

Les plis hercyniens kilométriques couchés vers l'ouest-sud-ouest dans la région du pic du Midi d'Ossau–col du Somport (zone axiale des Pyrénées occidentales)

Philippe Matte

Laboratoire de géophysique, tectonique et sédimentologie, UMR 5573 CNRS–université Montpellier-2, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex, France

Reçu le 3 avril 2002 ; accepté le 3 juin 2002

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – Kilometric westward Hercynian recumbent folds in the western Pyrenees (Pic du Midi d'Ossau area). The Palaeozoic of the western Pyrenees shows two superposed tectonics easily defined by their different geometry and the major unconformity of the Permian sediments and volcanics on the Devonian–Carboniferous series: an Hercynian tectonic found only in the pre-Permian series, characterised by kilometric westward recumbent folds with a weak cleavage; a Pyrenean tectonic, characterised by tight east–west folds, upright to overturned to the south with slaty cleavage, which is the only deformation found in the Permian and Mesozoic series and the second deformation in the pre-Permian Palaeozoic. The Hercynian folding, roughly perpendicular to the trend of the Pyrenees characterises the northern branch of the Ibero-Armorican virgation. *To cite this article: P. Matte, C. R. Geoscience 334 (2002) 773–779.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

West Pyrenees / Palaeozoic / Hercynian / recumbent folds

Résumé – Le Paléozoïque des Pyrénées occidentales montre deux tectoniques superposées, aisément différenciables par leur géométrie et par la discordance majeure du Permien sur le Dévonien–Carbonifère : une tectonique hercynienne, existant seulement dans le Paléozoïque anté-Permien, caractérisée par des plis kilométriques couchés vers l'ouest, avec schistosité fruste ; une tectonique pyrénéenne, caractérisée par des plis est–ouest serrés, droits à déversés vers le sud, avec schistosité ardoisière. C'est la seule déformation visible dans le Permien et le Mésozoïque, et c'est la deuxième déformation dans le Paléozoïque anté-Permien. Le plissement hercynien, pratiquement perpendiculaire à la direction de la chaîne Pyrénéenne, est caractéristique de la partie externe de la branche nord de la virgation ibéro-armoricaine. *Pour citer cet article : P. Matte, C. R. Geoscience 334 (2002) 773–779.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Pyrénées occidentales / Paléozoïque / Hercynien / plis couchés

Abridged version

1. Introduction and geological setting

Large recumbent folds are relatively rare in mountain belts. In Europe, they were mainly described in the Alps [4] and in the Variscan belt of Western Europe

[1, 9]. In the western part of the Pyrenees, the Axial Zone, made of Palaeozoic sediments and Late-Variscan granites, outcrops beneath the Mesozoic (Fig. 1). This basement shows Hercynian and Pyrenean deformations. High peaks and deep rivers, between the Pic du Midi d'Ossau (2884 m) and the Somport pass, give excellent outcrops through the Palaeozoic sedimentary pile

(Fig. 2). A main unconformity between the Permian and the Devonian–Carboniferous sediments allows distinguishing the superimposed Pyrenean and Hercynian deformations. The Devonian–Carboniferous series of this area has been very well described by Mirouse [10], and essentially consists in 150–250 m-thick limestones (Upper Devonian and Lower Carboniferous) underlain by quartzo-pelitic rocks (Lower–Middle Devonian) and overlain by thick flysch-like sediments (shales, sandstones, conglomerates, limestone olistoliths) of Namurian–Lower Westphalian age. The Hercynian tectonic is characterised by large folds trending north–south to NW–SE, recumbent to the west and southwest with inverted limbs reaching four kilometres. A coarse dissolution flat cleavage develops in pelitic series. Locally, thrusts are present in inverted limbs.

The Pyrenean tectonic is characterised by folds trending east–west to 110° , upright to overturned and locally recumbent to the south in the Cretaceous of the Spanish border. These structures are very clear in the unconformable Permian sediments, with a strong slaty cleavage. They are detectable in the Devonian–Carboniferous, because they re-fold the Hercynian recumbent folds and deform as well Permian volcanic dykes. Pyrenean thrusts and ‘*décollements*’ are also present, sometimes disturbing the original unconformable contact between Permian sediments and volcanics and the underlying basement.

2. The Hercynian tectonic

The Devonian–Carboniferous series show folds striking north–south to NW–SE, recumbent to the west and southwest. They are underlined by the Upper Devonian–Lower Carboniferous limestones sandwiched between the pelitic Middle Devonian and Namuro–Westphalian series. The most spectacular are the Pic Moustardé folds, on the southern slope of the Brousset River, viewed from the Pourtalet pass road (Figs. 3 II and 4A). These folds show an axial plunge ($20\text{--}40^\circ$) to the north, so that the bottom of the Westphalian synclines outcrops to the south around 2500 m between the Soques and Ouradé peaks (Figs. 2 and 3 III). Taking into account the average direction of the metric to hectometric recumbent minor folds, the largest anticline (Anéou peak anticline) has an inverted limb reaching 4 km (Fig. 3 II). Other folds recumbent to the west–southwest are visible in the Canfranc area [14]. The front of a recumbent

fold is exposed west of the Monte Tobazo, with an axis plunging 30° to the north–northwest (Fig. 3 IV).

3. The Pyrenean tectonic

The Pyrenean deformation is well expressed in the Permian sediments (pelites, sandstones, conglomerates) that overlay unconformably the Devonian–Carboniferous series (Fig. 5). The beds are tightly folded with folds trending 90° to 110° and a slaty cleavage, dipping 80° to 20° north (Fig. 4D). Locally, the unconformity between the Permian and the Carboniferous is complicated by thrusting as in the Canfranc area [11, 14] (Fig. 3 IV). In this area, the Pyrenean cleavage becomes flat in the Permian and the Cretaceous cover. In the Devonian–Carboniferous basement, Permian volcanic dykes are folded and/or strongly boudined (Figs. 4C and 6). At depth, the Palaeozoic basement is very likely thrust onto the Cretaceous sediments (Fig. 1), as in the Gavarnie window, more to the east [12].

4. Conclusion

In the Palaeozoic basement of the western Pyrenees, the Hercynian tectonic is characterised by folds recumbent to the west–southwest. A coarse, flat axial-planar cleavage locally develops in pelitic rocks. That is probably the only main deformation before the Permian in this area with folds roughly perpendicular to the trend of the Pyrenean belt. This event is comparable to the recumbent fold and nappe tectonic known more to the east in eastern Pyrenees [7], with a southwest vergence [13], and in the Montagne Noire (southern Massif Central), with a southward vergence [1]. The western Pyrenean Palaeozoic is the most external part of the northern branch of the Ibero-Armorican virgation (Fig. 7) and forms part of the Pyreneo-Cantabric Carboniferous foredeep basin.

The second major deformation, visible in the Palaeozoic western Pyrenees is essentially Pyrenean, as it deforms as well Permian, Triassic and Cretaceous rocks. The Palaeozoic is strongly shortened ($> 50\%$) and probably thrust onto Cretaceous at depth (Fig. 1). In this area there is no Hercynian east–west upright strong folding clearly detectable, as in the central [6] and eastern parts [7] of the Palaeozoic Axial Zone of the Pyrenees.

1. Introduction

Dans les chaînes de montagnes, les plis couchés à flanc inverse kilométrique sont rares : on connaît le pli de Morcles dans les Alpes [4] et, dans la chaîne hercynienne d'Europe, ceux de la Montagne noire [1] et de Galice [9]. Mirouse [10] a également décrit un pli couché spectaculaire dans le Paléozoïque des Pyrénées occidentales, celui du pic Moustardé, à l'est du pic du Midi d'Ossau, également mentionné par Henry [5].

Mais la taille de ces plis couchés a été généralement sous-estimée. Nous montrons que, dans cette région qui s'étend du col du Pourtalet jusqu'au col du Somport, la tectonique hercynienne en plis couchés est générale. Ces plis à flanc inverse kilométrique affectent jusqu'au Westphalien A. Leurs axes sont en moyenne nord–sud à NW–SE et ils sont couchés vers l'ouest à sud-ouest. La schistosité de plan axial est faible à inexistante. C'est apparemment la seule phase hercynienne importante dans cette région. Bien que spec-

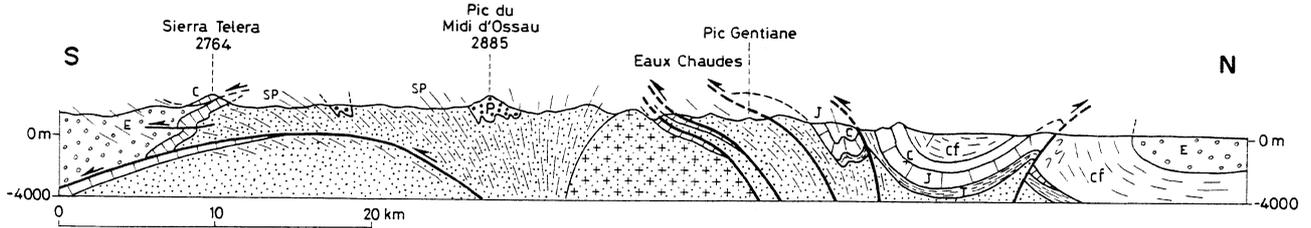
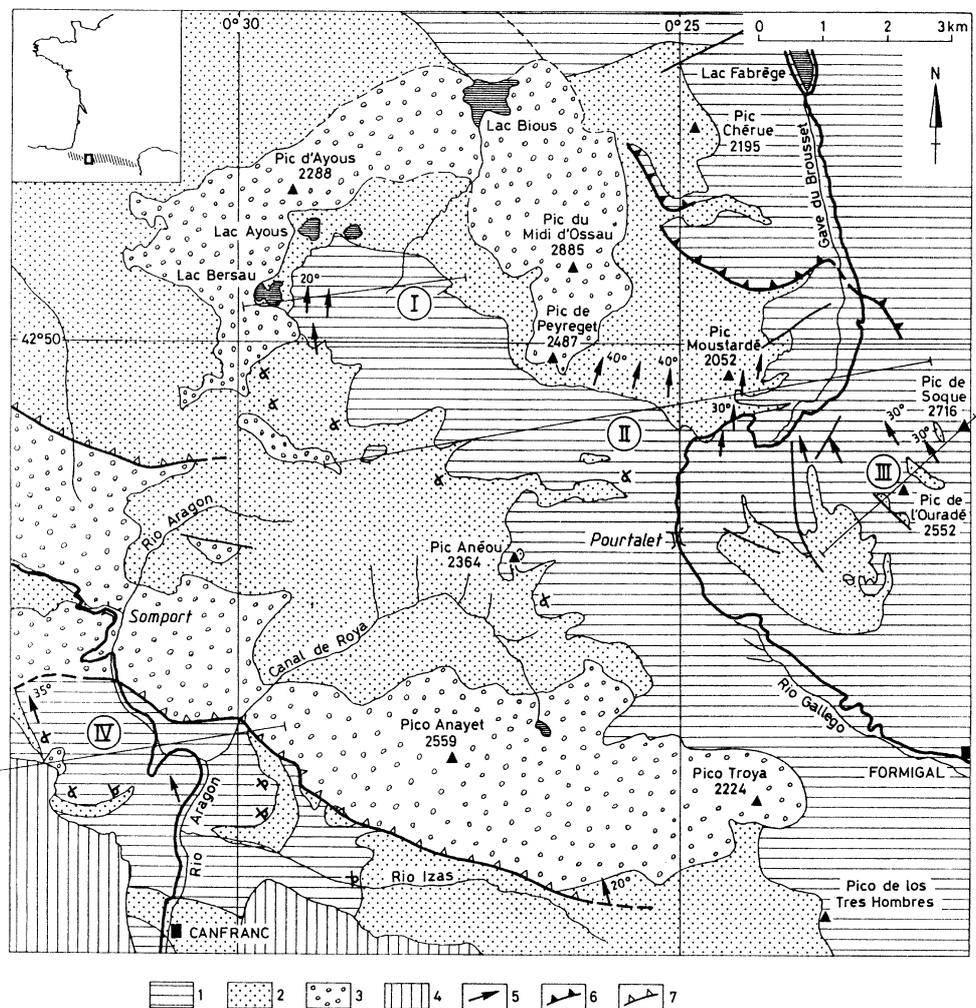


Figure 1. Coupe schématique nord-sud des Pyrénées occidentales, d'après Henry [5] et Séguret [12], montrant les principaux chevauchements pyrénéens. Substratum anté-Permien (séries sédimentaires et granite) en pointillés. P : Permien, T : Trias, J : Jurassique, C : Crétacé, Cf : Crétacé flysch, E : Éocène, SP : schistosité pyrénéenne.

Figure 1. North-south section through the western Pyrenees after Henry [5] and Séguret [12], showing the main Pyrenean thrusts. Dotted: pre-Permian basement, P: Permian, T: Trias, J: Jurassic, C: Cretaceous, Cf: Cretaceous flysch, E: Eocene, SP: Pyrenean cleavage.

Figure 2. Schéma géologique de la région Pourtalet-Ossau-Somport, d'après Mirouse [10], Muller et Roger [11], Van der Lingen [14] et levés personnels (1969). (1) Dévono-Dinantien calcaire et Dévonien moyen schisto-gréseux, (2) flysch namuro-westphalien, (3) Permien discordant, (4) Crétacé, (5) axes des plis hercyniens, (6) chevauchements hercyniens, (7) chevauchements pyrénéens. Par souci de clarté, les structures pyrénéennes (plis, schistosité) ne sont pas représentées. I, II, III, IV : traces des coupes de la Fig. 3.

Figure 2. Geological sketch map of the Pourtalet-Ossau-Somport area, after Mirouse [10], Muller and Roger [11], Van der Lingen [14] and personal mapping (1969). (1) Devonian-Dinantian limestone and Middle Devonian schisto-sandstone, (2) Namuro-Westphalian flysch, (3) unconformable Permian, (4) Cretaceous, (5) Hercynian fold axis, (6) Hercynian thrusts, (7) Pyrenean thrusts. I, II, III, IV: section location. Pyrenean structures are not figured.



taculaire, cette tectonique n'a pas été étudiée depuis Mirouse, en 1966 [10]; elle reste peu connue, puisqu'on n'en fait même pas mention dans la synthèse récente sur les Pyrénées hercyniennes [2]. On trouve également dans le Paléozoïque anté-Permien des plis est-ouest à plan axial vertical ou déversés vers le sud,

avec schistosité ardoisière, mais cette déformation affecte également des filons volcaniques permien intrusifs dans le Paléozoïque; on trouve une déformation comparable dans les sédiments permien discordants et même dans le Crétacé du versant espagnol. Cette deuxième phase est donc pyrénéenne.

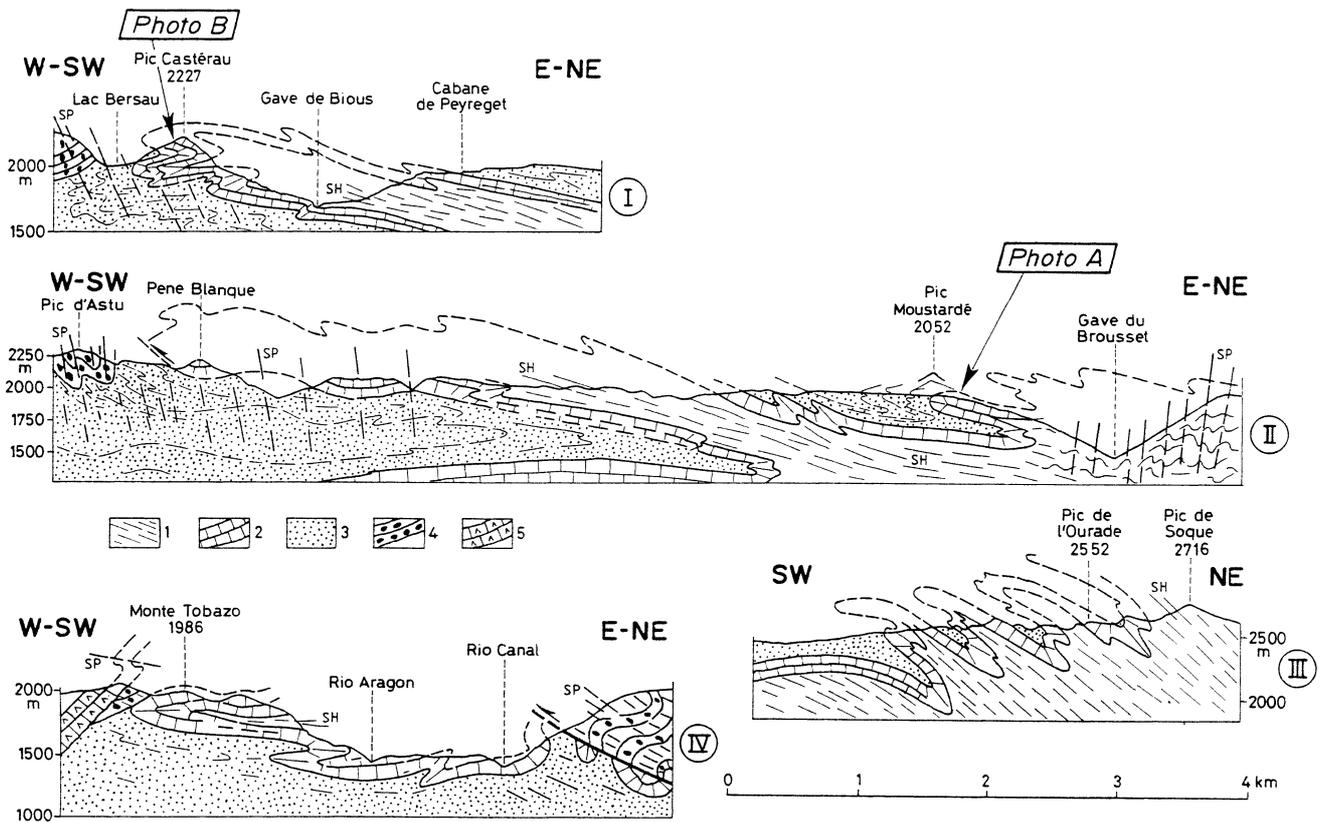


Figure 3. Coupes au travers des principaux plis couchés hercyniens, localisées par I, II, III, IV sur la carte de la Fig. 2. (1) Dévonien inférieur à moyen essentiellement schisto-gréseux, (2) Dévono-Dinantien calcaire, (3) flysch namuro-westphalien, (4) schistes, grès et conglomérats permien, (5) calcaires du Crétacé. SH : schistosité hercynienne. SP : schistosité pyrénéenne.

Figure 3. Sections through the main Hercynian recumbent folds (I, II, III, IV in Fig. 2). (1) Pelitic Lower and Middle Devonian, (2) Devono-Dinantian limestones, (3) Namuro-Westphalian flysch, (4) Permian shales, sandstones and conglomerates, (5) Cretaceous limestones. SH: Hercynian cleavage. SP: Pyrenean cleavage.

2. Cadre géologique

Entre le Crétacé des Eaux Chaudes au nord et celui du versant espagnol au sud, la zone axiale pyrénéenne paléozoïque, bien que probablement charriée largement vers le sud sur le Mésozoïque (Fig. 1), permet d'observer la tectonique hercynienne anté-permienne dans des conditions d'affleurement exceptionnelles. En particulier, la région située autour du pic du Midi d'Ossau, par ses dénivelées de plus de 1000 m, la route qui suit le gave du Brouset jusqu'au col du Pourtalet et la route du col du Somport (Fig. 2) offrent des coupes magnifiques des structures hercyniennes et pyrénéennes. La distinction de ces deux tectoniques est facilitée par la présence de sédiments permien discordants, dans lesquels on ne trouve qu'une seule déformation avec plis simples à schistosité ardoisière, déversés au sud (Figs. 4D et 5).

La série paléozoïque et la plupart des structures ont été parfaitement décrites par Mirouse dans son étude magistrale de 1966 [10]. Le Dévono-Carbonifère est constitué par un ensemble essentiellement calcaire,

comprenant le Dévonien, le Dinantien et les calcaires noirs du Namurien, surmontés par un ensemble schisto-gréseux diachrone, de type «Culm», commençant au Namurien dans la région d'Ossau et au Westphalien A plus au sud [3]. Cet ensemble est affecté par deux types de déformations :

- des plis couchés vers l'ouest à sud-ouest, à flancs inverses kilométriques et à schistosité peu développée, que l'on trouve seulement dans le Paléozoïque anté-Permien ;
- des plis droits ou déversés vers le sud, à schistosité bien développée, qui affectent également le Permien et le Crétacé.

3. La tectonique hercynienne

Les plis couchés kilométriques sont bien soulignés par l'alternance des couches compétentes et incompétentes, notamment l'ensemble calcaires griottes du Dévonien supérieur et calcaires dinantiens (100 à 250 m), encadré par les schistes et grès du Dévonien inférieur à moyen à la base et ceux du Namuro-

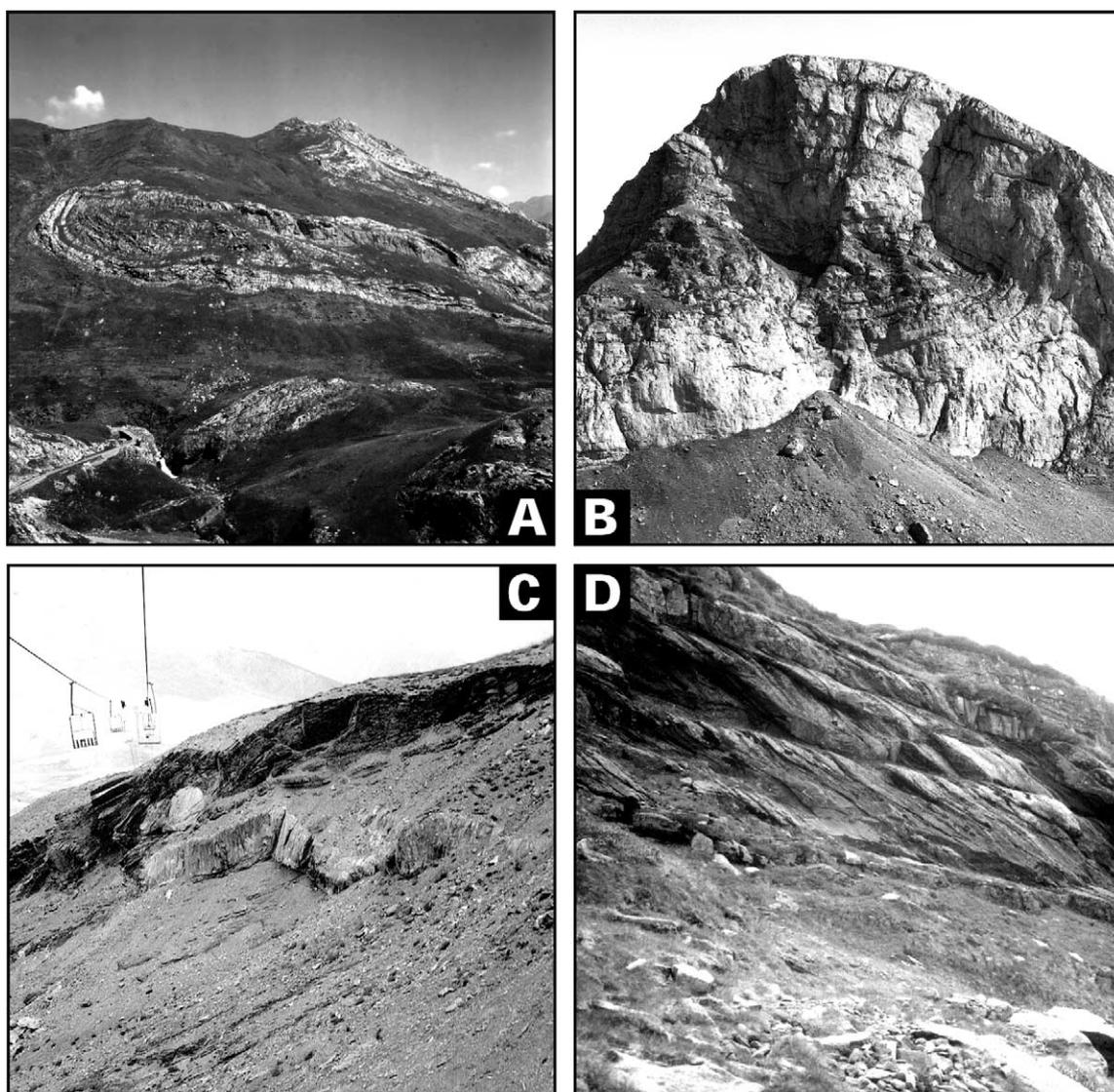


Figure 4. **A.** Plis du pic Moustardé, couchés vers l'ouest. Le flanc inverse au niveau des calcaires dinantiens fait environ 650 m. Ces plis couchés, bien visibles grâce au contact net des calcaires avec le flysch westphalien, sont sur le flanc normal d'un pli couché plus vaste, plurikilométrique, l'anticlinal d'Aneou (Fig. 3 II). **B.** Synclinal couché vers l'ouest, dans les calcaires dinantiens du pic Castérou (environ 300 m), au front de l'anticlinal couché d'Aneou (Fig. 3 I). **C.** Filon andésitique intensément plissé (plis déversés vers le sud) et schistosé. Télésiège au nord-ouest de Formigal, vallée du Rio Gallego, entre le col du Pourtalet et Sallent de Gallego. **D.** Schistosité pyrénéenne à pendage nord, dans le Permien, sous le pic d'Ayoux.

Figure 4. **A.** Moustardé folds recumbent to the west. Length of the inverted limb: 650 m. These folds are on the normal limb of a larger (Aneou) recumbent anticline (Fig. 3 II). **B.** Syncline recumbent to the west in Dinantian limestones (300 m). Frontal part of the Aneou anticline (Fig. 3 I). **C.** Strongly folded and cleaved andesitic dyke (folds overturned to the south). Ski lift west of Formigal between the Pourtalet pass and Sallent de Gallego. **D.** Pyrenean cleavage dipping north in the Pic d'Ayoux Permian sediments.

Westphalien au sommet. Le plus bel exemple est constitué par les plis couchés du pic Moustardé, que l'on voit bien sur le versant sud du gave du Brousset à flanc de montagne (1800–2000 m) depuis la route du col du Pourtalet (Figs. 3 II et 4A). Ces plis couchés montrent un fort plongement axial vers le nord à nord-ouest (20 à 40°), si bien que le fond des synclinaux (Westphalien) se retrouve à plus de 2500 m

d'altitude sur la crête entre le Pic de Soques et le pic de l'Ouradé (Fig. 3 III). Si l'on prend une direction moyenne axiale NNW–SSE, le pli couché le plus bas (Aneou), dont le flanc normal calcaire constitue la crête de Peyreget et qui se ferme par ennoyage axial des calcaires sous le flysch westphalien au niveau du lac Bersau (Fig. 3 I), présente un flanc inverse de quatre kilomètres au moins (Fig. 3 II). La

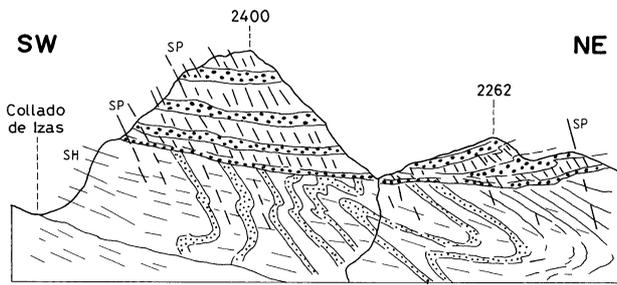


Figure 5. Discordance du Permien schistosé du Pico Anayet sur des plis couchés vers le sud-ouest dans le Westphalien (Collado de Izas, province de Huesca). Le contact discordant a légèrement rejoué lors de la tectonique pyrénéenne.

Figure 5. Unconformity between cleaved Permian sediments and folded Westphalian (folds overturned to the southwest). The boundary is slightly disturbed by Pyrenean sliding.

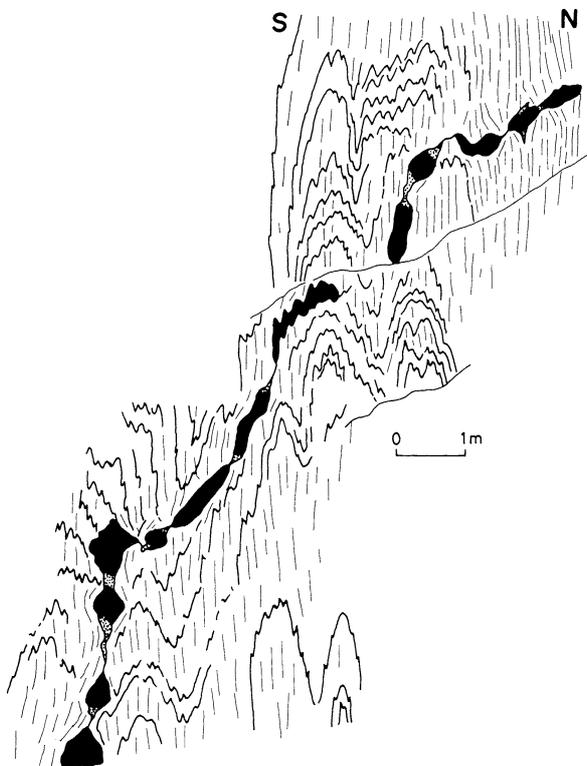


Figure 6. Filon andésitique intrusif dans le Dévonien schisto-gréseux, intensément boudiné et plissé par la déformation pyrénéenne (bord du lac de Fabrèges).

Figure 6. Andesitic dyke intruding the pelitic Devonian, strongly boudined by the Pyrenean deformation (Fabreges Lake).

structure d'ensemble est parfois compliquée par une légère discordance entre le Carbonifère et différents termes du Dévonien, et aussi par la tectonique pyrénéenne.

On trouve également des plis couchés plus au sud, dans la région de Canfranc, avec des flancs inverses kilométriques (Fig. 3 IV), où ils ont été partiellement décrits par Van der Lingen [14]. L'axe

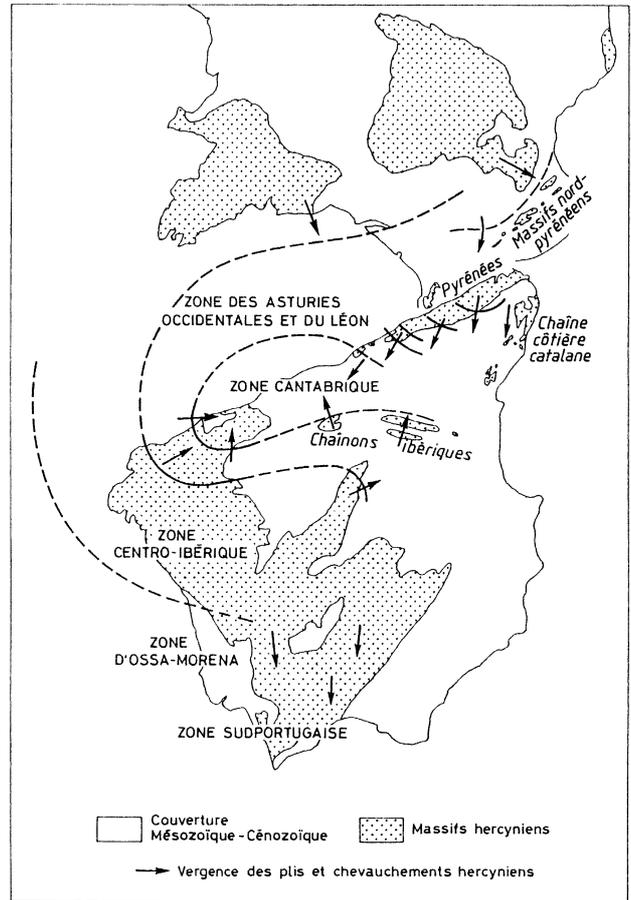


Figure 7. Place de l'Hercynien des Pyrénées occidentales dans la virgation ibéro-armoricaine et vergence des structures hercyniennes.

Figure 7. The western Pyrenees in the Ibero-Armorican virgation and the vergence of the Hercynian structures.

frontal d'un anticlinal couché vers l'ouest-sud-ouest est bien visible à l'ouest du Monte Tobazo, où il plonge d'environ 30° vers le nord-nord-ouest.

4. La tectonique pyrénéenne

C'est dans les sédiments permien que l'on peut définir le mieux la tectonique pyrénéenne. Les couches rouges sont, en effet, plissées (axes 90 à 110) et montrent une schistosité avec un pendage de 20 à 80° vers le nord (Figs. 3D et 5).

Dans le Paléozoïque anté-Permien, on peut évaluer l'intensité de la tectonique pyrénéenne grâce à la présence de filons volcaniques très probablement permien, parfois intensément plissés (Fig. 3C) ou plissés et boudinés (Fig. 6). On peut reconnaître la tectonique pyrénéenne grâce à sa géométrie en plis de direction moyenne est-ouest, avec schistosité de plan axial subverticale ou à pendage nord, qui recoupe parfois des plis couchés hercyniens. La schistosité pyrénéenne devient sub-horizontale sur le versant sud

(espagnol), avec des plis couchés vers le sud, qui affectent le Crétacé (sierra Telera). Par ailleurs, en profondeur, il est probable que tout le Paléozoïque de la région est charrié sur le Crétacé (Fig. 1), comme dans la fenêtre de Gavarnie, plus à l'est [12].

5. Conclusion

La tectonique hercynienne des Pyrénées occidentales se caractérise par de grands plis kilométriques couchés vers l'ouest à sud-ouest, soulignés par le contraste lithologique entre le Dévono-Dinantien calcaire et le Westphalien inférieur à faciès Culm. On doit noter que ces plis sont en gros perpendiculaires à la chaîne Pyrénéenne. La schistosité est fruste dans les séries grésopélitiques et souvent absente dans les masses calcaires plus compétentes. C'est à mon avis la seule phase hercynienne importante de la région, à la différence de ce qu'avancent Muller et Roger [11], qui distinguent quatre déformations hercyniennes. Cette tectonique est comparable à la tecto-

nique en nappes et plis couchés que l'on connaît plus à l'est dans les Pyrénées orientales [7], avec une vergence vers le sud-ouest [13], et en Montagne noire, avec une vergence vers le sud [1], dans des niveaux structuraux plus profonds. On observe ici la partie la plus occidentale et la plus externe de la branche nord de la virgation ibéro-armoricaine en France, qui se ferme à plus de 180° au niveau du bassin d'avantchaîne carbonifère pyrénéo-cantabrique (Fig. 7).

La deuxième phase, avec plissement serré et schistosité de flux bien développée, est de toute évidence pyrénéenne. Si elle affecte profondément le bâti hercynien, certainement charrié à la base sur le Crétacé avec un raccourcissement global important (> 50%), comme c'est le cas plus à l'est [8], elle est toujours aisément reconnaissable, car elle n'est pas homoaxiale de la seule phase hercynienne visible. On ne peut pas mettre ici clairement en évidence de phase de serrage hercynienne tardive avec schistosité et plis de direction est-ouest, comme dans les parties plus orientales de la Zone axiale pyrénéenne [6, 7].

Remerciements. Je remercie Albert Autran et Michel Faure pour leurs critiques constructives et M. Claude Hammel pour la version finale des dessins.

Références

- [1] Arthaud F., M. Mattauer, F. Proust, La structure et la microtectonique des nappes hercyniennes de la Montagne Noire, in : Colloque « Étages tectoniques », Éditions A. la Baconnière Neuchâtel, 1966, pp. 229–241.
- [2] Barnolas A., J.-C. Chiron, B. Guérangé (Eds.), Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées, Vol. 1 : Introduction, géophysique, cycle hercynien, Publication conjointe BRGM et Instituto Tecnológico, Geominero de Espana, 1996, p. 729, 10 pl. HT.
- [3] Delvolvé J.-J., P. Souquet, D. Vachard, M.-F. Perret, P. Aguirre, Caractérisation d'un bassin d'avant-pays dans le Carbonifère des Pyrénées : faciès, chronologie de la tectonique synsédimentaire, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 316 (1993) 959–966.
- [4] Dietrich D., M. Casey, A new tectonic model for the Helvetic nappes, in : X. Coward, Y. Dietrich, Z. Park (Eds.), Alpine Tectonics, Geol. Soc. Spec. Publ. 45 (1989) 48–63.
- [5] Henry J., Itinéraires d'initiation à la géologie des Pyrénées, vallée d'Ossau, Publication SNPA, 1968.
- [6] Garcia Sansegundo J., Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Aran y de la Alta Ribagorça, ITGE, Publ. esp. del Bol. Geol. y Min. 102 & 103, 1992, 167 p.
- [7] Laumonier B., A. Autran, Un chevauchement hercynien majeur dans les Pyrénées orientales : le chevauchement du Puigmal, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. Ila 332 (2001) 585–594.
- [8] Mattauer M., M. Séguret, Sur le style des déformations tertiaires de la zone axiale hercynienne des Pyrénées, C. R. somm. Soc. géol. France 1 (1966) 10–12.
- [9] Matte P., La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne), Géologie Alpine 44 (1968) 5–127.
- [10] Mirouse R., Recherches géologiques dans la partie occidentale de la zone primaire axiale des Pyrénées. Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France, Imprimerie nationale, Paris, 1966, 451 p., 16 pl., 3 cartes HT.
- [11] Muller J., P. Roger, L'évolution structurale des Pyrénées (Domaine central et occidental), Géologie Alpine 53 (1977) 149–191.
- [12] Séguret M., Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Publications de l'université des sciences et techniques du Languedoc, série Géol. Struct. n° 2, 1972, 157 p., 12 pl., 5 cartes HT.
- [13] Soliva J., J.-F. Salel, M. Brunel, Shear deformation and emplacement of the gneissic Canigou thrust nappe (Eastern Pyrénées), Geol. Mijnbouw 68 (1989) 357–366.
- [14] Van der Lingen G.J., Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca Province, Estud. Geol. (CSIC, España) XVI (1960) 206–241.