

Le volcanisme rhyolitique de Vendée au début de l'Ordovicien (485-480 Ma). Ouverture d'un rift intra-continental dans la marge du Gondwana

André Pouclet, décembre 2018

Depuis l'article de novembre 2013 déposé à l'Association Vendéenne de Géologie (AVG) « A propos des porphyroïdes de Mareuil-sur-Lay et de la Chapelle-Hermier en Vendée littorale », nos connaissances ont considérablement évoluées sur les formations rhyolitiques du Paléozoïque de Vendée. Il y a d'abord eu la critique et l'interprétation des dernières données radiochronologiques, puis la réalisation de nouvelles analyses géochimiques complètes. Les analyses ont été étendues de la zone sud-armoricaine à la zone occitane où un important volcanisme similaire s'est manifesté le long d'un grand axe tectonique au début de l'Ordovicien. Enfin, comparaison a été faite avec des activités rhyolitiques contemporaines alignées sur une structure traversant la péninsule ibérique qui se trouvait alors dans le prolongement du domaine armoricain. C'est donc une chaîne volcanique de près de 2 000 km qui s'est manifestée tout le long de la marge nord du Gondwana et le volcanisme vendéen en est un jalon médian important. Ces travaux ont fait l'objet, en 2016, d'une publication en anglais dans un périodique de renom international « Geoscience Frontiers », portant ainsi la géologie vendéenne à la connaissance des géologues et scientifiques du monde entier. L'article est mis sur le Net en 2017 (Pouclet *et al.*, 2017). Sans doute cet article est à la disposition de tous, mais il nécessite de bonnes connaissances en géologie et géochimie pour être compréhensible. J'en extrais ci-après les données intéressantes en vue d'une synthèse de la géologie vendéenne accessible à l'amateur éclairé.

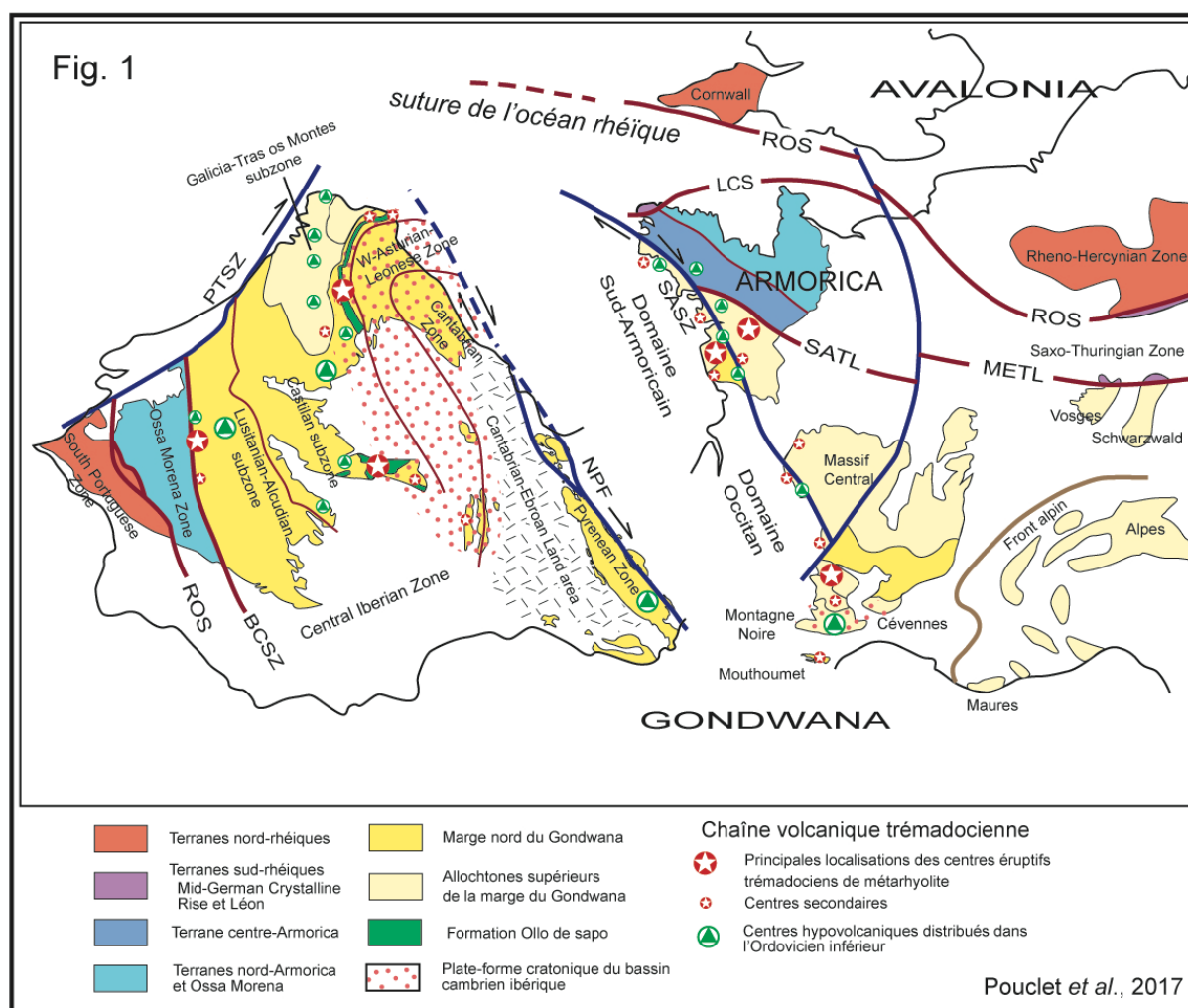
A propos des porphyroïdes

En Vendée, le volcanisme rhyolitique est important. Mais il reste peu connu dans la littérature géologique internationale. De fait, en Vendée comme dans le Massif Armoricaire et le Massif Central, beaucoup des anciennes rhyolites des domaines varisques sont affublées du nom de « porphyroïdes ». Il faut définitivement proscrire le terme de « porphyroïde » qui ne décrit en rien la roche qu'il désigne et n'a aucune signification dans la nomenclature internationale. Ce terme est incompréhensible pour un géologue anglais, allemand, espagnol, américain, russe ou chinois. Il n'y a donc aucune chance que ces géologues s'intéressent à nos roches sous ce nom. La roche concernée est celle que l'on peut voir à La Sauzaie sur la côte rocheuse de Brétignolles et sur les coteaux de Mareuil-sur-Lay comme sous le pont du Lay. C'est une rhyolite porphyrique qui a subi un fort écrasement par compression tectonique dans une nappe de charriage, déformation que l'on appelle une « cataclase ». C'est donc une roche métamorphisée par la pression, ce qui lui vaut le préfixe de « méta ». Nous l'appellerons donc « métrarhyolite porphyrique cataclastique ». Pour simplifier, dans le texte, ce sera simplement une métrarhyolite. Dans plusieurs sites, cette métrarhyolite présente des phénocristaux de grande taille, naturellement fracturés et étirés, et constitués de quartz et de feldspaths alcalins. Peut-être sous l'effet de la pression, le quartz montre des reflets bleutés. Tout le long de la chaîne volcanique varisque, nous trouvons la même métrarhyolite à quartz bleu, de l'Albigeois aux Asturies et la Castille en passant par la Vendée. Dans la partie ibérique de la chaîne, les espagnols ont trouvé un terme imagé : la roche « *ollo de sapo* » = à œil de crapaud, en raison des grands quartz à reflet glauque. Curieusement, alors que tout le monde ignore notre terme de « porphyroïde », le terme d'Ollo de Sapo a été immédiatement adopté dans la littérature géologique internationale.

La question de l'âge est définitivement réglée

Dans notre discussion de 2013, il était encore question des âges proposés pour les métarhyolites de Vendée, notamment des âges siluriens et dévoniens.

Tout le long de la chaîne, les datations radiochronologiques nombreuses et recoupées par diverses méthodes, indiquent un bon centrage statistique entre 485 à 480 Ma. Nous sommes donc à la fin du Cambrien et au début de l'Ordovicien. Cette période correspond au Trémadoc. Nous nommons alors cette chaîne, la « *chaîne volcanique trémadocienne* ». Les principaux centres éruptifs de cette chaîne sont localisés sur la **figure 1** extraite de la publication à Geoscience Frontiers, en France et en Espagne où elle se prolonge après une torsion malencontreuse opérée au Permien et résultant d'une compression NE-SW.



Nous constatons que la Vendée est au centre de cette grande structure volcano-tectonique. Cette chaîne se prolonge aussi vers le sud-est, en particulier dans la Sardaigne. En Espagne, la Formation « Ollo de Sapo » est reconnue sur 600 km, raison pour laquelle elle a fait l'objet de nombreuses études qui lui ont donné une renommée mondiale. En France, notre Formation Ollo de Sapo, représentée en Vendée à La Sauzaie, est loin d'avoir retenu autant d'attention.

Il est plus que temps de mettre à l'honneur nos richesses vendéennes. Je présente d'abord un état des lieux sur le volcanisme rhyolitique trémadocien en Vendée. Nous verrons ensuite comment interpréter la signification géotectonique de ce volcanisme, sur la base des dernières

données analytiques. Puis, nous replacerons les centres volcaniques dans le contexte géodynamique qui commande l'histoire varisque de la Vendée.

1 – Organisation des unités lithostratigraphiques à rhyolites en Vendée

Depuis 2013, des études de terrains ont été menées pour comprendre la géologie vendéenne et tenter de répondre aux nombreuses questions qui se posent concernant l'existence des diverses unités lithostratigraphiques et leurs relations mutuelles. En effet, les connaissances concernant la géologie vendéenne sont très disparates. Quelques secteurs ont fait l'objet d'une cartographie récente et on dispose alors de bonnes datations et de bonnes analyses. Beaucoup d'autres se rapportent à des cartographies anciennes. On n'a alors aucunes datations ou analyses sérieuses. Si les contours géologiques sont fiables, l'analyse structurale est sommaire ou inexistante et les données pétrographiques approximatives. La corrélation avec les nouvelles cartes est incertaine. Même en ce qui concerne les nouvelles cartes, on l'a vu dans la discussion de l'article de novembre 2013, on est loin d'être convaincu par les interprétations données.

Les investigations réalisées ont eu pour moteur la préparation des sorties de terrain de l'Association Vendéenne de Géologie. On trouvera les rapports détaillés de ces sorties dans les bulletins de l'AVG, particulièrement ceux de 2015, 2016 et 2017, en ajoutant celui de 2018 sous presse. Tous ces articles sont disponibles sur le site avg85.fr.

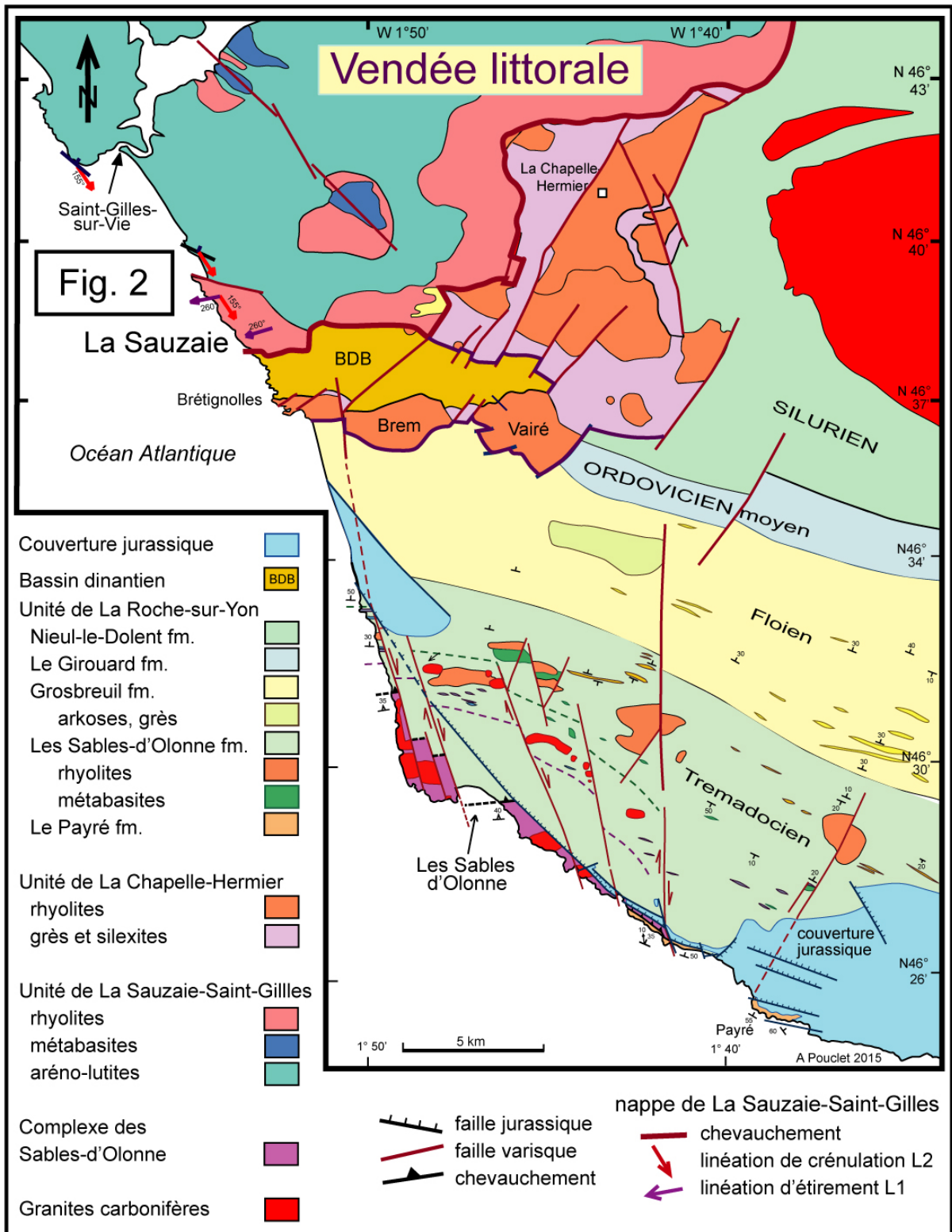
En Vendée, les rhyolites de la chaîne trémadocienne sont présentes dans cinq unités lithostratigraphiques : unités de La Roche-sur-Yon, La Chapelle-Hermier, La Sauzaie-Saint-Gilles, Mareuil-sur-Lay et Chantonay. Une unité lithostratigraphique est un ensemble de formations délimitées géographiquement et qui présentent les mêmes déformations, c'est-à-dire les mêmes caractères structuraux.

Les unités de La Roche-sur-Yon et de Chantonay sont à dominance sédimentaire. Ce sont d'anciens bassins sédimentaires ayant eu des activités volcaniques sporadiques. Les unités de La Chapelle-Hermier, La Sauzaie-Saint-Gilles et Mareuil-sur-Lay sont à dominance volcanique. Ce sont des ensembles volcaniques et volcano-sédimentaires détachés de leurs bassins ou sites d'origine. Toutes ces unités ont fait l'objet de révisions cartographiques et lithostratigraphiques présentées sur les **figures 2, 3 et 4** et les **tableaux 1 et 2**.

L'Unité de la Roche-sur-Yon, essentiellement méta-sédimentaire, est modérément plissée et faiblement métamorphisée à basse pression et température, par compression et enfouissement des formations du bassin sédimentaire. Cependant, les intrusions de multiples plutons granitiques carbonifères ont générés sur leurs pourtours des déformations locales et un fort métamorphisme thermique. Il n'est donc pas rare de trouver deux déformations et deux métamorphismes superposés. Les sédiments sont datés du Furonien ou Cambrien supérieur, au Siluro-Dévonien (**Fig. 2**). Le volcanisme rhyolitique est limité à quelques coulées, sills et dépôts pyroclastiques dans la Formation des Sables-d'Olonne que nous datons de l'Ordovicien inférieur. Deux sites nous offrent un bon aperçu de ce volcanisme effusif et explosif à laves et pyroclastites : le Puy-du-Roy sur la côte rocheuse d'Olonne-sur-mer et St-Hilaire-de-Talmont.

Au cours de l'orogénèse varisque qui a vu la disparition de l'océan sud-armoricain et la convergence de ses deux marges, le bassin de la Roche-sur-Yon a été comprimé et déversé vers le nord-nord-est mais sans être vraiment déplacé. Il est dit « autochtone ». Son volcanisme ordovicien se rapporte à la période de fracturation de la bordure continentale du Gondwana, bien avant l'extension qui va ouvrir la branche sud-armoricaine de l'océan varisque. Au moment de sa formation au Cambrien moyen, le bassin de La Roche-sur-Yon est l'un des multiples bassins qui s'échelonnent sur la marge continentale du Gondwana, l'un des

deux méga-continentes issus de la convergence cadomienne et pan-africaine à la fin du Protérozoïque.



Tab. 1 - Chronostratigraphie des formations pré-varisques de Vendée, bassins sédimentaires

		Unité de Chantonnay		Unité de La Roche-sur-Yon
Age	Formations		Lithologie	Formations
	secteur nord-ouest	secteur sud-est		
Dévonien	Dévonien moyen	La Meilleraie	coulées de basalte / calcaires coralliens, conglomérat quartzeux	
	Dévonien inférieur		siltites, argilites, rares calcaires	Chassenon argilo-siltites
	Siluro-Devonien	Réaumur	siltites, phthanites 2, argilites ampérites, argilites, phthanites 1	La Vierge grés-pérites Nieul-le-Dolent ampérites, siltites, phthanites
Silurien	Ordovicien moyen		siltites, argilites	Le Girouard argilites
	Floien supérieur	Sigournais	conglomérats, grès, siltites	Grosbreuil grès, siltites
	Floien inférieur	Cheffois	conglomérats, grès laves et pyroclastites	
	Tremadocien - Furongien supérieur	La Châtaigneraie Bourgneuf	rhyolithiques turbidites, sills de basalte et de rhyolite	Les Sables-d'Olonne siltites, argilites, rares dolomites, sills de basalte et de rhyolite
Cambrien	Furongien inférieur	Gerbaudières	grès, argilites	Payré grès, siltites
	Cambrien moyen	Ménardière Roc-Cervelle	grès et argilites turbiditiques	

Tab. 2 - Chronostratigraphie des formations pré-varisques de Vendée

Unités
volcaniques

		Unité de La Sauzaie-Saint Gilles	Unité de Mareuil-sur-Lay	Unité de La Chapelle-Hermier
Age		Formations Lithologie	Formations Lithologie	Formations Lithologie
Ordovicien	Floien	Croix-de-Vie argilites, grès		
	Tremadocien	Le Petit-Rocher - Pilours (L'Aiguillon-sur-Vie) volcano-sédiments laves basaltiques et rhyolitiques	Les Roches volcano-sédiments silexites	Coex grès siliceux siltites, silexites, pyroclastites
		La Sauzaie pyroclastites laves rhyolitiques	Château-Guibert / Mareuil-sur-Lay pyroclastites laves rhyolitiques	La Chapelle-Hermier pyroclastites laves rhyolitiques

L'Unité de la Chapelle-Hermier est également modérément plissée et faiblement métamorphisée. Elle est déversée vers l'ouest sur la bordure de l'Unité de la Roche-sur-Yon qu'elle chevauche partiellement (Fig. 2). Deux formations contrastées animent cette unité : une formation éruptive avec dômes et coulées de rhyolites et dacites dite Formation de La Chapelle-Hermier et une formation détritique siliceuse avec grès quartzeux et silexites, dite Formation de Coex. Les silexites ont l'aspect de phtanites. Elles sont omniprésentes est sans doute en rapport avec les émanations hydrothermales du volcanisme acide. Leur plus grand affleurement forme une bande à l'est et au nord de St-Julien-des-Landes. On les voit directement au-dessus des coulées rhyolitiques de La Normandelière et de Brem. Elles n'ont rien à voir avec les phtanites dérivées des radiolarites interstratifiées dans les sédiments siluriens de l'Unité de La Roche-sur-Yon. Notons que les mêmes silexites ou pseudo-phtanites sont associées aux coulées de rhyolite de Mareuil-sur-Lay. Deux sites rhyolitiques sont remarquables : le dôme de Vairé avec ses superbes orgues volcaniques et La Normandelière avec une belle coulée massive coiffée d'une ignimbrite tout aussi remarquable.

Notre interprétation structurale nous conduit à rapporter cette unité au bassin de La Roche-sur-Yon dont elle se serait détachée, lors de la compression du Carbonifère inférieur. C'est donc une unité para-autochtone, c'est-à-dire ayant subi un déplacement modeste.

L'Unité de La Sauzaie-Saint-Gilles est, de la base au sommet, volcanique, volcano-sédimentaire puis sédimentaire, ce qui correspond à trois formations superposées : La Sauzaie, Le Petit-Rocher-Pilours et Croix-de-Vie (Fig. 2). La base volcanique est faite d'un empilement de coulées de rhyolites sur 500 m d'épaisseur. Cette unité appartient à une nappe de charriage tectonique qui s'est déplacée par chevauchement de l'est vers l'ouest. Elle se situe actuellement au-dessus du bassin de La Roche-sur-Yon et des formations de l'Unité de La Chapelle-Hermier. Mais elle est aussi passée par-dessus le bassin dinantien de Brétignolles (BDB). Le charriage de cette masse de roches s'est produit à la fin du Carbonifère inférieur. Au cours de ce charriage, la partie inférieure de la nappe, à savoir les empilements de coulées

de rhyolite, a été fortement comprimée et étirée. C'est à cette occasion que la rhyolite s'est transformée en métarhyolite cataclastique et qu'elle est devenue une « Ollo de Sapo ».

L'origine de cette unité est à rechercher dans un fossé tectonique situé actuellement à l'est du bassin de La Roche-sur-Yon. Ce fossé aurait été surélevé lors de l'exhumation de la zone axiale à la fin du Carbonifère inférieur. Le dérapage se serait effectué gravitairement vers l'ouest sur la base de la pile rigide des rhyolites.

L'Unité de Mareuil-sur-Lay est volcanique, volcano-sédimentaire et sédimentaire. C'est une nappe de charriage par-dessus le bassin de La Roche-sur-Yon. Elle vient d'être révisée après un échantillonnage pétrographique et des observations structurales. En effet, la notice de la carte de Luçon, bien que récente, présente trop d'interprétations inexactes. La carte est cependant correcte pour peu que l'on reprenne la lithostratigraphie. Sur la **figure 3a** de la carte révisée et la **figure 3b** de la coupe interprétée, je distingue trois formations : la Formation de Mareuil-sur-Lay faite d'un empilement de coulées rhyolitiques, la Formation de Château-Guibert sub-contemporaine et riche en coulées de pyroclastites rhyo-dacitiques et la Formation des Roches supérieure sédimentaire grésopélitique. J'exclue de cette unité l'ancienne Formation de Saint-Gilles de la carte « officielle » qui devient une fenêtre de la Formation de Nieul-le-Dolent appartenant à l'Unité sous-jacente de La Roche-sur-Yon. L'Unité de Mareuil-sur-Lay a subi un premier métamorphisme de basse pression et basse température dans son bassin d'origine. Puis elle a été déformée par compression et cisaillement lors du transport et du chevauchement de la nappe. Ce sont les formations de base qui ont été naturellement les plus comprimées. Les rhyolites sont transformées en métarhyolites cataclastiques. Il y a une parenté évidente avec l'Unité de La Sauzaie-Saint-Gilles. Il s'agit sans doute d'une partie de la même grande nappe de charriage venue de l'est.

L'Unité de Chantonay correspond à un bassin sédimentaire analogue à celui de La Roche-sur-Yon et situé au nord-est du rift axial qui deviendra une dorsale océanique par drifting au Siluro-Dévonien. Sa lithostratigraphie a été également révisée et son volcanisme étudié dans la publication de 2017 dont je reprends la **figure 4**. La succession stratigraphique va du Cambrien moyen au Dévonien moyen-supérieur. Elle raconte une histoire similaire à celle du bassin de La Roche-sur-Yon (**Tabl. 1**), au moins jusqu'au Dévonien inférieur. Au Dévonien moyen se manifeste une forte activité volcanique basaltique. Cette activité est souvent attribuée par erreur à un volcanisme de bassin d'arrière-arc. Or, le bassin existait bien avant la convergence varisque et donc avant la subduction de l'océan sud-armoricain, laquelle n'a généré aucun arc. Toutefois, il y a bien une relation entre cette subduction et les basaltes de Chantonay, mais c'est une autre histoire.

Le volcanisme rhyolitique est développé au début de l'Ordovicien avec la Formation de La Châtaigneraie. Il s'intègre dans l'activité volcano-tectonique de la chaîne trémadocienne constituée par une série de fossés tectoniques qui se relaient en échelon. Le volcanisme trémadocien se termine à l'Ordovicien moyen par une émergence du bassin et l'épandage généralisé des grès armoricains de la Formation de Cheffois. On sait que ces grès constituent un remarquable repère chronostratigraphique depuis le centre de l'Espagne jusqu'au sud du Massif Central. Vers la fin du Carbonifère inférieur, en raison de la collision des deux marges de l'océan sud-armoricain, le bassin de Chantonay va se transporter vers le sud-ouest. Sa marge sud-occidentale est prise dans le mouvement d'exhumation de la zone axiale. Puis l'ajustement tectonique de cette marge va créer les fossés tectoniques du Carbonifère supérieur.

Fig3b

Coupe géologique de la nappe de chevauchement de Mareuil-sur-le-Lay

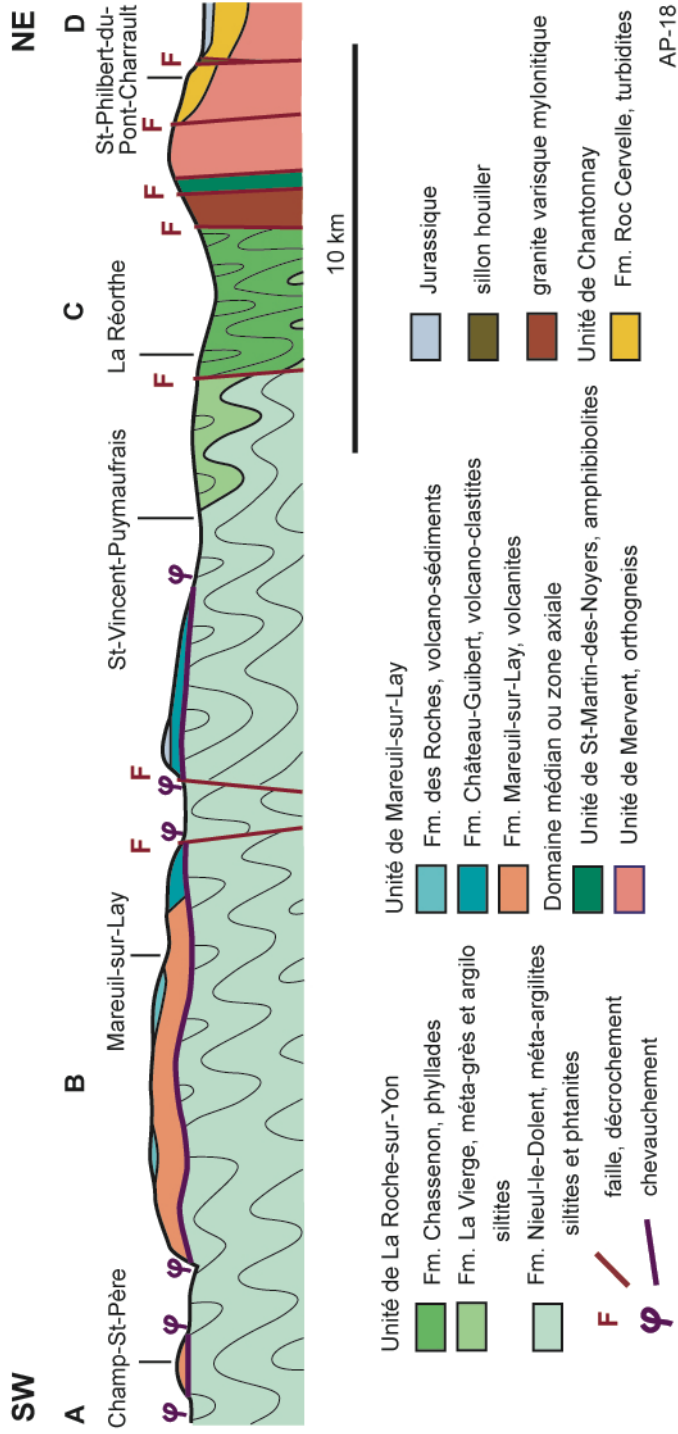


Fig. 4a

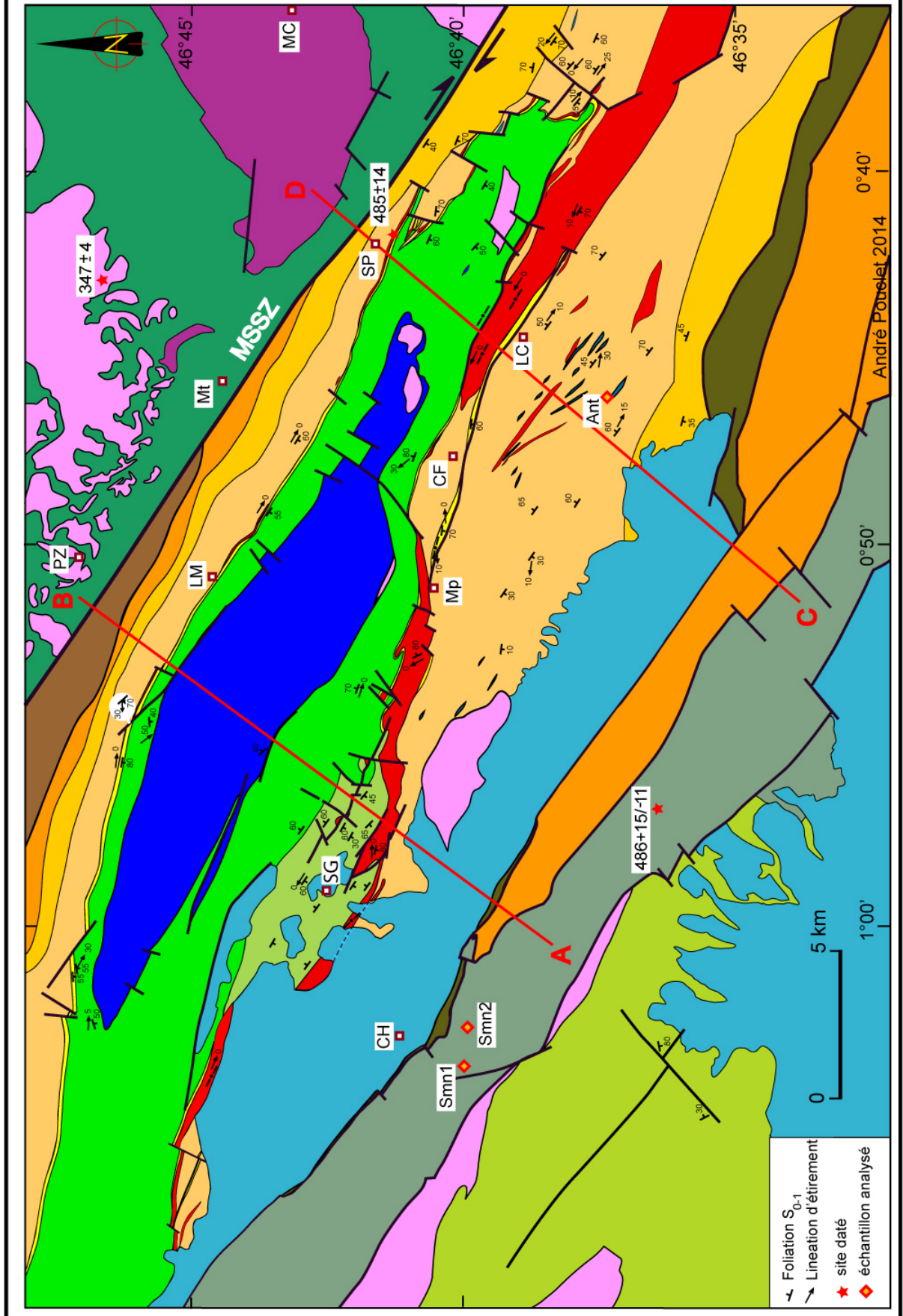
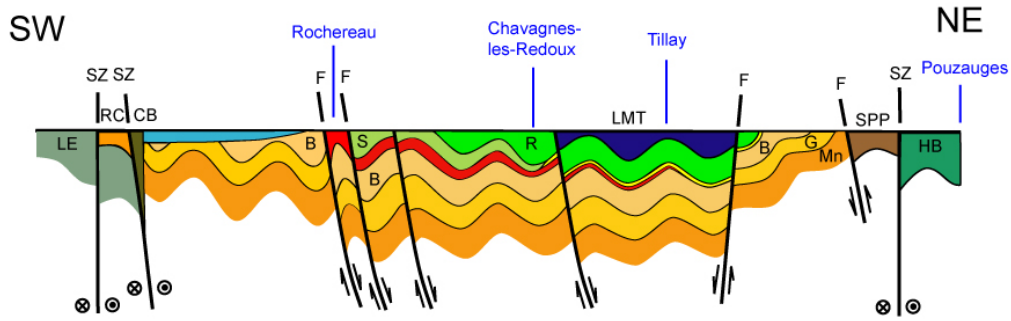
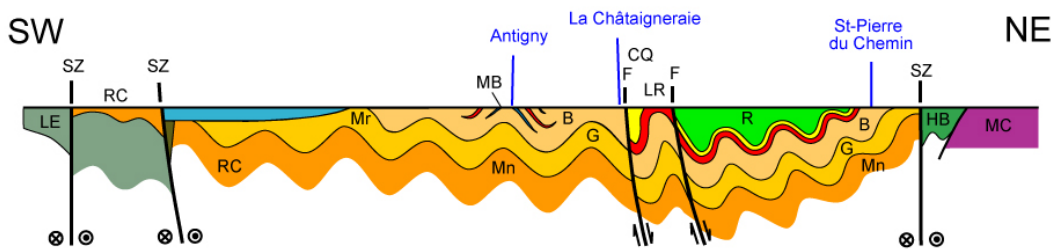


Fig. 4b

Bassin cambro-dévonien de Chantonnay
coupe A - B





















coupe C - D



SZ, zone de cisaillement ; F, faille

Carte géologique du bassin de Chantonnay
Légende

Bassin de Chantonnay

- | | |
|--|--|
|  La Meilleraie volcanique Fm. (LMT)
(Dévonien moyen) |  Bassin du Haut-Bocage (HB)
(Cambrien-Ordovicien) |
|  Réaumur Fm. (R) (Silurien à Dévonien moyen) |  Montaigu et Saint-Paul-en-Pareds Fm. (SPP) |
|  Sigournais Fm. (S) (Ordovicien inférieur) |  Complexe des Essarts, St-Martin-des-Noyers
Fm. et orthogneiss de Mervent (LE) |
|  Cheffois quartzite Fm. (CQ)
(Ordovicien inférieur) |  Bassin occidental, Chassenon et La Vierge
Fm. (Silurien - Devonien) |
|  La Châtaigneraie rhyolite Fm. (LR)
(Tremadocien inférieur) |  Granites varisques |
|  Bourgneuf Fm. (B) (Furongien) |  Diorites varisques (MC) |
|  basalte, sills (MB) |  Bassins carbonifères (CB) |
|  rhyolite, sills |  Bassin jurassique |
|  Gerbaudières-Marillet-Puy Hardy Fm. (G, Mr)
(Cambrien moyen) | |
|  Ménardière-Roc Cervelle Fm. (Mn, RC)
(Cambrien inférieur à moyen) | |

2 – Signification géotectonique et géodynamique de la chaîne trémadocienne

2.1. Les résultats analytiques

Nous avons vu que la chaîne volcano-tectonique trémadocienne est une suite de fossés tectoniques frangés par des volcans rhyolitiques. L'émergence de ce magmatisme acide fait suite à une longue période de magmatisme basique figuré par de multiples sills et laccolithes basaltiques à doléritiques intercalés dans les sédiments du Cambrien en Vendée (**Tab. 1**) comme dans le domaine occitan. Le traitement magmatologique d'un ensemble d'analyses chimiques nouvelles m'a permis de démontrer que ce magmatisme basique cambrien est issu de la fusion du manteau lithosphérique continental à faible profondeur. Cette fusion ne peut se faire que par suite d'une décompression, ce qui veut dire que la lithosphère continentale a dû diminuer d'épaisseur en raison d'un étirement mécanique. Cette étude a été menée sur des volcanites de Vendée et du sud du Massif Central (Pouclet *et al.*, 2017). Une étude similaire a été faite sur des volcanites cambriennes du Maroc, qui m'a conduit à la même conclusion (Pouclet *et al.*, 2018). Le traitement des données analytiques des publications faites sur les volcanites cambriennes d'Espagne me donne aussi le même résultat. Il ne fait pas de doute que c'est toute la partie nord à nord-ouest du continent du Gondwana qui a été mise en extension au Cambrien.

Le même traitement des données analytiques a été effectué sur les laves rhyolitiques des domaines armoricains et occitans. Ces laves appartiennent à la série alcali-calcique. L'origine du magma alcali-calcique est soit de la fusion crustale, soit de la fusion d'un manteau continental contaminé. La distinction nécessite de faire des analyses isotopiques sur roches totales ou sur zircons séparés dont il est possible de définir l'origine ancienne. Je n'ai pas fait ces analyses sur les roches varisques de France, mais d'autres chercheurs ont publié des données substantielles sur les zircons extraits de métarhyolites de Vendée et du sud du Massif Central. J'ai fait une recherche similaire sur des roches cambriennes du Haut-Atlas marocain (Pouclet *et al.*, 2008). Les résultats géochimiques, confortés par l'abondance des zircons hérités de l'écorce continentale, ne peuvent s'expliquer que par une origine du magma rhyolitique par fusion de formations silico-alumineuses de l'écorce continentale. Dans ce magma, aucune composante mantellique n'est décelable.

Je conclus que le volcanisme cambrien et ordovicien inférieur résulte d'une extension lithosphérique. La fusion commence dans le manteau lithosphérique aminci. Les magmas basaltiques produits s'accumulent à l'interface manteau-écorce et s'injectent dans l'écorce fracturée des structures de rift en formation. La chaleur transmise par ces magmas, le long de ces structures, va provoquer la fusion de l'écorce et produire une nouvelle génération de magmas rhyolitiques. Ainsi se forme la chaîne volcanique trémadocienne.

2.2. Les théories géotectoniques

Qu'en est-il des théories géotectoniques répandues et plus ou moins admises dans le milieu géologique international, concernant le volcanisme cambro-ordovicien de l'orogénèse varisque ?

En France, très peu d'investigations magmatologiques ont été faites sur la base des données analytiques complètes, c'est-à-dire dosant la totalité des éléments chimiques. L'opinion communément admise pour le volcanisme rhyolitique est qu'il se situe dans un contexte de marge active avec subduction océanique et construction d'un arc volcanique. Cependant, dès 1988, une étude géochimique de roches basaltiques de l'Albigeois par François Marini de l'Université de Nancy, avait conclu qu'elles provenaient de la fusion du

manteau continental dans des conditions probables d'extension lithosphérique sous l'effet d'un point chaud (Marini, 1988).

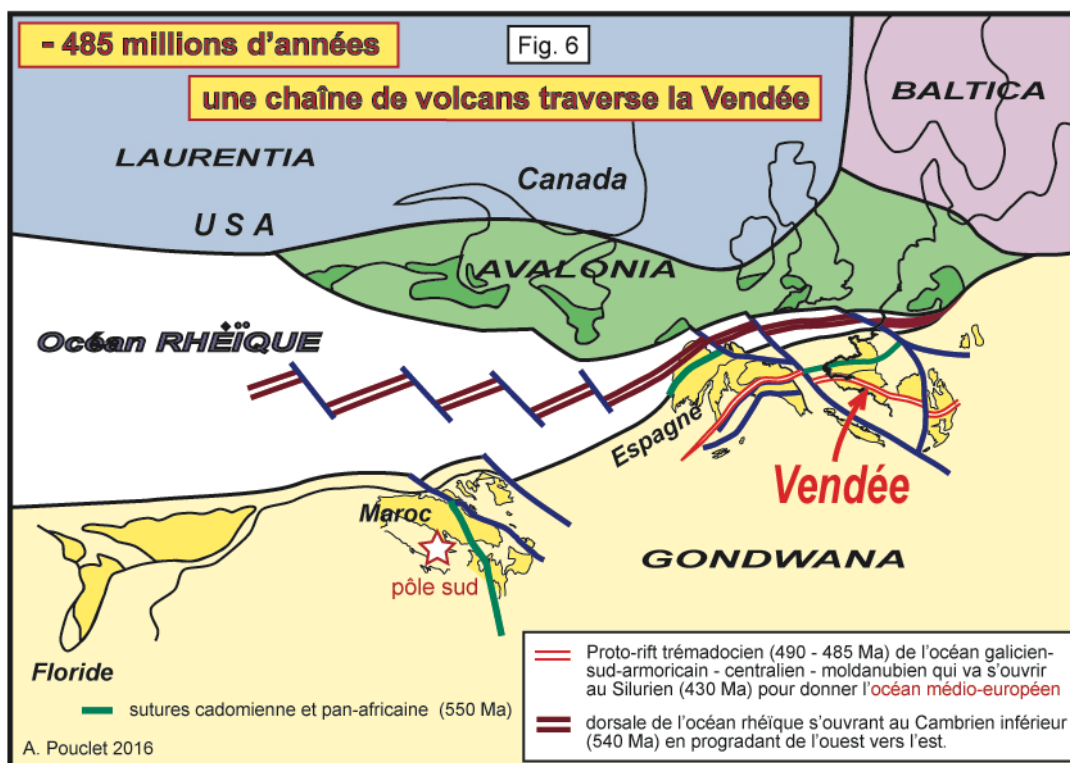
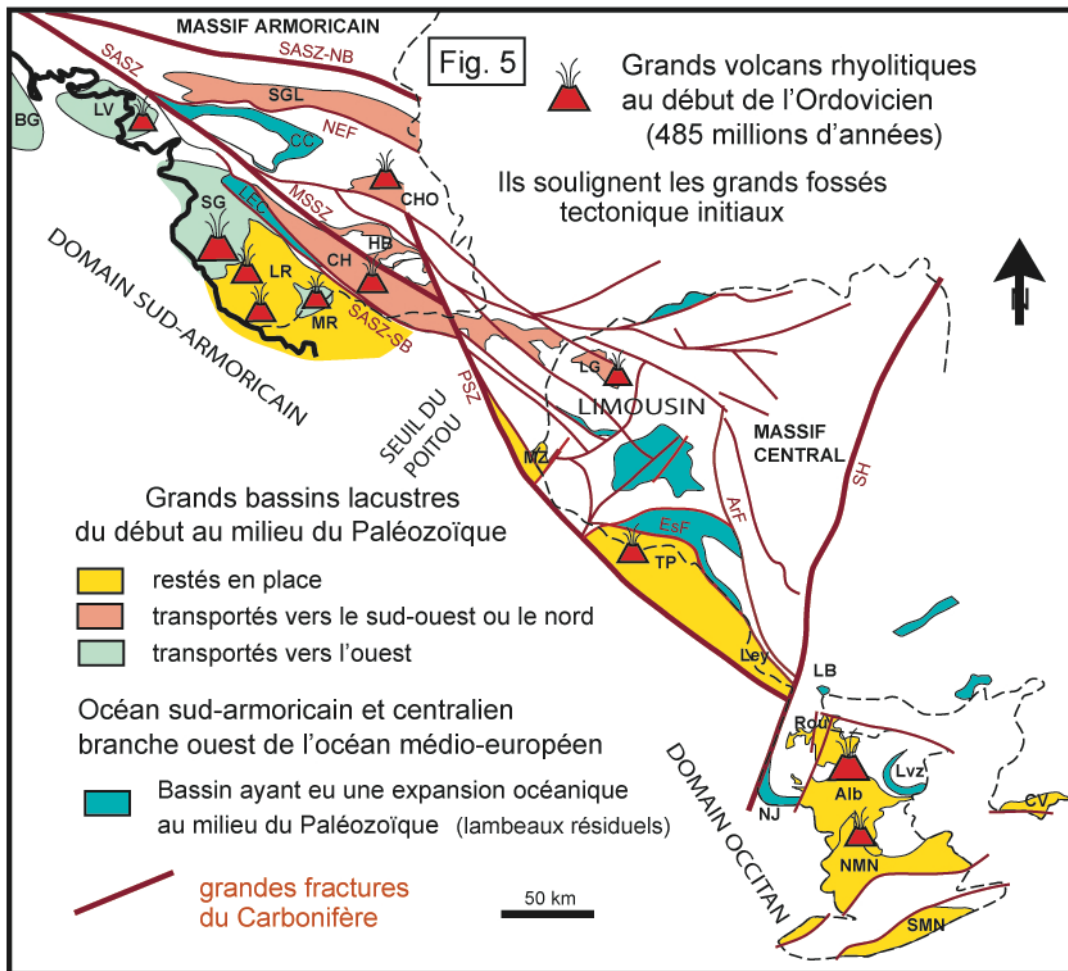
Dans la péninsule ibérique, les formations magmatiques cambro-ordoviciennes ont fait l'objet de nombreuses études, avec une excellente cartographie et de bonnes mesures structurales. Malheureusement le décryptage des données géochimiques reste sommaire et très conventionnel. Le magmatisme rhyolitique est attribué à une série calco-alcaline. L'association des basaltes et des rhyolites est considérée comme typiquement bimodale, bien que, comme en France, les basaltes précèdent les rhyolites. Bien sûr, sur la base d'une méconnaissance de la vraie nature du magma rhyolitique et de la chronologie des événements magmatiques, une telle association bimodale ne peut être que le fruit de l'activité d'un arc volcanique de marge active, donc dans un contexte géodynamique convergent. C'est à cette conclusion qu'arrive la grande majorité des publications des géologues espagnols et portugais. Bien sûr aussi, cette conclusion est reprise dans la littérature internationale, ce qui conditionne sévèrement l'interprétation géodynamique de la chaîne varisque. Pour expliquer ce contexte convergent, on admet que la marge ibérique du Gondwana continue de subir les effets de la convergence de la chaîne cadomienne qui a généré l'arc cadomien vers la fin du Protérozoïque. La subduction se poursuit. L'arc cambro-ordovicien est simplement calqué sur l'arc cadomien.

Pourtant, il y a quelques réfractaires à cette théorie. Pilar Montero, de l'Université de Grenade, du laboratoire de Fernando Bea, effectue des datations de différentes roches acides principalement de la Formation Ollo de Sapo trémadocienne et analyse en détail la composition isotopique uranium-plomb des zircons. Elle conclut à l'existence d'un rift cambro-ordovicien ibérique, reprenant ainsi une proposition de Bea (Bea *et al.*, 2007 ; Montero *et al.*, 2009). Mieux, dans une dernière publication de décembre 2017, elle ajoute à ces analyses, les compositions isotopiques de l'oxygène et de l'hafnium (Montero *et al.*, 2017). La conclusion de cette étude est sans appel. Le magma rhyolitique provient de la fusion de sédiments immatures formés par la dégradation de roches éruptives du Protérozoïque supérieur. Ces formations sédimentaires, empilées vers la fin de l'orogénèse cadomienne, sont les constituants de l'écorce supérieure et donc le substratum de la Formation Ollo de Sapo. Une telle fusion supra-crustale est incompatible avec un contexte d'arc où la fusion est nécessairement très profonde. La composition des magmas acides est aussi très différente selon que la fusion est à basse ou haute pression.

Cette publication de Montero est pour moi d'un grand réconfort. Elle confirme l'interprétation sur la genèse crustale des magmas rhyolitiques trémadociens de Vendée et du Massif Central. Pour cette genèse, il faut beaucoup de chaleur. La fusion mantellique par décompression et le transfert des magmas basaltiques dans un réseau de fossés tectoniques est à même d'apporter assez de chaleur dans une écorce fracturée. Ce mode de genèse magmatique crustale est connu comme le modèle du sous-placage.

2.3. Contexte géotectonique

Sur la **figure 5**, les centres rhyolitiques trémadociens sont localisés dans leur position actuelle, dans les domaines sud-armoricains et occitans. Ce n'est pas leurs positions initiales, mais nous verrons que leurs déplacements ont été modestes. Replacée dans une reconstitution palinspastique de l'aire varisque au début de l'Ordovicien, sur la **figure 6**, la chaîne rhyolitique amorce un proto-rift dans la marge continentale du Gondwana. C'est au nord de cette marge que s'ouvre l'océan rhéique. L'extension de cet océan débute à l'ouest, au début du Cambrien. Puis la dorsale rhéique se propage vers l'est en longeant l'Avalonia, pour atteindre le nord de l'Allemagne à l'Ordovicien moyen.



Ce n'est qu'après l'Ordovicien que le proto-rift va poursuivre son extension pour enfin créer une branche océanique de l'océan médio-européen qui sera, en Vendée, la branche sud-armoricaine. Cette branche traverse l'Espagne au nord-ouest depuis son centre, mais n'apparaît pas au Maroc. Il n'y a pas, au Maroc, de chaîne volcanique rhyolitique trémadocienne. Le domaine varisque marocain n'est concerné que par l'extension de l'océan Rhéique.

3 – Origine des aires volcaniques rhyolitiques

3.1. Unité de La Chapelle-Hermier

La partie nord et nord-ouest de l'Unité de La Chapelle-Hermier est recouverte par la nappe de La Sauzaie-Saint-Gilles. Mais, dans la partie sud, on peut voir la rhyolite de Vairé au-dessus des métasédiments de l'Unité de La Roche-sur-Yon par faille inverse, la rhyolite étant elle-même déversée sur ces sédiments (**Fig. 2**). Ces sédiments appartiennent à la formation de Grosbreuil datés de l'Ordovicien inférieur-moyen (Floien). Je rappelle que la rhyolite est datée du Trémadoc. À l'est, les corps rhyolitiques sont en contact tectonique avec les métasédiments siluriens de la Formation de Nieul-le-Dolent, Mais, ces métasédiments ont été fortement déformés par les intrusions des plutons du batholithe de La Roche-sur-Yon. Ils ont été comprimés contre les rhyolites au Carbonifère supérieur. Il n'est pas possible de dire quelle était la nature du contact initial. Vers l'ouest, c'est le bassin dinantien de Brétignolles qui est en contact par faille inverse avec les coulées de rhyolites. Ce bassin s'est aussi déplacé vers l'ouest. La nappe de La Sauzaie recouvre le tout à la fin du Carbonifère inférieur. C'est donc une succession de recouvrements de l'est vers l'ouest qui s'est produite, d'abord dans le bassin de la Roche-sur-Yon, de façon modeste pour le bassin dinantien et l'Unité de la Chapelle-Hermier, puis de façon dramatique pour la nappe supérieure qui a fait un plus long voyage.

Il est possible de replacer la Formation volcanique de La Chapelle-Hermier dans le bassin de La Roche-sur-Yon, en corrélation avec les volcanites rhyolitiques de la Formation des Sables-d'Olonne. L'ensemble des intrusions rhyolitiques devait former un bloc compact et rigide dans le bassin et ce bloc s'est désolidarisé de son encaissant sédimentaire, lors de la compression du Carbonifère inférieur. Je propose également que l'on corrèle la Formation sédimentaire de Coex avec celle de Grosbreuil de la fin de l'Ordovicien inférieur. Ce dépôt sableux indique l'émersion du bassin. Mais, déjà, l'essentiel des édifices volcaniques rhyolitiques étaient à l'air libre. Au même moment les bassins de La Roche-sur-Yon et de Chantonay sont exondés. La sédimentation en eau profonde ne reprendra qu'au Silurien après une lacune de l'Ordovicien supérieur.

3.2. Unités de La Sauzaie-Saint-Gilles et de Mareuil-sur-Lay

J'admets que les deux unités de La Sauzaie-Saint-Gilles et de Mareuil-sur-Lay appartiennent à la même nappe de chevauchement. Encore une fois, pour comprendre la constitution de ces unités à métarhyolites, il faut aller en Espagne. La nature des roches est similaire à celles de la Formation Ollo de Sapo. Mais l'étendue et les conditions d'affleurement de cette formation ibérique sont très supérieures à celles de la Vendée. Elles permettent de voir la totalité des édifices volcaniques, depuis les formations de surface jusqu'aux formations basales supra-crustales. Une des meilleures études récentes est celle de Alejandro Díez Montes, de l'Institut de Géologie de Salamanca, lequel a pris en considération l'hypothèse d'un rift ibérique de Bea et de Montero (Díez Montes *et al.*, 2010). La Formation Ollo de Sapo s'étend sur 570 km, de la côte des Asturies au centre de l'Espagne. Sa plus

grande largeur, dans la région de Sanabria, est de 28 km, dans un paysage escarpé pauvre en végétation et idéal pour les affleurements. Le volcanisme rhyolitique est représenté par de vastes dômes intrusifs et extrusifs associés à des coulées de laves et de pyroclastites à faciès ignimbrétiques. Les dômes sont recouverts par des dépôts volcano-sédimentaires et sédimentaires grésopélitiques. Ils reposent sur des corps plutoniques, soit par passage graduel soit par chevauchement. Dans le premier cas, on observe une évolution de la cristallinité depuis la lave hyalo-porphyrrique de surface à la roche microgrenue du cœur du dôme, puis à la roche grenue de la base plutonique. Dans tous les cas, la composition minéralogique et chimique reste inchangée. Il est clair que la base plutonique est la chambre magmatique solidifiée de l'édifice volcanique. Le métamorphisme thermobarométrique est d'intensité variable, mais la déformation tangentielle par compression est assez sévère. Les rhyolites sont transformées en métarhyolites cataclastiques feuilletées et les roches granitiques en orthogneiss. Or, c'est exactement la même chose que l'on observe dans la nappe de chevauchement métarhyolitique de Vendée. La différence notable est que les métarhyolites de la nappe vendéenne ont été détachées de leurs sources lors du charriage.

Pour l'Unité de Mareuil-sur-Lay, il n'est pas nécessaire d'aller bien loin pour trouver la source des rhyolites. C'est l'orthogneiss de Mervent qui a été précisément daté du Trémadocien et qui est géochimiquement similaire aux laves de Mareuil-sur-Lay. Il est à 25 km à l'est. Pour l'Unité de La Sauzaie-Saint-Gilles, la source est immanquablement dans le Complexe des Essarts. Ce complexe mélange des formations éruptives et métasédimentaires de la bordure continentale avec des produits magmatiques de la marge extensive pré-océanique et des débris du domaine océanique subductés puis exhumés, dont les éclogites. On y trouve, en particulier, des intercalations d'orthogneiss qui ont été datés du Trémadocien. Ces orthogneiss sont les racines des édifices volcaniques rhyolitiques qui bordaient le rift pré-océanique de l'océan sud-armoricain dont les éclogites soulignent la suture. Brutalement surélevées par la fermeture de l'océan et la collision des marges, les masses rocheuses volcaniques et leur couverture ont dévalé la pente vers l'ouest.

Je souligne au passage qu'il faut définitivement abandonner l'hypothèse que les métarhyolites de la Sauzaie-Saint-Gilles et de Mareuil-sur-Lay ont été subductées lors de la convergence varisque, puis exhumées. Une telle subduction aurait sévèrement déformé les métarhyolites et généré un métamorphisme de haute pression. La déformation tangentielle est sans doute importante. Mais elle s'explique par le processus de chevauchement de la nappe. Le métamorphisme ne dépasse pas le grade de la muscovite. Les quelques mesures données dans la littérature suggérant un métamorphisme sous pression élevée, d'après le baromètre de la phengite, ne sont pas défendables, faute d'une estimation de la température. Il reste la question de la Formation de Bois-de-Céné située structuralement au-dessus de la nappe de La Sauzaie-Saint-Gilles et exprimant du glaucophane qui pourrait indiquer un contexte de métamorphisme par subduction. Mais, sur cette formation, nous n'avons aucune donnée structurale, pétrologique et magmatologique. Toute interprétation actuelle ne peut être que fantaisiste.

4 – Conclusion - le volcanisme varisque en Vendée

L'orogénèse varisque (anciennement hercynienne) commence au Cambrien après la fin de l'orogénèse cadomienne dite aussi pan-africaine, qui se passe entre 550 et 540 Ma. Cette fin d'orogène est naturellement convergente et compressive avec soudure de grandes aires lithosphériques ou plaques tectoniques. Au Cambrien, le nouvel orogène, dit varisque, est inauguré par l'apparition d'un régime divergent et extensif qui va générer fracturations et séparations de nouvelles plaques par la création de nouveaux océans. C'est ainsi qu'est définie la succession des périodes orogéniques.

C'est ce qui se passe en Vendée. Un volcanisme basaltique se développe au Cambrien. Il est actuellement préservé dans les bassins de La Roche-sur-Yon et de Chantonnay. Les nouvelles analyses complètes de ces laves règlent définitivement le problème de leur composition de tholéiites continentales et de leur genèse en contexte extensif. C'est le volcanisme V1. À la fin du Cambrien et à l'Ordovicien inférieur, un nouveau volcanisme apparaît avec une composition rhyolitique. C'est le V2. Les rhyolites de Vendée sont toutes datées du Trémadocien, premier étage de l'Ordovicien. Elles appartiennent à une chaîne volcanique qui s'est étendue sur toute la bordure nord du Gondwana qui comprenait l'Europe occidentale, centrale et orientale, l'Amérique et l'Afrique. Ce volcanisme s'est développé depuis le centre de la péninsule ibérique jusqu'en Sardaigne, en passant par le sud de la Bretagne, la Vendée, le Limousin et le sud du Massif Central. Le magma rhyolitique provient de la fusion de l'écorce métasédimentaire formée au Protérozoïque supérieur. Il se met en place dans un système de rifts intracontinentaux résultant de l'extension et du bombement de la lithosphère. Le volcanisme se terminant par la vidange des réservoirs magmatiques et l'extension lithosphérique se poursuivant, la plaque lithosphérique se déchire et s'affaisse. Une ride océanique apparaît au Silurien, au travers des domaines sud-armoricains et occitans. C'est le volcanisme V3 et l'histoire varisque aborde un nouveau chapitre.

Références

- Bea F., Montero P., González Lodeiro F., Talavera C., 2007. Zircon inheritance reveals exceptionally fast crustal magma generation processes in Central Iberia during the Cambro-Ordovician. *Journal of Petrology*, 48, 2327-2339.
- Díez Montes A., Martínez Catalán J.R., Bellido Mulas F., 2010. Role of the Ollo de Sapo massive felsic volcanism of NW Iberia in the Early Ordovician dynamics of northern Gondwana. *Gondwana Research*, 17, 363-376.
- Marini F., 1988. "Phase" sarde et distension ordovicienne du domaine sud-varisque, effets de point chaud? Une hypothèse fondée sur les données nouvelles du volcanisme albigeois. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, sér. 2*, 306, 443-450.
- Montero P., Talavera C., Bea F., González Lodeiro F., Whitehouse M.J., 2008. Zircon geochronology and the age of the Cambro-Ordovician rifting in Iberia. *Journal of Geology*, 117, 174-191.
- Montero P., Talavera C., Bea F., 2017. Geochemical, isotopic, and zircon (U-Pb, O, Hf isotopes) evidence for the magmatic sources of the volcano-plutonic Ollo de Sapo Formations, Central Iberia. *Geologica Acta*, 15, 245-260.
- Pouclet A., Ouazzani H., Fekkak A., 2008. The Cambrian volcanosedimentary formations of the westernmost High Atlas (Morocco): their place in the geodynamic evolution of the West African Paleo-Gondwana northern margin. *In: Ennih N., Liégeois J-P. (Eds), The boundaries of the West African Craton, Geological Society, London, Special Publications vol. 297*, 303-327.
- Pouclet A., Álvaro J.J., Bardintzeff J-M., Gil Imaz A., Monceret E., Vizcaíno D., 2017. Cambrian-early Ordovician volcanism across the South Armorican and Occitan domains of the Variscan Belt in France: Continental break-up and rifting of the northern Gondwana margin. *Geoscience Frontiers*, 8, 25-64.
- Pouclet A., El Hadi H., Álvaro J.J., Bardintzeff J-M., Benharref M., Fekkak A., 2018. Review of the Cambrian volcanic activity in Morocco: geochemical fingerprints and geotectonic implications for the rifting of West Gondwana. *International Journal of Earth Sciences*, 107 (5), 1-23.