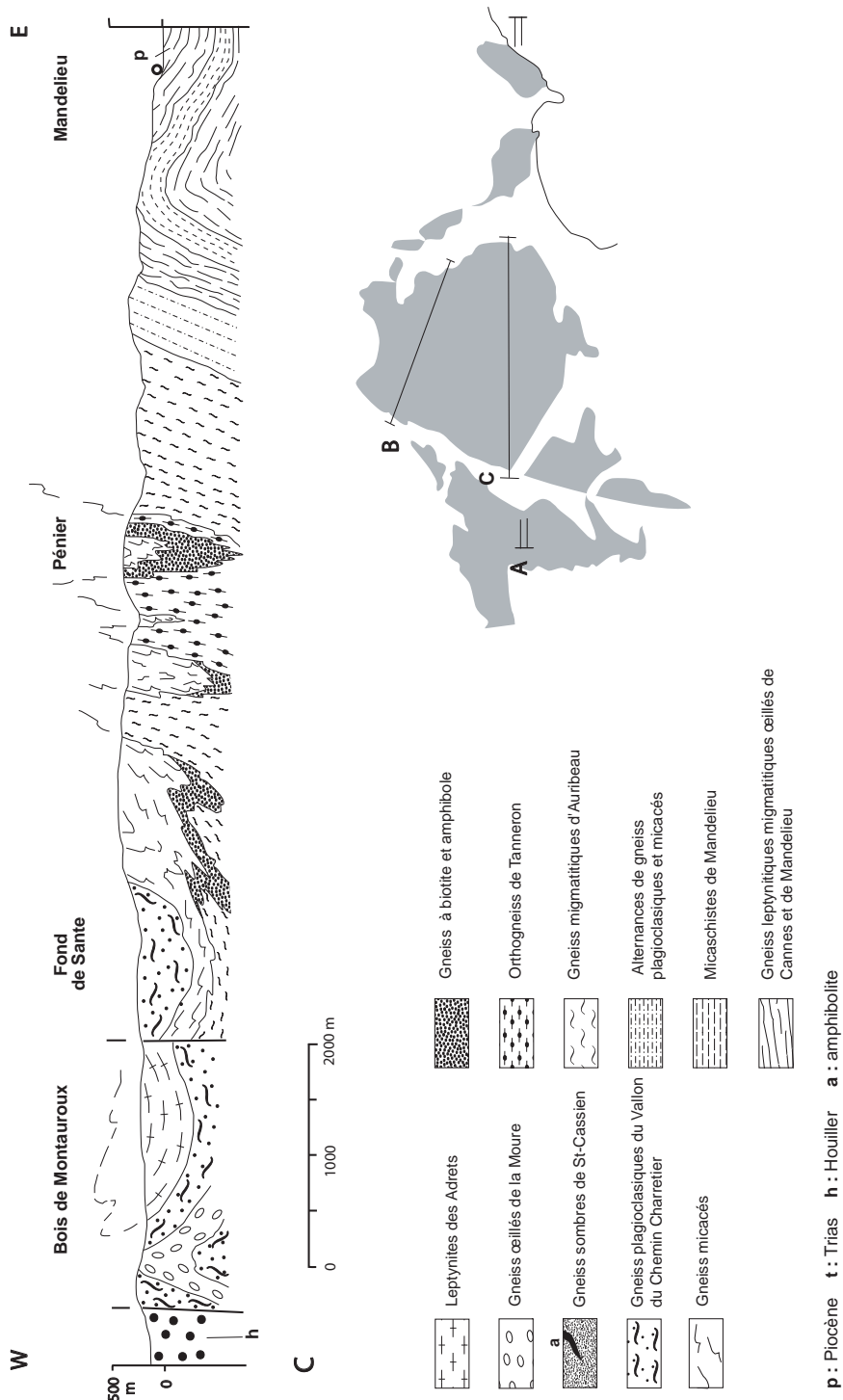


Fig. 2 : Coupes schématiques transversales dans la partie orientale du massif de Tanneron.
 A : Coupe d'ensemble montrant les grandes structures déterminées par l'attitude des foliations.
 B : Coupe dans la partie nord du Tanneron oriental.
 C : Coupe dans la partie sud du Tanneron oriental.

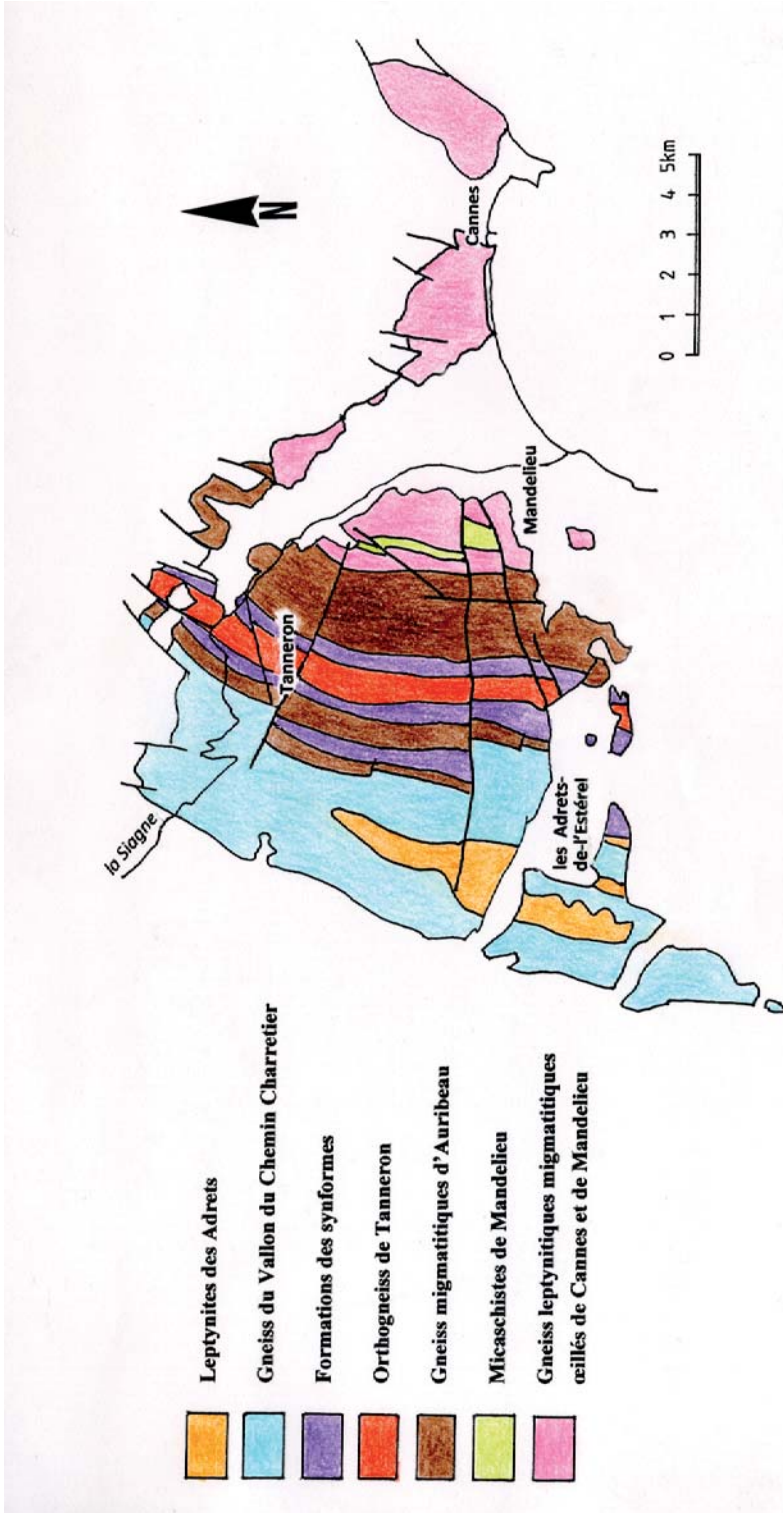


Fig. 2D : Carte géologique schématique du Tanneron oriental.

témoignent, par leur paragenèse, d'un métamorphisme barrowien de degré élevé. Seule formation de ce type dans le domaine oriental, elle en caractérise le métamorphisme.

Ce cœur est enveloppé par une formation à alternances de gneiss plagioclasiques et micacés (200 - 500 m) puis par les gneiss migmatitiques d'Auribeau. Ces gneiss, assez homogènes, à texture rubannée et œillée, mais aussi souvent amygdalaire sont probablement des orthogneiss.

Sur le versant ouest de la basse vallée de la Siagne, la foliation passe d'une direction N-S au sud à une direction N30-50 au nord au niveau de l'accident de Tanneron. Ainsi cette amorce de virgation traduit le passage du flanc ouest redressé de l'antiforme de Cannes à sa terminaison périclinale. En effet, sur l'autre versant de la vallée de la Siagne, dans le secteur de la Roquette-sur-Siagne, les foliations ont un pendage moyen à faible, de sens variable, et sont affectées d'ondulations décamétriques à hectométriques, ce qui caractérise les replis de la charnière. A l'est de Cannes, le Bois de la Maure, où les pendages sont dirigés vers l'est, correspondrait à l'amorce du flanc est de l'antiforme.

Le secteur de Tanneron (largeur 4 km)

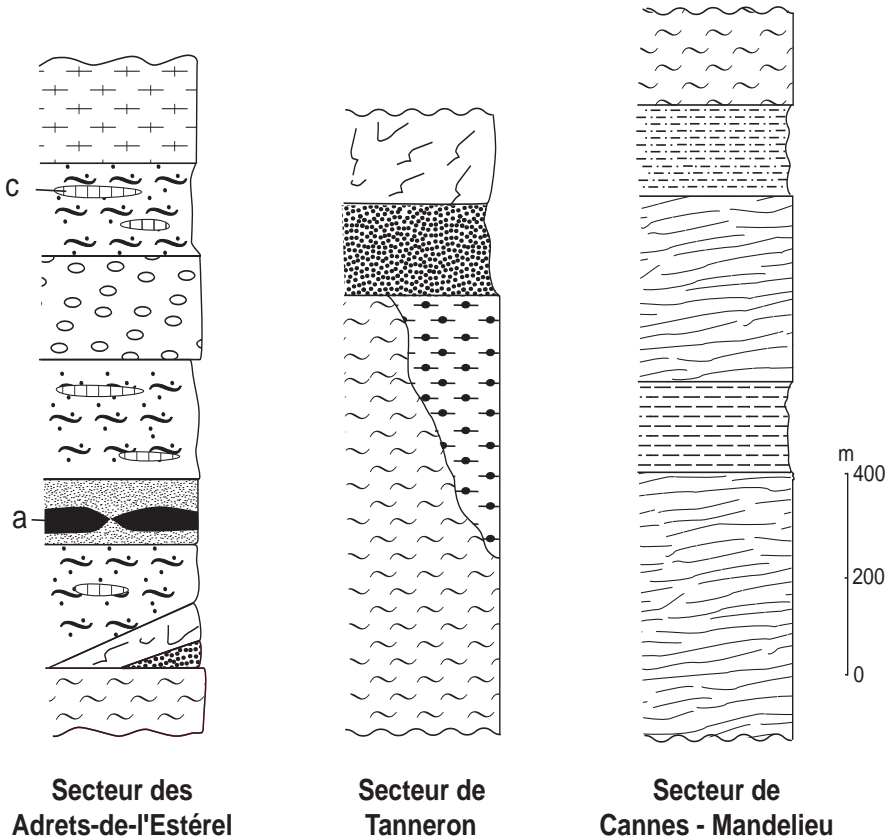
Il est caractérisé, d'une part par des pendages de la foliation très redressés, généralement dirigés vers l'ouest, et, d'autre part, par la disposition des formations en plusieurs bandes cartographiques hectométriques régulières. Ces bandes sont constituées, les unes par les gneiss migmatitiques d'Auribeau ou par l'orthogneiss de Tanneron, et les autres par des gneiss à biotite et amphibole surmontés par des gneiss micacés. Les répétitions de ces bandes et leur structure suggèrent l'existence de grands plis isoclinaux de largeur plurihectométrique. Ainsi, les gneiss migmatitiques d'Auribeau et les orthogneiss de Tanneron apparaissent comme des bandes à valeur d'antiformes, séparées par des bandes à valeur de synformes, contenant des gneiss micacés et des gneiss à biotite et amphibole (fig. 4). Ce secteur à foliation redressée peut être interprété comme correspondant au flanc commun à l'antiforme de Cannes et à la synforme du Reyran dans lequel les structures isoclinales sont verticalisées.

Le secteur des Adrets-de-l'Estérel (largeur 4 km)

Ce secteur, montre les formations les plus supérieures du Tanneron oriental, qui se placent au dessus des formations des synformes du secteur précédent. La formation principale des gneiss du Vallon du Chemin Charretier, épaisse de plus d'un millier de mètres, contient en intercalation les formations des leptynites des Adrets, des gneiss œillés de la Moure, et des gneiss sombres de St-Cassien, ainsi que des chapelets de lentilles de cipolin (fig. 3). Les gneiss du Vallon du Chemin Charretier sont des gneiss plagioclasiques à plagioclases globuleux, avec une foliation et un litage frustes, affectés par une migmatisation diffuse. Ils montrent des alternances, en général métriques, de gneiss de granulométrie et de teneur en micas différentes. Ces

variations lithologiques répétées et la présence de niveaux carbonatés sont caractéristiques d'une ancienne série sédimentaire détritique. En revanche, les leptynites des Adrets et les gneiss œillés de la Moure sont des orthogneiss granitiques. Ces derniers sont caractérisés par leurs feldspaths rosés parfois considérablement étirés. Les gneiss sombres de St-Cassien, riches en grenats, pourraient provenir aussi d'une roche magmatique, mais plus basique.

Les pendages redressés du secteur précédent s'atténuent à partir du méridien de Fond de Sante, marquant le passage du flanc de la synforme du Reyran à sa charnière. Celle-ci est affectée par des ondulations secondaires hectométriques à kilométriques. La plus typique est la synforme soulignée par les leptynites des Adrets au niveau des Adrets, qui plus au nord va présenter une terminaison périclinale. Les leptynites des Adrets constituent en fait une tête de pli isoclinal ployée ensuite en synforme (fig. 2C).



a : amphibolite c : cipolin

Fig. 3 : Lithostratigraphies des trois secteurs du Tanneron oriental.
(Légende identique à celle de la figure 2B et C).

Synthèse structurale

De l'étude des structures des divers secteurs on retiendra :

- l'existence de deux types distincts de grandes structures plissées, isoclinales (P2) et en plis ouverts (P3) ;
- ces deux types de plis s'observent à toutes les échelles ;
- l'existence de *tectoniques superposées* : les grands plis isoclinaux sont affectés par les grands plis ouverts qui leur sont postérieurs.

LA STRUCTURATION ISOCLINALE (PHASE D2)

Caractérisation des structures isoclinales dans le secteur de Tanneron

La structure même du secteur de Tanneron avec ses répétitions suggère l'existence de structures plissées. La bande cartographique la plus orientale (Estérel - Margoutons - Verrerie - Olivier - Peygros) permet par la disposition de son remplissage et par l'existence de symétries et d'une terminaison périclinale, de caractériser une structure plissée isoclinale.

Cette bande est découpée par des grandes failles E-W en compartiments à structure différente à l'affleurement. Le compartiment de la Verrerie ne contient que des gneiss à biotite et amphibole. Celui de l'Olivier montre une symétrie avec au centre des gneiss micacés, bordés par des gneiss à biotite et amphibole. Le compartiment des Margoutons montre une terminaison périclinale (colline 392, au sud du Pénier) avec des replis décamétriques, les gneiss à biotite et amphibole étant sous les gneiss micacés. Les dispositions cartographiques observées dans les divers compartiments, peuvent s'expliquer comme correspondant à des coupes de la même structure synclinale faites à des hauteurs différentes (fig. 4) : coupe basse pour la Verrerie, moyenne pour les Margoutons sud, haute pour l'Olivier. Cette structure, de type isoclinal avec ses flancs subparallèles, montre l'accumulation des gneiss à biotite et amphibole dans la charnière et leur étirement dans les flancs.

Les données de l'analyse microstructurale

Les petites structures associées P2 montrent un style isoclinal synfolial avec épaissement de la charnière, amincissement des flancs (fig. 5) et étirement des objets antétectoniques parallèlement à l'axe des plis donnant une linéation d'étirement « *longitudinale* ». Le litage et la foliation métamorphique S1 antérieurs, acquis lors de la première phase de déformation D1, en particulier le litage migmatitique, sont restructurés lors de cette phase D2 pour donner un litage-foliation composite S1-S2. Lors de cette déformation ductile les minéraux anciens sont, suivant le cas, déformés, étirés, recristallisés. Cette nouvelle structuration à caractère *blastomylonitique*, est ubiquiste et d'autant mieux développée qu'elle affecte des formations peu structurées auparavant comme les métagranites. Ainsi elle n'apparaît pas limitée à des zones de cisaillement ductile linéaires particulières. Les plis isoclinaux avec linéations longitudinales caractérisent un *régime de transpression*, qui combine mouvement décrochant parallèle à la chaîne et compression perpendiculaire (Carosi et Oggiano, 2002).

La structuration isoclinale dans les Maures et le Tanneron

Pour Pierre Bordet, à qui l'on doit les premières éditions des cartes géologiques à 1/50 000 du socle provençal parues dans les années 60, la structuration des Maures est de type isoclinale. Par extension le massif de Tanneron présentait pour l'auteur (Bordet, 1961, 1966), d'est en ouest une succession de huit synclinaux isoclinaux qui répétaient une série métamorphique composée de quatre termes. D'une part, les structures isoclinales nouvellement cartographiées dans le Tanneron s'avèrent différentes par leur taille, leur contenu et leur localisation de celles que Bordet y avait définies. D'autre part, la mise en évidence de tectoniques superposées montre qu'elles ne correspondent qu'à l'une des phases de structuration. La caractérisation définitive de ces structures dans le Tanneron relance néanmoins le débat relatif à leur existence dans les Maures, qui apparaît actuellement douteuse, faute de secteurs pivots ou de travaux récents.

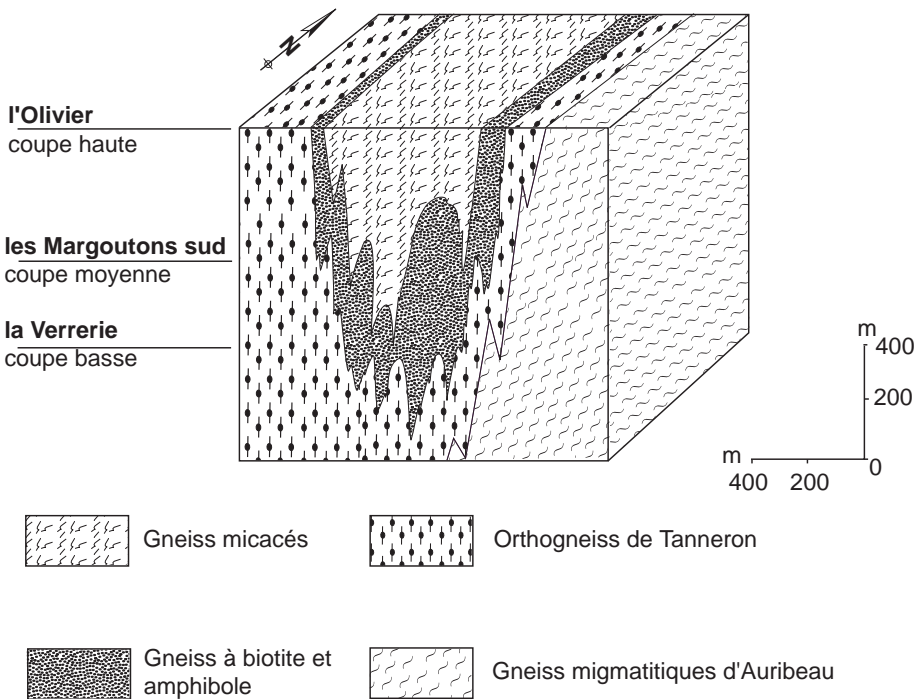


Fig. 4 : Structures des divers compartiments de la synforme isoclinale de Tanneron.

L'ORTHOgneiss DE TANNERON

Le protolithe : un granite alumineux

Dans cette formation les méta-granites équants ou peu déformés, à minéraux originels plurimillimétriques, sont abondants. Ils sont très proches du granite originel - ou *protolithe* - par leur aspect macroscopique (fig. 6 et 7) et n'en diffèrent que par un début de transformation métamorphique de certains minéraux, observable au microscope. Les minéraux automorphes, visibles à l'oeil nu, sont le quartz, le feldspath potassique, le plagioclase, la biotite ainsi que le grenat de type almandin et la cordiérite pseudomorphosée, plus rares. Ils sont réunis par des cristaux plus petits engrenés, visibles au microscope. Cette texture grenue particulière, distincte d'une texture microgrenue ou rhyolitique, évoque plutôt celle d'un granite subvolcanique. Le grenat et la cordiérite témoignent de son caractère alumineux.

Un orthogneiss protéiforme

Le méta-granite passe progressivement à l'affleurement à des *orthogneiss migmatitiques*, d'une part, et à des *orthogneiss blastomylonitiques*, d'autre part (fig. 7). Ces évolutions, menées à leur terme, conduisent à une roche *banalisée*, c'est-à-dire à une roche métamorphique d'aspect ordinaire, sans relique minérale ou texturale du protolithe. *Les gneiss migmatitiques* montrent la réalisation progressive d'une foliation et d'un litage fin et régulier avec parfois des minéraux reliques, notamment feldspaths, grenat et biotite. Ils peuvent subir une déformation ultérieure conduisant à un gneiss amygdalaire, qui aura ainsi enregistré deux phases tectono-métamorphiques.

Les orthogneiss blastomylonitiques sont des tectonites plano-linéaires, à foliation fruste et sans litage, caractérisées par l'étirement progressif, avec recristallisation, des minéraux originels. En particulier, le quartz se présente en plaquettes allongées dans le plan de la foliation alors que les feldspaths, peu ou moins déformés, donnent des micro-yeux. L'alignement des plaquettes de quartz matérialise la direction d'étirement maximal lors de la déformation et définit ainsi une linéation d'étirement « longitudinale ». Le développement de sillimanite pendant la déformation et l'étirement des quartz caractérisent une déformation ductile à haute température.

Synthèse

Une dizaine d'orthogneiss ont été identifiés en Provence varisque, dont les célèbres orthogneiss de Bormes dans le domaine occidental. L'orthogneiss de Tanneron est celui qui permet la meilleure illustration du tectono-métamorphisme d'un granite, en raison de l'abondance des méta-granites très proches du protolithe et de sa double évolution dont la seconde, de type blastomylonitique, est remarquablement exprimée. Les linéations d'étirement, omniprésentes, en font un marqueur privilégié de la déformation ductile régionale. Ainsi, les transformations décrites, qui vont jusqu'à l'effacement complet de la texture et de la minéralogie originelles, nous renvoient à la signification même du terme « *métamorphisme* » c'est-à-dire changement de la forme (du grec *méta*, changement et *morphê*, forme).

Fig. 5 : Pli isoclinal métrique (P2) affectant un filonnet leucocrate dans les gneiss à biotite et amphibole.



Fig. 6 : Orthogneiss de Tanneron : métagranite et orthogneiss blastomylonitique.

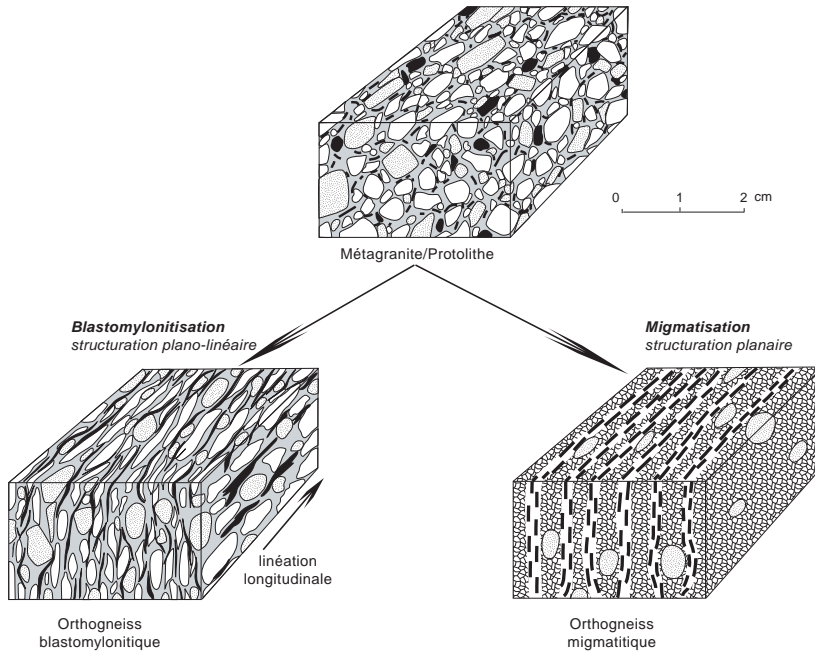


Fig. 7 : Les trois types lithologiques de l'orthogneiss de Tanneron (grisé : feldspaths ; incolore : quartz ; noir : biotite).

LA STRUCTURATION TARDIVE EN DÔMES ET CUVETTES (PHASE D3)

La plage des rochers de la Bocca

Ces rochers du littoral du massif de la Croix des Gardes sont situés au cœur de l'antiforme décakilométrique de Cannes, constitué des gneiss leptynitiques migmatitiques œillés de Cannes et de Mandelieu. Ils permettent de faire d'excellentes observations sur la pétrographie de ces gneiss et sur leur structure qui apparaît ici en trois dimensions. Ces gneiss de couleur rose sont relativement pauvres en micas et présentent un litage régulier avec alternances de larges lits quartzo-feldspathiques à grain grossier et de lits fins biotitiques. Ils sont surtout caractérisés par l'abondance des feldspaths potassiques maclés de grande taille (jusqu'à 15 cm), ce qui en fait une roche exceptionnelle pour le socle provençal (fig. 9).

Les plis observables sont de deux types : des plis isoclinaux syn- à post-migmatitiques P1 et P2 de taille modeste mais surtout des plis P3 ouverts concentriques plus tardifs, centimétrique à plurimétriques qui déforment les précédents. Le rocher situé à l'est montre ces plis plurimétriques dont les charnières arrondies présentent un plongement vers le nord de 25 à 15°. Les diaclases des plis sont envahies par des filons centimétriques à décimétriques de leucogranite aplitique à pegmatitique à muscovite et tourmaline (fig. 10). Ces filons tardifs, car post-P3, s'observent uniquement dans la partie littorale de l'antiforme de Cannes.

Synthèse des données, caractères de la phase D3.

Les rochers de la Bocca nous montrent le passage de microstructures à des mésostructures de même style. D'autres exemples de structures de même style ont été observés à d'autres échelles : décamétrique à hectométrique à la Roquette-sur-Siagne, hectométrique à kilométrique dans le secteur des Adrets (fig. 2). La structure régionale consiste en des antiformes en dômes et des synformes en cuvettes, à tendance coffrée, d'allongement N-S. (fig. 2A). Les flancs sont redressés alors que les charnières sont affectées d'amples ondulations. Des ondulations transverses mineures, de même géométrie, s'observent également. Ce modèle de structuration, reconnu d'abord dans le Tanneron oriental (Crevola, 1977), a été étendu aussi au domaine occidental (Crevola et Pupin, 1994).

La superposition des grandes structures des deux phases rend compte de la structure du massif : les grands plis isoclinaux sont mis en forme par les grandes structures tardives. En effet, ils sont à plan axial redressé dans leurs flancs (secteur de Tanneron) et en position couchée dans leurs charnières (secteur des Adrets). Enfin, la phase D3 est sans doute contemporaine du jeu de l'accident mylonitique de la Moure qui va permettre l'individualisation en surface du bassin houiller du Reyrans. (Rolland *et al.*, 2009).

Les filons type la Bocca se mettent en place dans une bâti rocheux devenu cassant. Ils témoigneraient d'une deuxième anatexie « *tardive* » car post-D3, somme toute discrète, distincte de l'anatexie « *précoce* » généralisée, liée à la phase D1.



Fig. 8 : Pli ouvert métrique (P3) dans les gneiss œillés des Issambres, équivalents dans les Maures orientales des gneiss œillés de la Moure du Tanneron oriental.



Fig. 9 : Gneiss leptynitique migmatitique œillé de Cannes et Mandelieu, Rochers de la Bocca.



Fig. 10 : Filons de leucogranite recoupant le litage des gneiss, Rochers de la Bocca.

APERÇU SUR L'ÉVOLUTION TECTONO-MÉTAMORPHIQUE ET GEODYNAMIQUE

Les étapes de l'évolution tectono-métamorphique

Les relations entre objets tectoniques à diverses échelles d'observation ont permis de mettre en évidence des enchaînements d'évènements tectoniques et métamorphiques qui conduisent, de proche en proche, à une *chronologie relative* de l'évolution tectono-métamorphique. Cinq évènements - ou phases tectono-métamorphiques - peuvent être distingués, dont les trois phases de déformation décrites précédemment (fig. 11). Cette évolution est comparable à celle des Maures orientales et centrales.

1) *Un premier évènement (anté-D1)*, dont l'empreinte reste très discrète, est révélé par la présence au sein de niveaux d'amphibolite, de quelques lentilles d'éclogite en voie d'amphibolitisation qui témoignent d'un métamorphisme de haute pression.

2) *La phase D1* est la principale phase de structuration intime des roches. Elle est marquée par la cristallisation des minéraux métamorphiques qui réalisent la foliation et le litage S1, ce dernier le plus souvent de type migmatitique. Le métamorphisme est de moyenne pression et moyenne température, avec anatexie généralisée. Les plis isoclinaux synfoliaux observables restent de petite taille.

3) *La phase D2* est marquée à toutes les échelles : restructuration de la roche par reprise de la foliation et du litage S1, étirement des objets antérieurs, plissement isoclinal synfolial à toutes les échelles.

4) *La phase D3* est essentiellement caractérisée par ses plis concentriques ouverts, postfoliaux, de toutes tailles, jusqu'à décakilométriques (fig. 8), qui reprennent les plis antérieurs. On lui doit la structuration finale du socle.

5) *Les évènements post-D3* regroupent les intrusions de leucogranites, le jeu décrochant mylonitique de la faille de la Moure et le fonctionnement du bassin houiller du Reyran.

Interprétation géodynamique

Les concepts et modèles géodynamiques, issus de la tectonique des plaques, permettent des comparaisons avec les chaînes récentes du cycle alpin. Ainsi la chaîne varisque est désormais perçue comme une chaîne de collision, dont on s'efforce de retrouver l'évolution-type dans ses divers tronçons (Faure *et al.*, 2008). L'interprétation des données géologiques montre que l'évolution orogénique du socle provençal est de type collisionnel. Ses grandes lignes ont été présentées dans des essais de synthèse récents (Crevola, *in* Dardeau *et al.*, 2010 ; Bellot, 2005 ; Rolland *et al.*, 2009). Son âge a pu être précisé par des datations radiométriques récentes, obtenues par diverses méthodes (Moussavou, 1998 ; Morillon *et al.*, 2000 ; Demoux *et al.*, 2008 ; Corsini *et al.*, 2009).

1) L'évènement anté-D1 est une phase de subduction continentale avec métamorphisme de haute pression, datée à 440 Ma dans les Maures orientales (Moussavou, 1998).

2) A partir de 340 Ma a lieu la collision proprement dite et l'épaississement de la chaîne. Elle s'est effectuée, pour l'ensemble du socle provençal, de 340 à 310 Ma, mais – semble-t-il – plus brièvement pour le Tanneron oriental : de 320-315 à 310 Ma, (âges $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Corsini *et al.*, 2009). A la phase D1 de collision frontale, on rapporte la formation hypothétique de grandes nappes à vergence ouest et la culmination du métamorphisme avec anatexie.

3) La collision devient oblique lors de la phase D2 et le régime de déformation transpressif, avec plissement isoclinal. Le métamorphisme devient rétrograde de plus basse pression, témoignant du début de l'exhumation de la chaîne.

4) Lors de la phase D3 l'exhumation se poursuit avec une ultime phase de plissement en dômes et cuvettes, sans doute associée au fonctionnement de grands accidents décrochants ductiles à fragiles, comme l'accident de la Moure qui limite à l'est le bassin du Reyran.

5) Des granitoïdes post-D3 fixent, par leur âge fini-carbonifère, la fin de cette évolution : granite du Rouet du Tanneron occidental, 302 ± 4 Ma ; la Bocca, 297 ± 5 Ma ; (Demoux *et al.*, 2008). Ils témoignent d'une nouvelle anatexie dont les produits se mettent en place dans un bâti devenu cassant. Le remplissage détritique du bassin du Reyran, traduit le démantèlement rapide par érosion de la chaîne en voie de surrection.

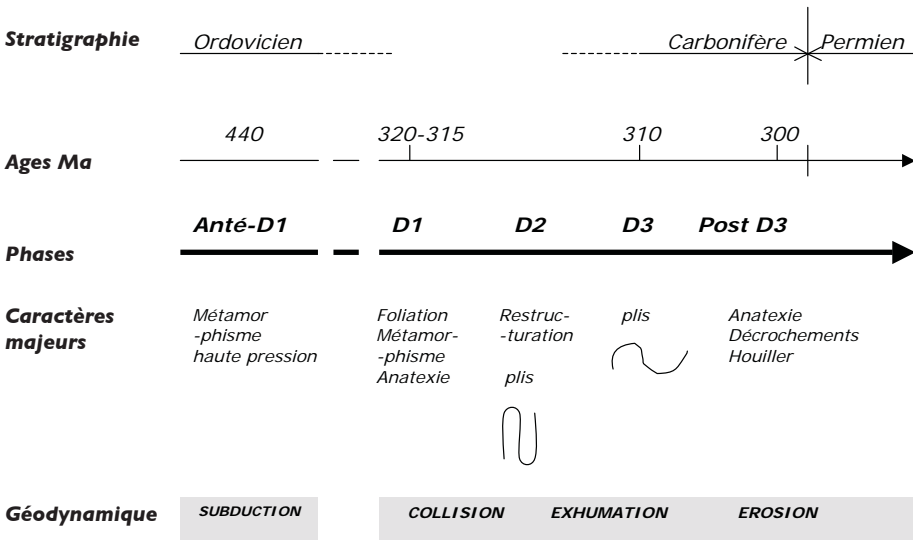


Fig. 11 : Tableau de l'évolution tectono-métamorphique.

CONCLUSION

Notre connaissance de la géologie du Tanneron oriental a été acquise, pour l'essentiel, durant une phase d'inventaire cartographique étalée sur plusieurs décennies. En dépit d'une certaine monotonie lithologique, commune à tout le domaine oriental, l'étude de la géologie du Tanneron oriental peut s'appuyer sur l'observation, dans des localités-types, de formations métamorphiques bien typées et d'objets structuraux caractéristiques. Divers types de gneiss, pour la plupart migmatitiques, ont été distingués, déterminant les coupures cartographiques adoptées. Deux d'entre eux présentent des caractères remarquables, voire exceptionnels : les gneiss leptynitiques migmatitiques oillés de Cannes et Mandelieu, avec leurs yeux de feldspath potassique de grande taille, et l'orthogneiss protéiforme de Tanneron avec ses deux évolutions contrastées. Des structures plissées majeures, isoclinales et en plis ouverts, ont été caractérisées, ainsi que le style tectonique résultant de leur succession. Le modèle structural du Tanneron oriental peut servir de référence pour l'étude de la structuration du reste du socle provençal, où le style et la position des grandes structures restent à clarifier. La mise en évidence de tectoniques superposées et d'enchaînements de phénomènes tectono-métamorphiques montre le caractère polyphasé de l'évolution géologique locale, qui est cohérente avec celle du massif des Maures.

Prenant le relai de la phase d'inventaire, qui touche à sa fin, une phase de recherche à *caractère géodynamique* est maintenant bien engagée en Provence varisque. Elle fait appel à des méthodes et à des techniques modernes d'étude des socles telles que la géochronologie, la pétrologie métamorphique ou l'analyse microstructurale. Les interprétations s'appuient sur des concepts de la tectonique des plaques et des modèles d'évolution de chaînes de montagnes du cycle alpin. Ces recherches ont maintenant pour but d'affiner le modèle d'évolution tectono-métamorphique régional, notamment par l'acquisition de repères temporels, et d'accéder à des interprétations géodynamiques. Au delà, elles doivent conduire à de meilleures comparaisons avec les socles corso-sardes et alpins voisins et, ainsi, préciser la place de ces divers éléments de socle dans la structure et l'évolution de la partie sud-est de la chaîne varisque européenne au paléozoïque supérieur.

Bibliographie :

BELLOT J. (2005) - The Paleozoic evolution of the Maures Massif and its potential correlations with others areas of the variscan belt : a review. *J. of the virtual explorer, Electronic Edition*, 19, *papaer 4*.

BORDET P. (1961) - Sur la géologie du massif de Tanneron (Var et Alpes-Maritimes). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 252, pp. 913-915.

BORDET P., MENNESSIER G. & NESTEROFF W. (1966) - Carte géol. France

(1/50 000), feuille Fréjus-Cannes (1024), 1^{ère} édition. Orléans : BRGM. Notice explicative par Bordet *et al.*, (1966), 16 p.

BORDET P. (1966) - L'Estérel et le massif de Tanneron. Géologie régionale de la France. *Hermann édit.* Paris, 114 p.

CAROSI R. & OGGIANO G. (2002) - Transpressional deformation in northwestern Sardinia (Italy) : insights on the tectonic evolution of the Variscan Belt. *C. R. Geosciences*, 334, pp. 287-294.

CORSINI M., BOSSE V., FERAUD G., DEMOUX A. & CREVOLA G. (2009, sous presse) - Exhumation process during post-collisional stage in the Variscan belt revealed by detailed Ar/Ar study (Tanneron massif, SE France). *Int. J. Earth Sci.*, 15p.

CREVOLA G. (1977) - Etude pétrographique et structurale de la partie orientale du massif de Tanneron (Provence cristalline). *Thèse de 3^e cycle*, Univ. Nice, 355 p.

CREVOLA G. & PUPIN J.P. (1994) - Crystalline Provence : Structure and Variscan Evolution. In J.D. Keppie : "Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas". Berlin : *Springer Verlag édit.*, pp. 426-441.

DARDEAU G., DUBAR M., COURME M.D., CREVOLA G., IRR E., MANGAN C. & TOUTIN-MORIN N. (2010, sous presse) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Grasse-Cannes (999), 2^e édition. Orléans : BRGM. Notice explicative par Dardeau *et al.*, (2010), 150 p.

DEMOUX A., SCHÄRER U. & CORSINI M. (2008) - Variscan evolution of the Tanneron Massif, SE France, examined through U-Pb monazite ages. *J. Geol. Soc. London*, 165, pp. 467-478.

FAURE M., LARDEAUX J.M. & ROSSI P. (2008) - L'Europe varisque, dossier. *Géochronique*, 105, pp. 18-63.

GINSBURG L., BONIFAY E., BORDET P. & MENNESSIER G. (1970) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Grasse-Cannes (999), 1^{ère} édition. Orléans : BRGM. Notice explicative par Ginsburg *et al.*, (1970), 12 p.

MORILLON A.C., FERAUD G., SOSSON M., RUFFET G., CREVOLA G. & LEROUGE G. (2000) - Diachronous cooling on both sides of a major strike slip fault in the Variscan Maures Massif (south-east France), as deduced from a detailed ⁴⁰Ar/³⁹Ar study. *Tectonophysics*, 321, 1, pp. 103-126.

MOUSSAVOU M. (1998) - Contribution à l'histoire thermo-tectonique varisque du massif des Maures, par la typologie du zircon et la géochronologie U/Pb sur des minéraux accessoires (Var, France). *Thèse Montpellier*, 192 p.

ROLLAND Y., CORSINI M. & DEMOUX A. (2009) - Metamorphic and structural evolution of the Maures-Tanneron massif (SE Variscan chain) : evidence of doming along a transpressional margin. *Bull. Soc. géol. France*, 3, pp. 217-230.

TOUTIN-MORIN N., BONIJOLY D., BROCARD C., BROUTIN J., CREVOLA G., DARDEAU G., DUBAR M., FERAUD J., GIRAUD J.D., GODEFROY P., LAVILLE P. & MEINESZ A. (1994). Carte géol. France (1/50 000), feuille Fréjus-Cannes (1024), 2^e édition. Orléans : BRGM. Notice explicative par Toutin-Morin *et al.* (1994), 187 p.

ANNEXES

Ages U-Pb sur monazite pour le Tanneron oriental (Demoux *et al.*, 2008)

- Orthogneiss migmatitique au sud des Margoutons : $309,8 \pm 1,3$ Ma
- Leucosome dans gneiss migmatitique, route de Tanneron, Mandelieu : $313,2 \pm 4$ Ma
- Filon de leucogranite, Rochers de la Bocca : $297,1 \pm 4,9$ Ma

Ages $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur muscovite pour le Tanneron oriental (Corsini *et al.*, 2009)

- Pegmatite, Rochers de la Bocca : $314,3 \pm 1,4$ Ma
- Pegmatite, dans micaschistes, Mandelieu : $312,0 \pm 1,2$ Ma
- Pegmatite, dans micaschistes, Mandelieu : $313,9 \pm 1,3$ Ma
- Orthogneiss de Tanneron blastomylonitique, les Margoutons, : $311,3 \pm 1,2$ Ma
- Orthogneiss de Tanneron migmatitique, les Margoutons : $313,9 \pm 1,4$ Ma
- Métagranite de Tanneron : $315,2 \pm 1,8$ Ma
- Gneiss sombre de St-Cassien : $313,8 \pm 1,3$ Ma

Notes

(¹) **Provence cristalline ou varisque ?** L'appellation *Provence cristalline* est classiquement utilisée par opposition avec la *Provence calcaire*. *Provence varisque* marque l'appartenance à l'Europe varisque, structurée par l'orogénèse varisque de 450-400 Ma à 300 Ma. D'autre part, *varisque* est maintenant substitué à *hercynien*, plus restrictif.

(²) Pour une couverture cartographique complète, il manque encore un secteur situé sur la feuille Fayence (non rééditée), le long du lac de St-Cassien. Ce secteur est cependant bien connu par des reconnaissances cartographiques.

(³) **Anatexie et migmatisation.** *L'anatexie* désigne le processus de fusion partielle qui intervient dans les gneiss pour un degré élevé de métamorphisme. Il donne naissance à une portion fondue à composition granitique qui reste sur place ou est exportée. La *migmatisation* désigne l'obtention d'une roche mixte, ou *migmatite*, dans laquelle coexistent, à divers degrés, une portion à composition granitique néoformée (leucosome) avec des résidus de la fusion (mélanosome) ou de la roche de départ. En Provence varisque les migmatites sont des gneiss migmatitiques homogènes, lités ou rubanés.