

Forage scientifique de Sancerre-Couy : tectonique et métamorphisme

Michel BALLÈVRE ⁽¹⁾, Pascal BALÉ ⁽²⁾

Mots-clés : Roche métamorphique, Foliation, Zone cisaillement, Tectonique cassante (cataclase), Métamorphisme rétro, Métamorphisme fort, Altération hydrothermale, Cher département (Sondage GPF Sancerre-Couy), Bassin parisien.

Tectonique

L'analyse structurale du sondage de Sancerre-Couy permet de définir trois événements tectoniques superposés.

La géométrie de la déformation finie totale est la suivante :

La succession des unités traversées (amphibolites, orthogneiss acides et paragneiss) est affectée d'une foliation majeure très intense orientée en moyenne NE-SW à fort pendage vers le sud-est (45 à 90°).

A cette foliation, sont associées des zones de cisaillement à faible angle de la schistosité. Ces zones de cisaillement conjuguées s'anastomosent pour délimiter des lentilles allongées verticalement.

Elles sont caractérisées par un gradient de déformation intense et très localisé (forte diminution de la taille du grain depuis le centre des lentilles jusqu'à la périphérie).

Ce champ de déformation est caractéristique d'une déformation hétérogène affectant des orthogneiss acides ou basiques.

L'ensemble foliation-zones de cisaillement anastomosées est synchrone du premier événement tectono-métamorphique majeur ayant structuré tout l'ensemble des roches traversées dans le sondage.

Aux structures majeures décrites sont associés des microplis isoclinaux synfoliaux. La linéation d'étirement peu visible (fort applatissement fini ?) présente des plongements variables (20 à 40° SW parfois plus).

Cette déformation hétérogène est recoupée par un second épisode plus localisé, mais affectant lui aussi l'ensemble du forage.

Des zones de cisaillement ductiles rétro-morphiques décimétriques recoupent la structure précédente avec un plus faible pendage.

Ces « shear zones » ne présentent pas un sens de cisaillement systématique mais paraissent plutôt conjuguées avec un sens de cisaillement prédominant chevauchant vers le nord-ouest.

Elles s'accompagnent d'un gradient de déformation et de cisaillement très localisé mais elles représentent un épisode de structuration non négligeable à l'échelle du sondage.

Cet événement pourrait être à l'origine ou du moins accompagner la verticalisation de l'ensemble de la série. Il s'accompagne d'une forte rétro-morphose (C. Castaing *et al.*, 1988).

Enfin le dernier événement tectonique marquant visible dans le sondage correspond à une forte cataclase reliée dans ses derniers termes à une circulation hydrothermale avec chloritisation et carbonatation.

Outre la cataclase générale, on peut associer à cet événement le développement de brèches à ciment chloriteux ou calcitique parfois de forte puissance (métrique ou décimétrique) à pendage intermédiaire.

Une fois encore, cette cataclase affecte l'ensemble du socle traversé et représente un événement tectonique important en domaine cassant.

Une analyse des microstructures a été réalisée et en particulier une étude des fabriques du quartz sur des échantillons d'orthogneiss acide.

Les principaux résultats révèlent :

— que malgré des reliques de fabriques HP-HT (granulitiques) telles que des rubans de quartz HT et des zones abritées de feldspath autour de phénocristaux de quartz, les fabriques du quartz montrent pour la plupart des fabriques intermédiaires rétro-morphiques, à la limite entre les faciès schistes verts-amphibolite (glissement « a »).

Cette analyse indique l'importance de la rétro-morphose sur l'ensemble des roches du sondage et si des paragenèses HP-HT sont conservées comme l'indique l'étude métamorphique, les phases telles que le quartz ont subi dans la plupart des cas la rétro-morphose s'accompagnant d'une déformation interne importante.

(1) Université Rennes I, Géosciences, Rennes.

(2) Lithologic, Rennes.

Métamorphisme

L'histoire métamorphique des roches échantillonnées lors du forage de Sancerre-Couy peut être décomposée en trois étapes majeures :

- la première, ayant eu lieu à HT, est caractérisée par le développement d'associations du faciès granulite de HP (ou plus exactement du domaine de transition entre les faciès amphibolites et granulites) et leur rééquilibration partielle à pression décroissante ;
- la deuxième est marquée par la cristallisation de biotite et de muscovite dans des zones de cisaillement locales tardives ;
- la troisième, ayant eu lieu à BT, résulte d'une intense circulation hydrothermale à BP (faciès schiste vert), qui entraîne une altération plus ou moins importante de toutes les roches du socle (saussurisation des plagioclases, chloritisation des biotites, etc.).

Alors que le premier épisode métamorphique est contemporain de la déformation majeure (développement du litage et acquisition et plissement de la foliation), le deuxième est associé à l'apparition des zones de cisaillement tardives qui ont probablement lieu à la limite entre les faciès schistes verts et amphibolite (2-4 k-bar, 400-500 °C ?). L'intense bréchification/fracturation du socle qui accompagne les

circulations hydrothermales semble superficielle (0-2 kbar, 100-200 °C ?) mais en tout cas anté-triasique.

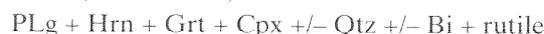
Malgré les transformations hydrothermales et les zones de cisaillement tardives, dont nous ne parlerons pas ici, il est possible de caractériser les conditions PT de l'épisode de haut grade en examinant (i) les associations des métapélites et des metabasites et (ii) la composition chimique des phases à l'équilibre dans ces roches.

Associations observées

Les associations observées dans les différentes lithologies sont homogènes à l'échelle du forage : aucune discontinuité ne peut être mise en évidence, toutes les roches examinées ayant subi en première approximation la même histoire PT.

Ces associations et paragenèses sont :

- amphibolites, gneiss amphibolo-pyroxéniques, pyri-clasites (metabasites) :



- gneiss quartzo-feldspathiques orthodérivés (granodiorites-quartzodiorites) :



- gneiss à silicates d'alumine, paradérivés (métapélites, métawackes) :



La fusion partielle est localement observée surtout dans la partie basse du sondage.

Profondeur Roches	1 1 296,5 Métapél	2 1 296,5 Métapél	3 1 424,40 Méta gδ	4 1 437,38 Métapél	5 1 566,96 Méta β	6 1 628,78 Méta β	7 1 799,02 Méta β	8 2 119,25 Métapél	9 2 272,18 Métapél	10 2 364,93 Méta gδ	11 2 674,28 Méta gδ	12 2 787,60 Métapél	13 2 989,50 Méta gδ
Thermométrie : Ferry et Spear (Bi-Grt) : T est en °C													
	900	650	825	760	710			615	835	830	870	1 275	
Thermométrie : Holdaway et Lee (Bi-Grt) : T est en °C													
T à 4 kb	772	629	708	699				609	742	739	762	958	
T à 12 kb	811	657	738	730				637	774	771	795	997	
Thermométrie : Ellis et Green (Cpx-Grt) : T est en °C													
T à 4 kb			706		862	854				747		864	
T à 12 kb			729		886	878				797		889	
Barométrie : Newton et Haselton (Plg-Grt-Ky-Qtz) : P est en kb													
P à 500 °C	4,80	5,40		5,50				6,70	5,60		5,70		
P à 1 000 °C	15,20	16,40		16,20				18,20	16,50		16,40		
Barométrie : Newton et Perkins (Cpx-Grt-Plg-Qtz) : P est en Kb													
P à 500 °C			7,80		7,80	8,70				9,00		9,50	
P à 1 000 °C			12,50		13,10	14,60				14,00		16,00	
T en °C	810	640	730	720	890	880				630	760	785	800
P en Kb	11,10	8,65	9,90	10,30	11,80	13,25				9,60	11,40	11,80	12,40
Fugacité d'eau													
aH ₂ O	0,073	0,013		0,027				0,016	0,070		0,084		
Métapél = Métapélite à Ky-Grt-Plg-Qtz-Bi-Kfs													
Méta gδ = Métagrau-wackes ou Métagranodiorite à Grt-Plg-Qz-Cpx (± Bi ± Hrn)													
Méta β = Metabasites à Grt-Plg-Qtz-Cpx-Hrn													
1 799,02 et 2 119,25 : zone d'altération avec Plg + Zo + Alb													

Tabl. 1 - Thermo-barométrie. Sondage de Sancerre-Couy (J.-P. Burg *et al.*, 1988).

Évolution P-T

Seules les roches à Qtz-Plg-Grt-Ky ou Plg-Cpx-Qtz permettent une estimation de la pression, qui varie entre 10 kbar (à 700 °C) et 14 voire 16 kbar (à 900 °C). Ces chiffres confirment le caractère haute pression du métamorphisme.

Les estimations de la température sont basées sur l'équilibre d'échange Fe Mg entre Grt et Bio ou Grt et Cpx. La forte dispersion obtenue (entre 650° et 950 °C) montre l'importance des rééquilibrations par diffusion au début de l'histoire en décompression.

Le tableau 1 de la page précédente résume les résultats obtenus par J.-P. Burg *et al.* (1988).

Plusieurs interprétations des données géothermobarométriques sont actuellement possibles. La première consiste à admettre une augmentation de la température au début de la décompression (J.-P. Burg *et al.*, 1988 a et 1988 b). La deuxième suggère l'existence d'une différence d'évolution P-T entre les roches de la partie profonde et celles de la partie élevée du socle (J.-P. Burg *et al.*, 1988 b). La troisième, que nous suggérons ici (fig. 1), est une décompression à température décroissante.

Il n'est pas facile, a priori, de choisir entre ces trois interprétations. Soulignons cependant que les vitesses de rééquilibration des réactions d'échange, qui servent à calibrer la température, sont beaucoup plus rapides que les vitesses de rééquilibration des réactions de transfert, qui sont utilisées pour estimer la pression. En conséquence, les valeurs de pression et de température calculées dans un même échantillon reflètent le blocage de ces deux types de réactions à un moment différent

de l'histoire de la roche. Le trajet P-T construit en utilisant sans précaution les géothermobaromètres est donc un artefact. Aussi la troisième solution nous semble-t-elle pour le moment la plus prudente, sachant que seule une analyse détaillée de certains échantillons pourrait lever ces ambiguïtés.

Calage chronologique

L'évolution tectonométamorphique est nécessairement postérieure à l'âge des protolithes, dont certains sont datés de l'Ordovicien basal (497 ± 13 Ma par la méthode U-Pb sur zircons : F. Galibert *et al.*, 1988).

L'âge de l'épisode en faciès amphibolite, voire granulite de haute pression, du métamorphisme (D1) est contraint par les données Ar-Ar sur les amphiboles des metabasites (aux environs de 380-385 Ma : S. Costa et H. Maluski, 1988 ; S. Costa, 1990). En considérant que ces âges reflètent le blocage du système K-Ar dans l'amphibole aux environs de 500-600 °C, l'épisode D1 est donc antérieur à 380 Ma (soit aux environs de 400 Ma).

Les âges sur biotites des gneiss, dans un échantillon non affecté par l'épisode D2 (S. Costa et H. Maluski, 1988 ; S. Costa, 1990) restent difficiles à interpréter, car ils ne permettent pas de définir un plateau. Par contre, les biotites de gneiss ayant été mylonitisés durant l'épisode D2 ont fourni un âge K-Ar d'environ 330 Ma (A.-M. Hottin et J.-Y. Calvez, 1988) et Ar-Ar d'environ 320 Ma (S. Costa et H. Maluski, 1988). Ce dernier étant considéré comme un âge minimal pour l'épisode mylonitique. L'épisode D2 pourrait donc avoir eu lieu aux environs de 330 Ma.

L'évolution tectonométamorphique était achevée lors de l'intrusion des filons lamprophyriques, dont les biotites ont fourni un âge Ar-Ar d'environ 300 Ma (S. Costa, 1990). Cet âge est similaire à ceux des volcanites qui sont interstratifiées au sein du Carbonifère, au-dessus des formations métamorphiques du socle (S. Costa et H. Maluski, 1988), mais qui sont encore affectées par une tectonique cassante, en tout état de cause anté-permienne.

Discussion

L'étude de l'évolution tectonométamorphique des formations du socle du bassin de Paris dans le forage de Sancerre-Couy permet deux conclusions majeures.

1) Ces roches ont subi une intense déformation ductile en faciès granulite de haute pression (ou amphibolite de haut grade), ce qui en fait un témoin supplémentaire des granulites du groupe I de C. Pin et D. Vielzeuf (1983). Il convient de souligner qu'aucune relique du faciès écolite n'a été observée, ce qui suggère que les pressions maximales n'ont pas dépassé des valeurs de l'ordre de 14-16 kbar.

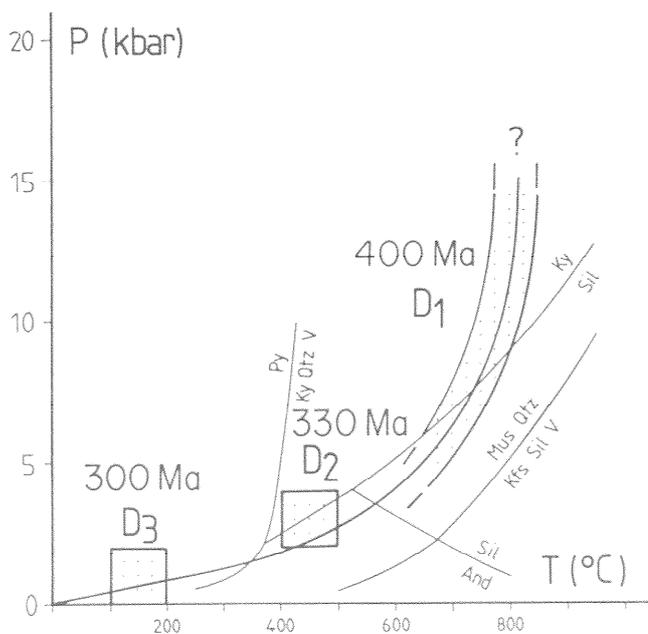


Fig. 1. - Chemin pression - température illustrant l'évolution tectonométamorphique des unités du sondage de Sancerre-Couy. D1, D2, D3, respectivement les épisodes tectoniques 1, 2 et 3.

Ces caractéristiques ont été observées dans de nombreuses formations du Massif central regroupées sous le terme de « complexes leptyno-amphiboliques », ce qui ne signifie en aucun cas qu'il existe entre ces formations et celles du forage une continuité physique. En outre, aucune formation semblable n'est connue dans la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain).

2) Toutes les roches — et c'est là une différence marquée avec les zones affleurantes des « complexes leptyno-amphiboliques » — sont fortement cataclasées et hydrothermalisées tardivement (D3), et ceci à tous les niveaux du sondage. Cette déformation montre que le forage a recoupé une zone de faille tardive, en tout état de cause antérieure au Permien.

Références

- BURG J.-P., CASTAING C., CHANTRAINE J., HOTTIN A.-M., KIENAST J.-R., MÉGNIEN C., TURLAND M., VEZAT R., WEBER C. (1988 a). - Les formations métamorphiques traversées par le sondage de Sancerre-Couy (Programme G.P.F.). Nouveau jalon de la chaîne varisque. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **307**, pp. 1819-1824.
- BURG J.-P., KIENAST J.-R., HOTTIN A.-M., BOUTIN R., LEYRELOUP A., VEZAT R., BALE P., BODINIER J.-L., DUPUY C. (1988). - Résultats préliminaires de l'étude pétro-structurale sur le forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 155-174.
- CASTAING C., MARTIN P., BALE P., BOUTIN R., WYNS R. (1988). - Résultats préliminaires de l'étude structurale des carottes orientées de socle du forage de Sancerre-Couy (AMBP). Documents du BRGM, n° 137, pp. 127-146.
- COSTA S. (1990). - De la collision continentale à l'extension tardi-orogénique : 100 millions d'années d'histoire varisque dans le Massif central français. Une étude chronologique par la méthode ^{40}Ar - ^{39}Ar . Thèse Doctorat Université Montpellier II, 441 p.
- COSTA S., MALUSKI H. (1988). - Datations par la méthode ^{39}Ar - ^{40}Ar de matériel magmatique et métamorphique paléozoïque provenant du forage de Couy-Sancerre (Cher, France). Programme G.P.F. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **306**, pp. 351-356.
- GALIBERT F., LANCELOT J.-R., RESPAUT J.-P. (1988). - Datation U-Pb sur zircon d'une métadiorite du socle atteint par le forage G.P.F. de Sancerre-Couy (Cher). Documents du BRGM, n° 137, pp. 207-214.
- HOTTIN A.-M., CALVEZ J. Y. (1988). - Résultats analytiques sur quelques minéraux du forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 225-234.
- PIN C., VIELZEUF D. (1983). - Granulites and related rocks in variscan median Europe : a dualistic interprétation. *Tectonophysics*, **93**, pp. 47-74.