

Structure orogénique du versant Méridional des Pyrénées orientales et centrales (*)

par

MARCEL CHEVALIER

Il y a plus de 50 ans déjà que le maître Elie de BEAUMONT, le premier, reconnut l'aspect général de la structure pyrénéenne, formée d'un axe cristallin central, bordé de chaque côté par une série de plis formés successivement de terrains primaires, puis secondaires et enfin tertiaires. Par la suite, compliquée comme a plaisir par certains auteurs qui y adjoignaient de nombreuses nappes de charriages, empilées les unes sur les autres, à l'image des Alpes, cette structure assez simple reconnue par le maître disparu, semble bien cependant correspondre aux résultats fournis par les études récentes qui reposent maintenant sur des bases topographiques et stratigraphiques plus précises. Il n'en est pas moins vrai que les opinions des géologues diffèrent encore notablement quand il s'agit d'expliquer toute cette structure orogénique et tectonique de la chaîne pyrénéenne.

Il nous a paru que nos longues années de courses répétées à travers les Pyrénées centrales et orientales pouvaient nous permettre aussi d'esquisser, *sous une forme personnelle*, de quelle façon cette structure orogénique et tectonique nous est apparue au cours d'innombrables observations géologiques et topographiques de précision dont beaucoup restent encore inédites.

Nous nous efforcerons donc au cours des lignes qui vont suivre d'exposer de quelle manière les mouvements de l'écorce terrestre ont donné naissance à une chaîne montagneuse dont l'histoire est longue à travers les âges, et dont la complication n'est pourtant pas aussi grande que certains ont voulu le penser.

Reconstituées par la stratigraphie et la paléontologie, au cours de l'ère paléozoïque, et pendant les ères secondaire et tertiaire, les origines et l'histoire des Pyrénées permettent en effet de s'expliquer bien

* Cette étude forme pour ainsi dire le complément de celle publiée par nous en 1932; voir «Buletin de la Inst. Cat. d'Hist. Nat.», vol. XXXII n.º 4.

des aspects de la chaîne actuelle, qui avaient longtemps paru inexplicables tant qu'on en ignora la structure exacte.

* * *

Pour comprendre la structure orogénique et tectonique des Pyrénées, il est nécessaire de connaître de quelle manière les mouvements hercyniens s'y déroulèrent et comment ils donnèrent lieu à la première chaîne pyrénéenne d'âge paléozoïque, disparue presque totalement aujourd'hui.

Jusqu'au milieu du Dinantien, les dépôts qui se font dans le géosynclinal pyrénéen, situé entre le massif central français et la méséta Ibérique, sont des dépôts marins d'eau relativement profonde. Mais à partir du Dinantien moyen, on s'aperçoit que dans ces dépôts marins, déjà apparaissent des débris de végétaux terrestres et des fragments rocheux qui indiquent des sédiments littoraux ou insulaires (vallées du haut Sègre par ex).

Déjà des ondulations sous-marines se produisent annonçant le début, des mouvements qui pendant tout le Wesphalien vont donner naissance à la chaîne primaire. Les plissements de cette chaîne sont franchement orientés en direction armoricaine NO-SE et se continuent jusque dans les Cornouailles bretonnes du Morbihan et du Finistère, en traversant le Sud-Ouest de la France.

Les mouvements hercyniens des Pyrénées paraissent terminés avec le Stéphanien. Ils ont donné naissance à une haute chaîne de montagnes dont les ondulations, crêtes anticlinales et vallées synclinales sont marquées par des plis-failles jalonnés de massifs granitiques, tout comme on peut l'observer en Armorique.

Les dépôts houillers du Wesphalien des Pyrénées sont très rares, quelques débris de végétaux et encore leur âge est-il douteux et doit-on plutôt les comprendre parmi les dépôts stéphaniens qui eux, marquent nettement les dépôts houillers du carbonifère pyrénéen. Ces dépôts houillers qui se sont fait dans des petits bassins d'importance toute relative, sont orientés dans le même sens armoricain NO-SE que les bassins houillers de la Vendée et des Cornouailles françaises. Ce n'est que plus tard, au cours des mouvements orogéniques du début du tertiaire, que les sédiments paléozoïques ont été remis en mouvement et remaniés, et que les bassins houillers ont été modifiés dans leur orientation primitive, tout comme du reste les traînées granitiques qui jalonnaient les plissements hercyniens. Nous avons exposé ces faits dans des publications antérieures. (*)

* «Ciència» (Barcelona), n.º 21 (Octobre 1928) et n.º 27 (Janvier 1929). Géologie de la Méditerranée occidentale. Volume II. N.º 3 (partie I).

Les mouvements pyrénéens signalés pendant le Permien et le début du Trias sont encore douteux. Nous estimons pour notre part que pendant le Permo-Trias, les Pyrénées hercyniennes n'ont subi que de faibles oscillations épirogéniques. Par contra elles ont été en but à une destruction intense sous l'action dévastatrice des eaux courantes, violentes et momentanées, et aussi sous l'action de la sécheresse, de l'insolation et des vents qui se sont attaqué aux flancs des montagnes et auxquels on doit une partie des dépôts gréseux et conglomératiques si colorés du Permo-Trias pyrénéen. Les rides hercyniennes armoricaines des Pyrénées se sont développé et déroulé dans les montagnes du Levant de Catalogne sous forme de montagnes plissées suivant un mécanisme semblable, mais formant cette fois une branche collatérale orientée suivant la direction varisque NE-SO. Les montagnes du Levant, continuées jusque dans les montagnes des Maures et de l'Esterel en Provence, formaient une sorte de bordure à un ancien continent Baléaro-Catalan aujourd'hui disparu. Par contre, les Pyrénées hercyniennes armoricaines s'affaissent vers l'O. sous la mer carbonifère qui de l'O. et du golfe de Gascogne, vient lécher les rivages hercyniens vers le pic d'Anie.

Ce dernier marque à peu près la limite des rivages pyrénéens hercyniens dans l'O. Vers le milieu du Trias subsiste une épaisse masse montagneuse pyrénéenne, en grande partie désagrégée par l'action des agents atmosphériques et vers laquelle s'avance la mer du Muschelkalk qui vient du S. Cette masse montagneuse arasée, est profondément enracinée dans le sous-sol paléozoïque et va former l'énorme môle cristallin paléozoïque dont nous parlons d'autre part et dont l'influence sera si grande au cours des mouvements orogéniques du début du Tertiaire. C'est contre sa masse puissante que viendront déferler et se briser les vagues orogéniques tertiaires venues du SO et du SE sous l'actions des poussées tangentielles dues aux pressions de la méséta Ibérique et du continent Baléaro-Catalano-Corso-Sarde.

Cette structure du bloc pyrénéen hercynien armoricain dans son orientation orogénique NO-SE, et ses relations avec le bloc hercynien des Cornouailles de la Bretagne, n'est pas toujours acceptée par certains géologues trop souvent restés attachés aux anciennes conceptions structurales qui définissent les Pyrénées comme une chaîne tertiaire formée d'un axe central cristallin et primaire orienté O-E. Nos recherches à travers les Pyrénées centrales et orientales nous ont montré que cette structure armoricaine se retrouve dans beaucoup d'endroits; souvent les plissements d'âge pyrénéen viennent coiffer les plissements d'âge hercynien, orientés d'une toute autre façon. Nous l'avons signalé

il y a plusieurs années déjà et principalement dans les basses vallées du Valira (Andorra).

Pendant l'ère secondaire, au cours de laquelle se déroule un calme orogénique relatif, la masse hercynienne pyrénéenne arasée, subit cependant des oscillations épirogéniques qui déterminent les lacunes stratigraphiques dans les sédiments, marins surtout, qu'on observe à ses pieds. Cette masse pyrénéenne hercynienne forme une sorte de vaste terre basse et ondulée, une véritable *pénéplaine* qui s'étend tantôt sous forme d'île, tantôt sous forme de presqu'île dans l'O du continent Baléaro-Catalan.

Elle est bordée au N par la mer du Languedoc et d'Aquitaine, au S par la mer de Catalogne et d'Aragon. L'extrême pointe de cette terre secondaire ne dépasse guère dans l'O les Pyrénées centrales actuelles (Vignemale, Pic du Midi). La mer semble occuper pendant une grande partie du Jurassique, le Crétacé et l'Eonummulitique, les régions aujourd'hui occupées par le S de l'Aquitaine, les Pyrénées occidentales, le bassin de l'Èbre et le Sud du synclinal de la Catalogne centrale. (Voir «Butlletí Inst. Cat. Hist. Nat., tomo XXXII, n.º 4).

Pourtant dans la profondeur des sédiments paléozoïques et secondaires, des mouvements orogéniques s'esquissent déjà, auxquels sont dûs les mouvements épirogéniques de surface. Déjà débute la formation d'une nouvelle chaîne de montagnes dont l'orientation sera très différente de la chaîne hercynienne. Cette première esquisse tectonique des Pyrénées tertiaires est connue sous le nom de *paroxysme antécénomaniens*. Les mouvements orogéniques de profondeur ont donné naissance en surface à des mouvements épirogéniques assez sensibles pour déterminer des discordances, même entre divers sédiments crétacés de la bordure méridionale pyrénéenne.

Dès la fin du Crétacé un nouveau mouvement orogénique se produit encore qui amène le soulèvement en masse du bloc pyrénéen hercynien, soulèvement attesté par les dépôts lacustres et conglomératiques du Danien supérieur, aussi et surtout par les énormes dépôts lacustres et fluviaux de l'Eonummulitique, de couleur si caractéristique et dans lesquels on trouve souvent le *Bulimus Gerundensis* et la *Paludina aspera*.

Ces mouvements orogéniques pyrénéens qui pour la seconde fois accentuent la formation de la nouvelle chaîne, sont connus sous le nom de *paroxysme antélutétien*. Ils se sont produits aussi surtout dans la profondeur, donnant naissance à des plis-failles, synclinaux, anticlinaux, souvent très accentués. À la surface ils ne sont guère marqués encore que par de nouveaux mouvements épirogéniques auxquels on doit aussi les discordances qui séparent l'Eonummulitique du mesonummulitique.

Ce sont à ces mouvements épirogéniques positifs qu'on doit aussi le début du creusement par les eaux courantes des grandes vallées pyrénéennes orientées N-S qui pendant tout le mésonummulitique déverseront dans la mer centrale de Catalogne la masse de leurs alluvions arrachées aux montagnes. Ces alluvions forment actuellement les sierras poudinguiformes de la Pobla de Segur, Oliana, Ripoll, etc.

Un troisième paroxysme viendra bientôt après le mésonummulitique, terminer la construction de la chaîne des Pyrénées tertiaires, en soulevant dans les airs les sédiments déposés au fond des mers. Ce dernier paroxysme, (*paroxysme post-ludien*) qui donnera la structure définitive aux Pyrénées actuelles, bien qu'ayant débuté dans la profondeur, a surtout été un mouvement ayant affecté l'ensemble des sédiments de couverture du début du tertiaire. Il était déjà terminé à l'Oligocène inférieur. Il ne semble pas que depuis, des mouvements orogéniques puissants aient affecté l'ensemble de la chaîne. Cette dernière a surtout subi des mouvements épirogéniques dont ceux, positifs, ont renouvelé la puissance destructrice des eaux courantes à la surface des montagnes, accentuant le creusement des vallées et la destruction des versants.

* * *

Au cours des lignes qui précèdent, nous nous sommes efforcé d'exposer en un résumé synthétique l'ensemble des mouvements orogéniques qui ont donné lieu à la formation des Pyrénées actuelles.

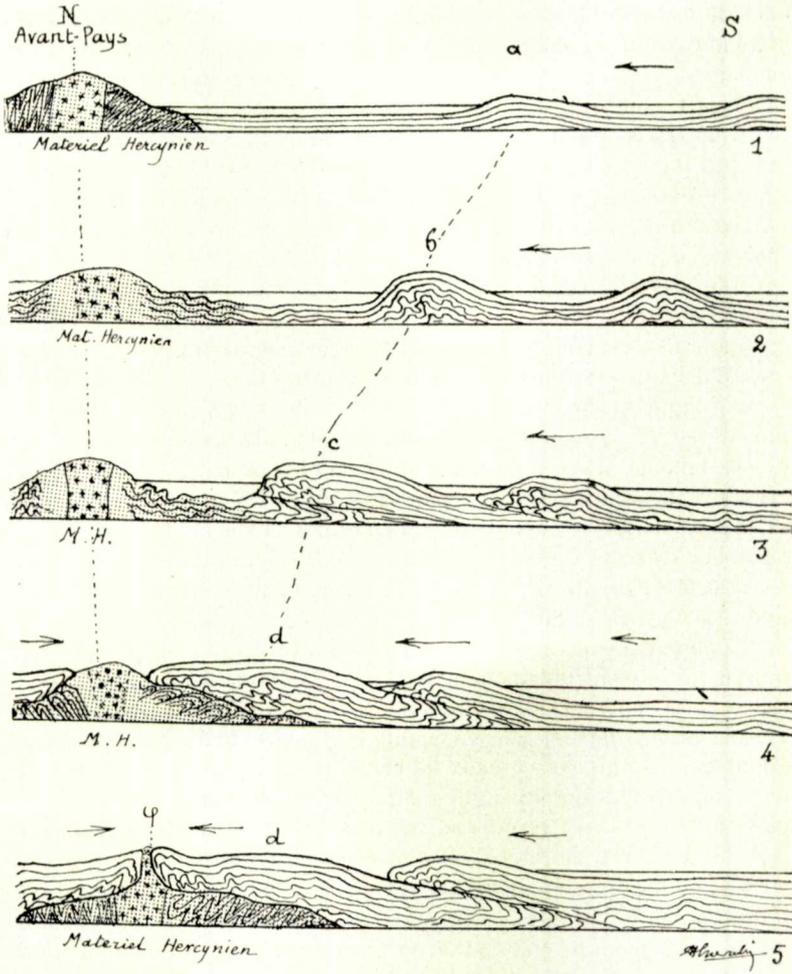
Avant d'exposer plus particulièrement le détail orogénique du versant méridional des Pyrénées centrales et orientales, il nous paraît intéressant de rappeler sommairement certaines notions générales de la tectonique terrestre qui aideront à comprendre les complications de la tectonique particulière aux Pyrénées, telle que nous la concevons.

Nous ferons également précéder l'étude particulière des Pyrénées orientales et centrales d'un aperçu d'ensemble structural et orogénique de toute la chaîne.

* * *

Une onde ou vague orogénique est produite par un mouvement ondulatoire de translation qui se propage indifféremment dans tous les terrains sous la poussée de pressions venues d'une même direction. La vague orogénique se propage dans les terrains de la même façon qu'une onde ou vague océanique se propage dans la mer.

La vague orogénique affecte donc des sédiments le plus souvent hétérogènes, plus ou moins plastiques, suivant le degré de chaleur auxquels ils sont portés. On doit donc penser que suivant la nature des



Diagrammes schématiques montrant la formation et la marche en avant des vagues orogéniques tertiaires, s'avançant du S vers le N sur l'avant pays pyrénéen hercynien = 1, 2, 3, 4 dans les Pyrénées orientales et centrales; 5 dans les Pyrénées occidentales.

M. H. = Materiel Hercynien avec granite paleozoique.
 φ = granite eruptif tertiaire.
 a, b, c, d = developpement successif d'une onde orogénique.

roches, schistes plus plastiques, calcaires plus résistants, roches cristallines ou métamorphisées, le résultat d'une poussée tangentielle a des effets différents et donne lieu à des torsions, à des schistosités, des laminages qui varient souvent d'une façon considérable dans des couches très voisines et soumises aux mêmes pressions.

D'autre part, on doit savoir aussi qu'une onde ou vague orogénique n'est pas toujours formée par un seul pli, mais souvent par un ensemble de plis pressés les uns contre les autres, plus ou moins parallèles entre eux, avec anticlinaux et synclinaux qui s'avancent ensemble sous l'effort d'une même poussée tangentielle. (Voir le schéma).

Une vague orogénique n'est donc pas toujours constituée à la surface, et dans son ensemble, par un même terrain. Il y a des vagues qui apparaissent dans un terrain paléozoïque et qui se propagent ensuite dans des terrains secondaires ou tertiaires.

La vague orogénique, dans son ensemble, a également tendance à se déverser sur la vague qui la précède et l'un de ses flancs peut s'étirer, se laminer jusqu'à devenir un véritable pli-faille. C'est que la vitesse de translation, comme dans les vagues océaniques, s'épuise au fur et à mesure du chemin parcouru et des obstacles rencontrés. La vague qui vient derrière, animée d'un mouvement plus intense, glisse et s'avance sur le dos de la vague qui la précède, constituant un véritable charriage avec faille et plan de glissement.

Comme dans la vague océanique aussi, la vague orogénique rencontrant des obstacles sur son passage, vient s'y briser, après avoir essayé de les contourner, ce qui l'oblige souvent dans son mouvement de translation, qui est perpendiculaire au sens de la poussée, à se dédoubler, à se diviser en deux ou même trois vagues de second ordre, moins importantes que la vague unique originelle, mais donnant lieu à des virgations où se retrouvent des anticlinaux et des synclinaux de 2.^e et de 3.^e ordre qui font suite à une ondulation primitive.

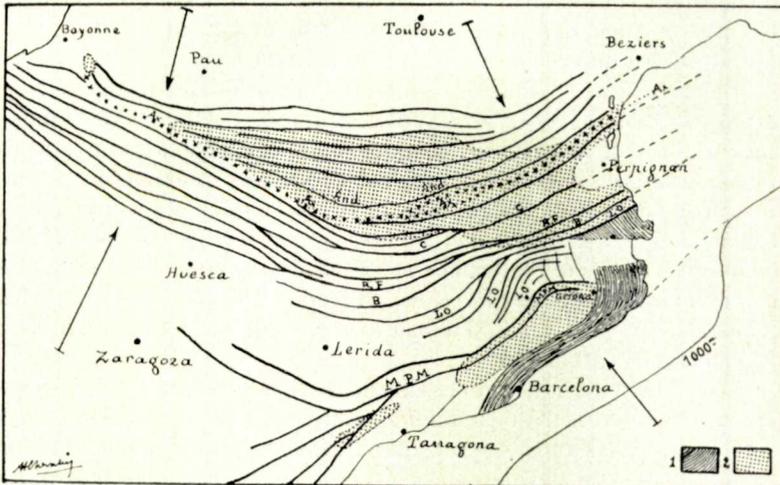
Les ondes orogéniques subissent aussi un autre mouvement général qui en modifie la forme. Chaque vague, dans le sens longitudinal de son mouvement de translation en avant, ondule doucement donnant lieu à des surélévations ou à des affaissements qui peuvent affecter l'ensemble des plis qui se développent parallèlement entre eux sous l'effort de pressions continues et de même direction. Les affaissements correspondent à ce que l'on appelle des *ennoyages*, en opposition aux *surélévations*, d'un ensemble de plis ou plus rarement à un pli isolé. Le plissement hercynien de Catalogne qui se déroule sans interruption en ondulations parallèles depuis les Albères jusqu'aux montagnes du Levant (Montseny et chaînes littorales) nous montre que les Albères,

du col de Perthus aux sierras de Rosas forment un ensemble de plis surélevés tout comme les Monts de Bagur et les Monts Gavarras. Au contraire, un affaissement ondulatoire, un ennoyage de plis s'étend sous l'Ampurdan et la mer, des sierras de Rosas aux Monts de Bagur et Gavarras, en passant sous le massif de Santa Catalina de Montgri.

Un bel exemple de pli anticlinal qui s'est dédoublé en virgation vers le SO nous est fourni par le Canigou dont l'axe principal se poursuit directement dans le Puigmal, le Puig d'Alp et la crête paléozoïque qui domine la vallée du Sègre, rive gauche, jusqu'à la Seo de Urgel. Au puig d'Alp, le pli du Canigou bifurque vers le SO en deux, puis trois ondulations de deuxième ordre. Le pli principal, comme ceux de second ordre, montrent à leurs pieds un pli-faille profond. (La vallée de la Têt au pied du pli principal).

* * *

Les mouvements orogéniques auxquels on doit la formation des Pyrénées tertiaires et que nous avons signalé sous le nom de paroxys-



SCHEMA DES VAGUES OROGENIQUES AYANT DONNE NAISSANCE AUX PYRENEES TERTIAIRES

1. Matériel hercynien remanié.
2. Matériel hercynien non remanié par les mouvements tertiaires.

Les fleches marquent les sens des poussées orogéniques.

And = Vagues d'Andorre, généralement formées de matériel hercynien et deversées vers le Sud. — Ax = Axe orogénique des Pyrénées Méridionales. — C = Vagues du Canigou-Cadi-Mont Perdu. — RF = Vagues du Roc de France, Montsec, Guara. — B = Vagues de Bassagoda. — LO = Vagues de Llusanés, Olot, Catalogne centrale. — MPM = Vagues de Montseny, La Puda, Montsant.

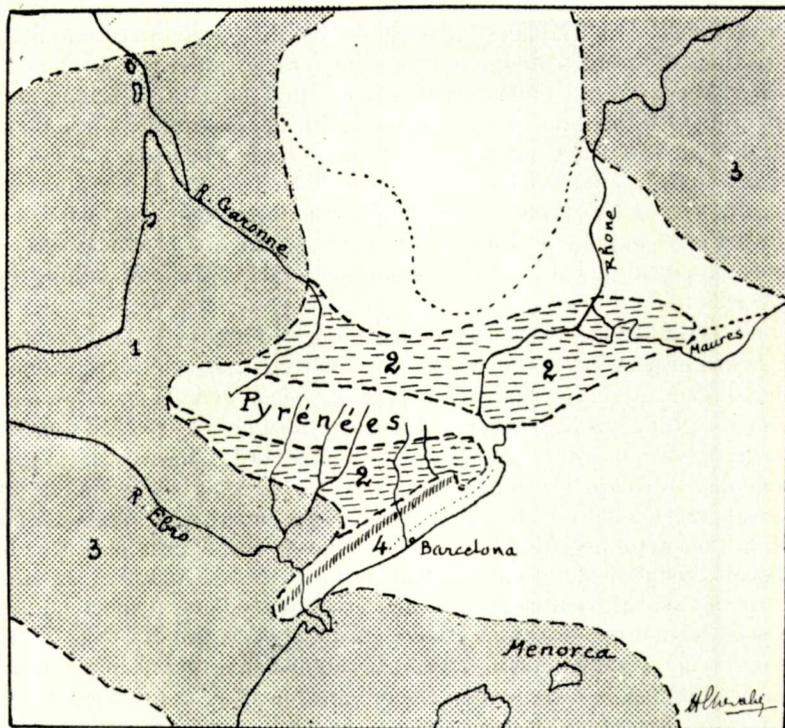
mes antécénomaniens, antélutétien et postludien, ont donné naissance à toute une série de vagues orogéniques qui se sont développées du S vers le N et se sont venues se jeter sur le môle paléozoïque représentant les restes des Pyrénées hercyniennes. Ces vagues sont venues de deux directions différentes. 1) Du SO vers le NE sous l'impulsion de poussées tangentielles dûes aux pressions exercées par la méseta Ibérique. 2) Du SE vers le NO sous l'impulsion de pressions exercées par le continent Baléaro-Catalan.

Le môle hercynien a formé un véritable mur d'arrêt qui a joué aussi, le rôle d'avant-pays sur lequel les vagues orogéniques sont venues se briser et donner naissance aux ondulations secondaires et tertiaires qui bordent actuellement le versant méridional de l'axe paléozoïque et cristallin des Pyrénées centrales et orientales.

Nous avons dit déjà que les paroxysmes antécénomaniens et antélutétien ont été principalement des mouvements de profondeur qui ont remis en mouvement les anciens plis hercyniens et en ont modifié souvent l'orientation. Les sédiments, dans la profondeur du sous-sol, redevenus pâteux sous l'action de la chaleur et de la pression, ont ondulé à nouveau, donnant naissance à des plis anticlinaux, synclinaux, plis-failles orientés différemment des plis primitifs.

Le paroxysme postludien a affecté surtout les sédiments de couverture, secondaires et tertiaires. Il était terminé au début de l'Oligocène. C'est à ce paroxysme postludien principalement qu'on doit la grande structure générale tectonique des Pyrénées orientales et centrales et aussi du centre catalan. Mais la structure générale tectonique et orogénique qu'il a déterminé, lui a été imposée par le paroxysme antélutétien qui a été réellement le grand ordonnateur de la structure du versant méridional des Pyrénées. Il a déterminé la direction des plis secondaires qui sont venus se mouler sur le môle hercynien armoricain des montagnes carbonifères.

Dans l'histoire des Pyrénées tertiaires, ces deux mouvements orogéniques antélutétien et postludien sont venus se superposer l'un à l'autre et nous devons les considérer comme liés ensemble et non comme séparés par des périodes de repos absolu. Ce sont deux paroxysmes qui se sont produits au cours de grands mouvements généraux d'oscillations ininterrompues et dont le paroxysme antécénomaniens n'a été qu'un épisode précurseur de ceux qui devaient commencer à se produire à la fin du Danien et durer même jusqu'au delà du Miocène ainsi que nous le verrons d'autre part. C'est un de ces mouvements généraux négatif qui, entre les paroxysmes antélutétien et postludien, a permis l'arrivée de la mer mésonummulitique dans le synclinal de la



CATALOGNE PENDANT LE DANINIEN-EONUMMULITIQUE

1 Golfe aturien à facies profond. — 2 dépôts lagunaires (Danien); dépôts lacustres et continentaux (Danien supérieur, eonummulitique) — 3 Mer du Danien-eonummulitique. — 4 esquisse des rides tertiaires du Levant.

Catalogne centrale. C'en est un autre, cette fois positif qui a déterminé postérieurement le départ de cette même mer et l'assèchement consécutif du Synclinal.

* * *

Quand sur une carte précise et à grande échelle on examine l'aspect général de la structure géologique des Pyrénées, puis l'ensemble général de la structure topographique, on constate non seulement les relations étroites entre les deux structures, mais encore un fait qui contredit l'opinion jusqu'ici généralement admise qui veut voir dans l'ensemble des Pyrénées actuelles, une chaîne de montagnes dont l'axe est orienté assez exactement O-E. Le croquis schématique qui accompagne notre travail, montrera au contraire qu'il n'en est pas

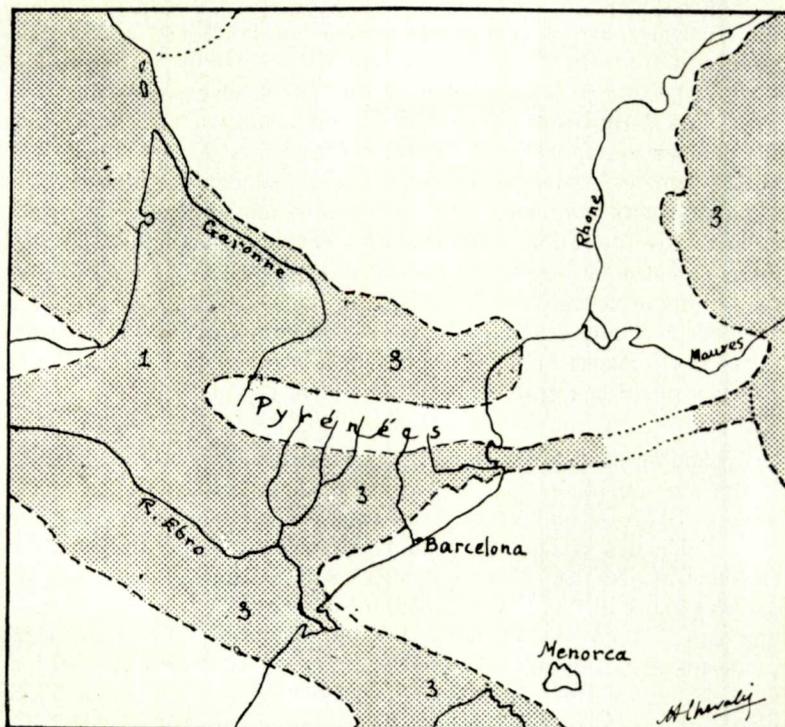
du tout ainsi. Les Pyrénées, dans l'ensemble de leur axe, suivent deux directions différentes et qui convergent vers le milieu de la chaîne. Les Pyrénées occidentales, après avoir suivi un certain temps une direction O-E, non loin des côtes du Golfe de Gascogne, s'orientent résolument vers le SE jusque vers le massif de la Maladetta. A partir de cet endroit, elles semblent suivre une sorte de courbe qui remonte ensuite vers le NE, dans les Pyrénées orientales, pour rejoindre les Corbières et le golfe de Lion. Toute cette partie des Pyrénées orientales qui constitue les Pyrénées catalanes, sera étudiée avec détails un peu plus loin.

L'ensemble de plissements orogéniques d'origine tertiaire (anté-lutéliens et post-ludiens) et aussi l'ensemble des crêtes topographiques qui constituent l'orographie actuelle de la chaîne pyrénéenne, forment donc un grand arc de cercle à concavité dirigée vers le N et dont la corde a bien une direction assez nettement O-E, mais qui n'est pas celle des ondulations primaires ni celle des ondulations tertiaires du versant méridional. D'autre part, on constate encore que, dans le fond de la concavité décrite, viennent justement s'appuyer le plus grands massifs cristallins de granites. (Maladetta, Peguera, Andorre), soudés entre eux par des sédiments devenus cristallins, d'âge paléozoïque et plissés suivant une direction généralement armoricaine NO-SE. C'est qu'en réalité, cette masse cristalline hercynienne représente, nous l'avons vu déjà, le reste profondément enraciné dans la lithosphère, le *socle* des anciennes pyrénées hercyniennes à direction armoricaine, qui ont été rabotées et arasées par l'action des eaux courantes. Sur ce socle qui forme une sorte de grand môle résistant dont nous avons déjà parlé, sont venues se briser les vagues orogéniques tertiaires, arrivées du S mais de deux directions différentes déjà signalées plus haut. Le môle hercynien a résisté à ces vagues venues se briser sur ses bords et a répondu aux chocs, aux poussées par des contrepoussées qui se sont manifesté en direction contraire, c. a. d. du N vers le S. Les vagues orogéniques venues du S et en marche vers le N ont été refoulées vers le S. Ces deux sens contraires de poussées exercées sur les vagues orogéniques sédimentaires nous expliquent parfaitement pourquoi dans les Pyrénées du versant Méridional, les ondulations tectoniques se montrent sous forme de plis tantôt déversés vers le N tantôt vers le S suivant l'intensité prépondérante des poussées exercées. Les obstacles rencontrés par les vagues orogéniques, dans leurs mouvements de translation, en ont également modifié plus ou moins la direction.

Les lignes de crêtes, dans l'alignement de leurs sommets conser-

vent cette forme de concavité faisant face au N telle que nous l'indiquons plus haut, pour l'orientation des vallées et des plissements surtout secondaires et tertiaires, qui correspondent aux lignes de crêtes et aux fossés des vallées. C'est par exemple dans la partie centrale pyrénéenne (et malgré les massifs cristallins hercyniens qui eux aussi ont dû subir les efforts orogéniques tertiaires) une série de plissements jalonnés par une ligne de grands pics tels que les Posets, Aneto, Maladetta, Comoloforno, Peguera, Turo de Salorie, Tossa Plana, Campcardós et Carlitte.

C'est plus au S aussi, une grande ligne de sommets très élevés qui court du pic d'Orhy à l'O jusqu'au Canigou à l'E en passant par les pics d'Anie, du Midi d'Ossau, Mont Perdu, Cotiella, Turbon, Sant Gervasi, Boumort, Canal Baridiana (Cadi), Puig d'Alp et Puigmal. Cette ligne élevée correspond à un ensemble de vagues orogéniques



CATALOGNE ET LES PYRENEES PENDANT LE MESONUMMULTIQUE

1. Golfe aturien. — 3. La mer pendant son maximum d'extension (Lutétien).

qui se sépare nettement de celui plus au N indiqué ci-dessus et d'autres ensembles situés plus au S. Chaque ensemble de vagues orogéniques semble correspondre à des ondes successives pourrait-on dire, poussées vers le N sous les efforts renouvelés, et successifs des pressions tangentielles venues du S.

L'ensemble de la ride du Roc de France, Port del Compte, Montsec, Guara correspondrait à une 3.^e série de vagues, un peu plus récentes que les deux précédentes et aussi moins marquées à cause de l'affaiblissement progressif des poussées venues du S tout comme les ondes de la Catalogne centrale seraient en réalité une 4.^e série de vagues très atténuées et encore plus récentes (Oligocène moyen). En résumé, nous estimons donc avec O. MENGEL que le Canigou et la Maladetta peuvent être considérés comme les pôles du noyau primitif des Pyrénées. Ce noyau primitif est bien l'axe autour duquel, au cours des temps géologiques, la chaîne a évolué, et ce noyau primitif ou môle résistant est le reste d'une partie de la chaîne hercynienne arasée et détruite sur laquelle sont venues se briser les vagues orogéniques venues du S. sous la poussée des terres hispaniques du SO et du SE. Les Pyrénées du versant méridional sont donc bien formées de deux chaînes juxtaposées. Les Pyrénées tertiaires se sont moulées et soudées sur les restes de la vieille chaîne paléozoïque modelée par les mouvements hercyniens du Carbonifère moyen. Les anciens plis de fond, de direction armoricaine, redevenus plastiques, ont été profondément modifiés par les nouvelles pressions orogéniques et ont pris l'orientation nouvelle qui leur fut imposée par ces pressions venues du S. Cette orientation nouvelle, répétons-le encore, n'est pas dirigée E-O, comme on le dit le plus souvent, mais bien NO-SE, puis SO-NE formant une grande concavité faisant face au N.

* * *

Quand on examine l'ensemble des formidables poussées tertiaires qui ont été effectuées par le bloc continental Baléaro-Catalan, en direction SE-NO, on voit que ces poussées sont marquées par une série d'éléments tectoniques dont l'orientation générale, toujours nettement SO-NE, se retrouve depuis les Baléares jusqu'au delà des Pyrénées dans le Nord. C'est d'abord l'orientation des chaînes montagneuses secondaires et tertiaires des Baléares. Puis c'est cette grande fosse sous-marine si nette, limitée par la courbe des profondeurs de mille mètres, située entre les Baléares et la Côte de Catalogne, et qui correspond à un synclinal d'âge post-eocène. Ce synclinal sous-marin a joué un rôle important dans la formation des rivages catalans, comme on le verra plus loin.

Vient ensuite l'orientation NE-SO des rivages de Catalogne dont la direction a été déterminée par l'affaissement de l'anticlinal hercynien marqué par les chaînes du littoral. (Costa Brava et Costa del Llevant). C'est aussi la direction parallèle des rides du Montseny, qui se prolongent jusqu'aux rives de l'Ebro et qui correspondent à un ensemble anticlinal d'origine hercynienne complété et dédoublé au cours des mouvements tertiaires et dont l'axe principal est marqué par des lambeaux granitiques, tout comme dans l'anticlinal littoral (Falset).

L'axe tectonique de la Catalogne centrale, qui marque le centre de l'ancien synclinal secondaire et tertiaire conserve aussi cette même orientation NE-SO. Quand on arrive sur le bord NO de ce synclinal central catalan, où les sierras marquent les premières ondulations prépyrénéennes, et dont la hauteur s'élève de plus en plus à mesure que l'on s'approche de l'axe cristallin pyrénéen, on constate de nouveau d'une façon très nette, l'orientation NE-SO des grands plis de matériel tertiaire, secondaire et primaire, grands plis qui correspondent aux vagues orogéniques poussées du SE vers le NO et qui se déroulent successivement jusque vers le môle cristallin résistant des anciennes Pyrénées hercyniennes. Les axes anticlinaux tout comme les axes synclinaux des ondulations orogéniques, poussés du SE vers le NO conservent dans leur mouvement de translation vers le N leur orientation générale NE-SO, marquée topographiquement par les crêtes montagneuses et les vallées secondaires profondes, dues souvent à des plis-faïlles. (Rappelons en passant que les grandes vallées pyrénéennes orientées NS jusqu'à la dépression centrale sont beaucoup plus anciennes et ont une autre origine). Nous citerons parmi ces grands accidents topotectoniques, les fosses profondes des grandes vallées, telles que:

1. La vallée du Ter entre Ripoll et Sant Joan de les Abadesses, continuée elle-même par celle d'Oix au N de Castellfollit.
2. Les vallées du Rigart et du Sagadell, continuées par celle du Ter à Camprodon et celle du Tech jusqu'à Céret.
3. Enfin et surtout la grande vallée du Sègre, prolongée à l'O par celle de Novès et dans l'E par le fossé profond qui s'étend de la Seo de Urgel à Bellver. De ce village le même fossé se continue dans la Cerdagne effondrée, puis dans le col de la Perche surbaissé, pour atteindre la vallée de la Têt jusqu'à Millas.

Parmi les crêtes topo-tectoniques, nous citerons d'abord la crête paléozoïque du Roc de France qui s'étend du pic de Salines à la Sierra Caballera et aux montagnes du N de la Pobla de Lillet. Cette crête

se continue même jusqu'aux montagnes du Port de Compte et du Montsec de Rubie et d'Ares.

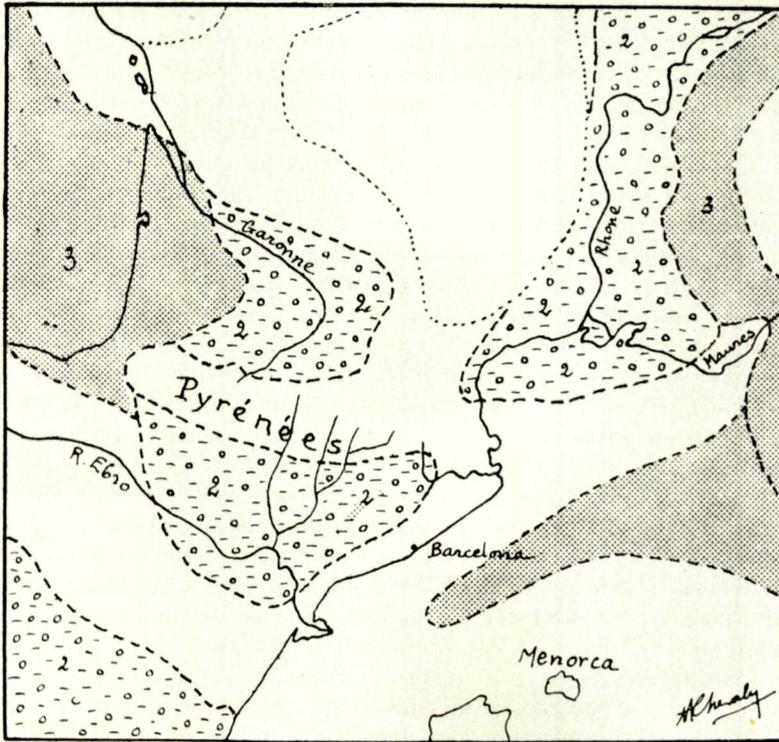
Nous citerons aussi la crête paléozoïque du Canigou qui s'étend depuis ce pic jusqu'aux montagnes de Novès en passant par le Puigmal, le Puig d'Alp et la grande crête paléozoïque surbaissée qui domine le cours du Sègre, de la Cerdagne à la Seo de Urgel (Pics de Montellà et d'Ortedo). Jusque dans la zone centrale pyrénéenne et même dans les massifs cristallins, on retrouve cette même orientation des vagues orogéniques des deux mouvements tertiaires superposés. En Andorre ces grandes ondulations courent en direction SO-NE sous la forme de grands plis-failles imbriqués et déjetés vers le S. Le pli-faille de Mérens en est un des accidents tectoniques connu depuis longtemps. Le pli synclinal gothlandien qui traverse l'Andorre en passant par le col de Montaner, le col de Vexalis et le col des cortals d'Encamp en est un autre.

Ainsi les vagues orogéniques tertiaires, comme on le voit nettement sur notre schéma, ont été poussées du SE vers le NO dans les Pyrénées de Catalogne et sont venues butter sur le bord méridional du môle paléozoïque hercynien. Dès le secondaire, nous l'avons indiqué déjà, ce môle résistant formait une sorte de bourrelet montagneux démantelé qui a servi de véritable avant-pays pour la formation des Pyrénées tertiaires, alors que les montagnes du Levant de Catalogne en constituaient en quelque sorte l'arrière pays.

Si le continent Baléaro-Catalan et son bord NO formé par les montagnes du Levant sont activement intervenus dans la formation des Pyrénées méridionales et orientales, c. a. d. catalanes, par contre dans la formation des Pyrénées méridionales et occidentales, c'est la masse hercynienne de la méseta Ibérique qui est intervenue principalement. Cette fois les poussées tangentielles se sont produites surtout en direction SO-NE et n'ont pour ainsi dire pas atteint les Pyrénées catalanes. Les vagues orogéniques poussées en direction SO-NE ont donné naissance aux Pyrénées occidentales du versant méridional suivant un mécanisme un peu différent que nous exposons plus loin.

* * *

Sur le versant nord des Pyrénées, dont nous ne dirons que peu de mots, la structure de la chaîne est analogue à celle du versant méridional et s'est faite par un mécanisme similaire. Plusieurs séries de vagues orogéniques sont venues déferler sur les restes des anciennes Pyrénées hercyniennes armoricaines. Le noyau central cristallin et paléozoïque a servi de môle d'arrêt aux vagues orogéniques poussées



CATALOGNÉ ET LES PYRÉNÉES PENDANT L'OLIGOCÈNE

2 Dépôts lagunaires, lacustres et continentaux. — 3. Mer oligocène.

cette fois, du N vers le S, sous l'influence des pressions exercées par le massif central français analogue à la méseta Ibérique. Les ondulations de sédiments primaires, secondaires et nummulitiques se sont pressés les uns contre les autres, souvent se chevauchant les uns sur les autres dans le synclinal nord-pyrénéen analogue au synclinal sud-pyrénéen. Le môle résistant a réagi aussi par des contrepresions vers le nord qui ont pu modifier l'orientation des ondulations primitives.

Ce grand môle d'arrêt très résistant dont nous avons vu tout le rôle dans la formation des Pyrénées centrales et orientales, par contre n'existait pas dans l'ouest sur l'emplacement des Pyrénées Occidentales. On doit en effet se souvenir que les Pyrénées hercyniennes armoricaines ne se sont pas étendues dans les régions occidentales

occupées aujourd'hui par les Pyrénées tertiaires occidentales. Ces régions occidentales furent au paléozoïque et aussi pendant une partie du secondaire et du Nummulitique, occupées par le mer. Aussi lors de la formation des Pyrénées tertiaires, les vagues orogéniques venues du N se sont heurtées directement contre les vagues venues du SO. Et tout comme pour des vagues liquides océaniques, les deux masses contraires en mouvement, en se heurtant l'une contre l'autre, se sont soulevées plus ou moins verticalement suivant la ligne de choc. C'est alors que le matériel paléozoïque et cristallin de la profondeur, revenu à l'état pâteux et plastique, a pu fuser entre les deux systèmes ondulatoires contraires et surgir à la surface sous la forme de petits massifs cristallins granitiques comme celui des environs de Cambo par ex. (pic d'Ursoia). Ces petits massifs cristallins disséminés au milieu de sédiments secondaires et tertiaires, ont donc une origine et un âge très différents de ceux des grands massifs cristallins des Pyrénées du centre et de l'est.

On le voit donc, les Pyrénées occidentales sont nées du choc de deux systèmes d'ondulations contraires, les unes venues du N les autres venues du SO alors que les Pyrénées centrales et orientales sont nées de deux systèmes d'ondulations venues aussi du N et du SE, mais qui se sont heurtés sur un môle intermédiaire, épais et résistant.

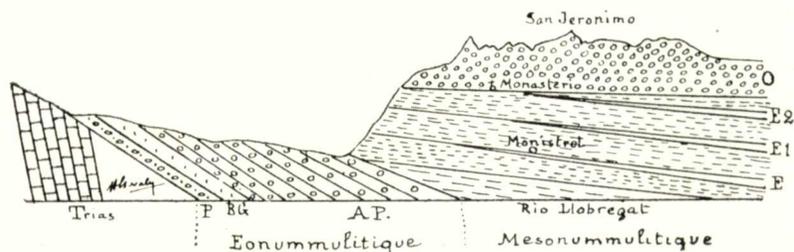
Sur le versant N des Pyrénées, les trois paroxysmes orogéniques se retrouvent à peu près semblables à ceux du versant méridional. Ce sont les paroxysmes antécénomannien, antélutétien et postludien. Ce dernier a soulevé les poudingues de Palassou qui forment une ceinture continue au pied de la chaîne, sur son versant N. Ces poudingues de Palassou sont les analogues de ceux du versant méridional des Pyrénées et de ceux du pied NO des montagnes du Levant de Catalogne (Poudingues du Montserrat).

Rélations orogéniques entre les Pyrénées, les Montagnes du Levant et la Catalogne Centrale

Les mouvements orogéniques pyrénéens et alpins qui ont construit la chaîne des Pyrénées tertiaires, ont eu également un retentissement profond sur la Catalogne centrale et sur les montagnes du Levant. On sait que ces dernières dans leur structure hercynienne nous montrent deux entités nettement distinctes: l'énorme batholite granitique des

sierras du littoral, puis le massif du Montseny prolongé par ses rides hercyniennes du SO. Entre les deux s'étale un vaste synclinal surbaissé formant la dépression qui s'étend de la Selva au Vallès et au Penedès. L'ensemble complet semble avoir été soulevé dans les airs et n'avoir jamais été envahi par les mers triasiques, jurassiques, crétaées, mésonummulitiques.

Quand dans les Pyrénées, les mouvements antélutéliens sont venus se faire sentir dans la profondeur des sédiments, il en fut de même dans les montagnes du Levant qui marquaient le bord NO de la terre Baléaro-Catalane. Une vague orogénique tertiaire est venue



MONTAGNE DU MONTSERRAT ET BORT NUMMULITIQUE DU LLOBREGAT
(d'après Ch. Depèret, très modifié)

P = Poudingues de base. — BG = Argiles à *Bulimus gerundensis*. — AP = Argiles rouges et poudingues. — E = Eocène Marin à *Nummulites perforatus*. — E1, E2 = intercalations marines, dans les dépôts mésonummulitiques fluviaux. — O = Poudingues post-Ludiens.

s'étendre et prolonger dans le SO, le massif du Montseny. Cette vague s'est probablement étendue jusqu'aux montagnes de Beceite et aux monts Celtibériques, soumis eux aussi, à des mouvements orogéniques contemporains. On doit ajouter que les sierras de l'Ebro (Cardó, Tivisa) devaient déjà, dès le Crétacé moyen, être surélevées dans les airs; cette surélévation est sans doute due à des mouvements de même nature et même âge que ceux du paroxysme antécénomaniens des Pyrénées.

Les mouvements antélutéliens profonds sont marqués sur l'ensemble des rides du Montseny par le soulèvement des sédiments triasiques de la bordure NO souvent relevés jusqu'à la verticale et sur lesquels s'appuient en discordance, assez légère du reste, les sédiments du danien lacustre et de l'éonummulitique lacustre, eux aussi plus ou moins soulevés suivant les endroits.

Cette grande lacune entre le Danien et le Trias marque la trace indiscutable du soulèvement du Montseny, dans son ensemble entre

ces deux époques. On constate en outre, que comme dans les Pyrénées, il y a discordance entre l'éonummulitique lacustre ou fluviale et les sédiments marins du Mésonummulitique qui remplissent toute la dépression centrale et qui sont ondulés et recouverts par l'Oligocène, surtout dans le centre (région potassique). La discordance que nous avons pu observer au pied du Montserrat, (voir la coupe) montre aussi la trace du mouvement antélutétien, dont l'orientation générale est assez semblable à celle des plissements hercyniens.

Quand aux traces des mouvements postludiens, elles ne sont pas moins marquées. On constate tout d'abord que tous les sédiments du Lutétien au Ludien forment une sorte de bloc à sédimentation concordante et continue, qui a été soulevé dans son ensemble, et qu'on retrouve dans la masse du Montserrat, dans celle de San Llorens del Munt, et aussi dans celles des sierras de Corb-Finestras, Rocacorva, etc.

De plus, entre les poudingues et conglomérats du Ludien supérieur et ceux plus puissants, d'une couleur et d'une pâte un peu différente de l'Oligocène inférieur (Sannoisien), on observe une discordance, légère il est vrai, mais certaine. On peut le constater au Montserrat par ex. à la hauteur du monastère, où le Ludien supérieur est encore incliné à 30 degrés comme le reste du mésonummulitique, alors que les poudingues du début de l'Oligocène, qui surmontent ceux de Ludien sont à peu près horizontaux, autant qu'on peut l'observer dans des dépôts formés d'éléments détritiques de toutes les grosseurs et qui représentent un véritable delta littoral déposée par une grande rivière descendue de l'ancienne terre Baléaro-Catalanne aujourd'hui enfouie sous la Méditerranée. Dans l'Ampurdan, sierras de Corb-Finestras, Rocacorva, Sacalm, etc., tous les poudingues des sommets, souvent entremêlés avec des grès, quelquefois avec du gypse, sont encore des sédiments du ludien supérieur, car nous y avons trouvé des fossiles très caractéristiques de cet étage, signalés dans nos travaux antérieurs. Ces poudingues sont inférieurs à ceux des crêtes du Montserrat, et aussi à ceux des crêtes de San Llorens del Munt que nous considérons sannoisiens.

Un fait orogénique important s'observe aussi dans l'ensemble des rides du Montseny, prolongées jusqu'à l'Ebro. La ride générale n'est pas formée en réalité par un anticlinal unique, jalonné par des pointements granitiques et du matériel paléozoïque. Il y a plusieurs plis pressés les uns sur les autres, dont les plus septentrionaux, sans avoir été charriés par les pressions venues du SE, ont été cependant assez comprimés et poussés vers le NO pour pouvoir se déjeter dans cette direction, se courbant sur leur flanc N qui s'est étiré et qui est venu

dans plusieurs endroits recouvrir les sédiments marins du Mésonummulitique. Ce renversement de plis s'observe dans certaines parties du flanc NO du Montseny où le granite laminé vient recouvrir le Nummulitique sans toutefois le métamorphiser. Walter SCHRIEL signale dans les environs de Sant Feliu de Codines du granite qui recouvre le Trias; PALET Y BARBA et DARDER PERICÁS, ont signalé aussi le matériel hercynien coiffant les sédiments mésonummulitiques au pied du massif de Sant Llorenç del Munt au N de Sabadell. Il en est de même jusque dans le S aux rives de l'Ebro, ou entre Garcia et Ascó, un grand pli synclinal triasique vient coiffer les poudingues Ludiens.

Il est probable que la formation des monts Celtibériques a été synchronique de celle des montagnes tertiaires du Levant et aussi des Pyrénées tertiaires. Les mouvements orogéniques s'y sont manifesté en même temps avec paroxysmes antélutétien et postludien. Les rides du Montseny, prolongées par les sierras de l'Ebro (Cardó) se rattachent nettement aux monts Celtibériques par les montagnes de Beceite. Toutes ces montagnes étaient soulevées et formaient au SE la dépression de l'Ebro quand s'y déposèrent les sédiments oligocènes apportés en grande partie par des rivières coulant en direction SE-NO et aussi SO-NE perpendiculaires aux plissements orogéniques tertiaires. JOLY signale en effet que les poudingues du Ludien supérieur sont redressés sur le bord NE des monts Celtibériques et qu'au contraire les sédiments lagunaires d'âge oligocène y sont à peine ondulés. Nous avons signalé qu'il en est de même sur le bord NO des rides du Montseny.

Dans les montagnes du Levant les mouvements orogéniques, bien qu'atténués, se sont continués plus longtemps que dans les Pyrénées. La mer miocène a pu envahir le Penedès au Burdigalien, puis le bas Vallès à l'Helvetien, sous l'effet d'un abaissement ou *ennoyage* de l'axe synclinal central des montagnes du Levant, favorisé par les coupures des vallées du Llobregat, du Besós et du Francolí, tracées déjà dès le mésonummulitique.

On doit du reste supposer aussi que, lié à ce même mouvement, s'est produit l'affaissement et l'envahissement de la fosse marine actuelle marquée par la courbe des profondeurs de 1000 m. qui s'étend entre la côte catalane et les Baléares. La mer, *pénétrant par le NE*, dans cette fosse, est venue envahir une vaste portion de la terre Baléaro-Catalane et déjà esquisser le dessin en direction NE-SO des rivages de la Catalogne. En somme, à la regression marine Oligocène du centre catalan, a succédé une transgression compensatrice sur la terre Baléaro-Catalane. Mais pendant longtemps encore, le haut fond

actuel qui réunit sous les eaux de la Méditerranée, les Baléares au cap de la Nao, a persisté sous forme de terre émergée. Tous ces mouvements de la mer dans la basse Catalogne sont dûs surtout à de lentes oscillations épirogéniques d'ensemble; les cassures et effondrements ne sont que l'exception (Ampurdán). Les dépressions sous-marines et les parties continentales immergées dans la méditerranée occidentales sont de peu d'amplitude si on les compare aux rides montagneuses de la Catalogne. Le dessin général de la structure des terres catalanes, n'a nullement été produit par ces fameuses disjonctions par trop hypothétiques et théoriques, imaginées pour expliquer la séparation des rivages catalans d'avec ceux des Baléares, de la Corse et de la Sardaigne, disjonctions qui auraient fait voyager toutes ces îles à travers la Méditerranée.

Il semble que des faibles mouvements ondulatoires épirogéniques aient continué à se manifester dans les chaînes du Levant, jusqu'à la fin du Tertiaire, à la limite du Quaternaire. Les sédiments tortoniens, sarmatiens et pontiens semblent avoir subi des ondulations à grande courbure qui se manifestent sous la forme de plateaux. En tous cas, à partir du Sicilien qui termine le Tertiaire, on ne constate plus dans le trajet des anciennes chaînes hercyniennes que des traces d'un lent soulèvement épirogénique continu auquel est dû le creusement du cours des rivières quaternaires. Actuellement encore ce soulèvement continue sur les côtes de Catalogne. Nous en avons trouvé des preuves concluantes. A Ampurias, Sitges, Tarragona, depuis l'époque ou des grecs phocéens sont venus visiter les rivages de l'Ibérie, le sol a subi un soulèvement qui a provoqué le comblement du port grec d'Emporion où l'ancien môle indique un soulèvement de près de 4 mètres. Au fond du port comblé, sur les anciennes falaises calcaires nous avons signalé des traces de mollusques lithodomes qui confirment ce soulèvement. Nous avons aussi constaté que des mollusques lithodomes ont laissé leurs traces dans les calcaires des côtes de Garraf où l'ancien niveau de la mer apparaît dominant le niveau actuel.

La répercussion des mouvements orogéniques tertiaires dans la Catalogne centrale a été aussi très marquée. Des vagues orogéniques ont aussi déferlé à travers les sédiments de l'ancien synclinal comblé. Une longue suite d'ondulations parallèles orientées en général NE-SO s'étend de part et d'autre de l'axe central du synclinal, depuis les plaines d'Olot-Bañolas, jusqu'au delà des plaines de Lérida ou Llanos de Urgel. On y retrouve la trace manifeste des poussées venues du SE en direction NO et qui ont mis en mouvement toute la série des sédiments tertiaires, sous la forme de vagues orogéniques de couver-

ture dont les ondulations se sont déroulées parallèlement aux vagues profondes antélutétiennes. Ces ondulations centrales sont bien prononcées, pressées les unes sur les autres dans le couloir rétréci coïncé entre les massifs paléozoïques du Puigmal au N et du Montseny au S. Ces vagues écrasées entre deux blocs résistants de matériel primaire, ont donné lieu comme d'ordinaire à des virgations, plis-failles, etc.

Quand on a quitté le Llusanés, où les vagues orogéniques ont une orientation momentanée NS, pour les causes que nous avons indiqué déjà, et qui sont dûes aussi à l'influence du massif du Montseny dans le plissement général, on constate qu'à mesure qu'on se rapproche de Lérida, dans le SO, les ondulations se font de moins en moins accentuées. On ne trouve plus que des vagues orogéniques atténuées, qui sont dûes sans nul doute, à un mouvement de translation ralenti. Ce sont des plis à grande courbure qui s'étendent généralement en direction NE-SO mais qui dans la topographie prennent la forme de véritables plateaux à surface presque horizontale. Ces ondulations à large courbure s'étendent surtout dans les environs de Manresa, Tárrega, Cervera, Calaf et Cardona. Parmi les anticlinaux on cite ceux de Callús, Suria, Cardona, Vilanova. Si on quitte le centre du synclinal général pour se rapprocher de ses bords, soit N, soit S, les plissements recommencent à s'accroître. Tous ces plissements du centre catalan, qui dépendent des mouvements postludiens se sont moulés sur les ondulations profondes du tréfond hercynien qui quelquefois réapparaissent au jour.

L'orientation générale des collines du bas Ampurdán, est différente de celle que nous avons indiquée pour les autres régions catalanes. Le fait est dû aux mouvements tectoniques plus récents qui se sont produits dans cette région, mouvements que nous avons défini dans d'autres mémoires, et qui ont donné lieu à l'effondrement d'une partie des ondulations situées entre la plaine d'Olot et la mer.

Résumé et conclusions générales

Trois mouvements principaux correspondant à trois paroxysmes orogéniques sont intervenus dans le façonnement des Pyrénées tertiaires, en remaniant d'abord le matériel hercynien enraciné qui subsistait encore des chaînes carbonifères armoricaines. Ce matériel hercynien a joué le rôle d'avant pays et a servi de môle d'arrêt aux

vagues orogéniques venues à la fois du S et du N, et qui ont donné naissance aux pyrénées orientales et centrales. Dans l'O, en l'absence de môle hercynien d'arrêt, les séries contraires de vagues orogéniques se sont heurté de front suivant une ligne de choc qui marque le centre des Pyrénées occidentales.

Sur le versant méridional des Pyrénées orientales, l'orientation d'ensemble des vagues orogéniques qui se sont propagées successivement au cours des trois paroxysmes a été NE-SO, sous la poussée de pressions venues du SE et dues au continent Baléaro-Catalan. Cette orientation générale se retrouve partout aussi bien dans les îles Baléares que sous la mer, dans les montagnes du Levant de Catalogne, dans la Catalogne centrale aussi et surtout dans les Pyrénées orientales. Dans ces dernières on distingue nettement trois grands groupes d'ondes orogéniques tertiaires orientées NE-SO et qui se sont successivement déroulé du SE vers le N (voir la carte structurale). Les plis de ces 3 groupes principaux: vagues d'Andorre, vagues du Canigou et du Roc de France, se sont dédoublés en virgations avec anticlinaux et synclinaux de 2.^e et 3.^e ordre qui s'étendent au loin dans l'O catalan et rejoignent les plis de l'Aragon. Les vagues d'Andorre sont marquées par une grande série de plis imbriqués, *déjétés vers le S* et formés de matériel hercynien remanié. Les plis-failles sont très accentués: pli-faille de Mérens; pli-faille du col Montaner, col de Vexalis, col des cortals d'Encamp (Andorre); etc. Les plis de l'Andorre se continuent sans interruption aussi bien à l'O (Peguera, Aneto) qu'à l'E où ils se montrent dans le Campcardos et le Carlitte. Les massifs de granite et le paléozoïque, refondus, ont dû subir aussi l'orientation des plissements tertiaires (granite de Santa Coloma d'Andorre).

Les vagues d'Andorre sont visibles du centre de la chaîne au N jusqu'aux rives du haut Segre au S, sur une épaisseur de 30 à 50 Kil. La ride du Canigou s'est dédoublée auprès du Puig d'Alp et a donné naissance à deux rides de 2.^e ordre, l'une de matériel hercynien qui est venue se juxtaposer aux vagues de l'Andorre, le long des rives du haut Sègre et au pied de la sierra de Cadí; une autre, passant au S du Cadí s'est prolongée dans les sierras de Boumort et de San Gervasio. La ride du Canigou au N du Cadí, surajoutant ses effets à ceux des vagues de l'Andorre, a donné lieu à ce grand fossé tectonique qui s'étend sans interruption de la vallée de Novès jusqu'à celle de la Têt en passant par la Seo de Urgel, Martinet, Puigcerdà, col de la Perche et Prades.

La vague du Roc de France qui se poursuit dans la sierra Caballera s'est également dédoublée en virgations qui vont rejoindre les ondula-

tions du Montsec et plus à l'O celles de Guara en bordure de la cuenca de l'Ebro.

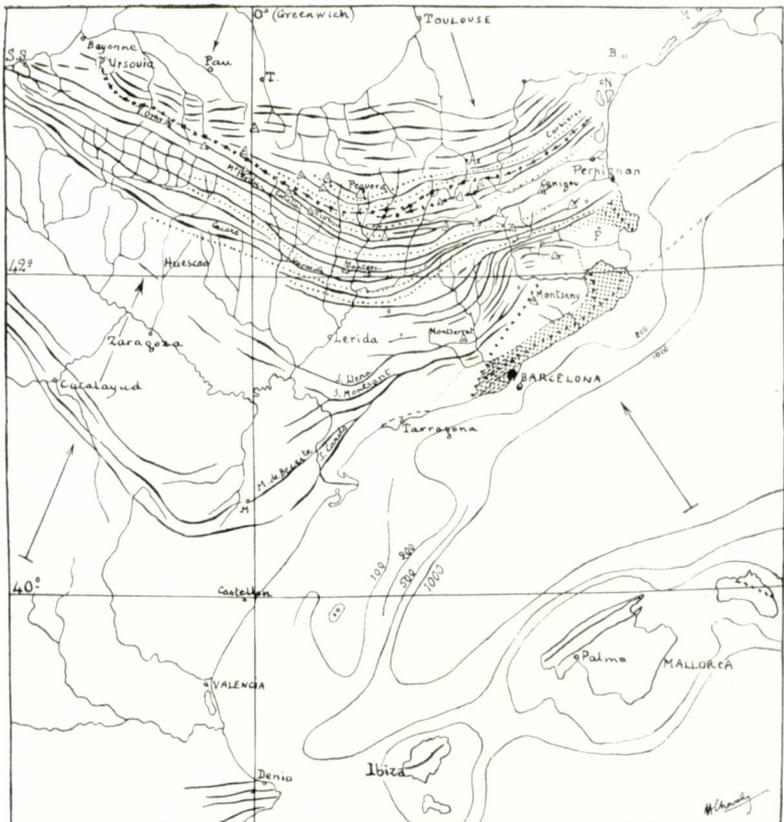
Sur le versant méridional des Pyrénées d'Aragon, les vagues orogéniques qui prolongent celles de Catalogne, n'ont plus la même orientation. Elles reprennent progressivement la direction SE-NO pour rejoindre les Pyrénées occidentales. Ce sont par ex. les sierras d'Espluga, de Farrera qui continuent celles du N de la cuenca de Tremp. L'ensemble du Montsec, nous montre parfaitement le fond de la grande concavité orogénique des Pyrénées centrales, faisant face au N et reliant les sierras catalanes orientées NE-SO (Montsec de Rubies-Port del Compte), a celles d'Aragon orientées SE-NO (Montsec d'Aragon-Sierra del Castillo de Laguarres-Turo de Guara).

Entre l'ensemble du Montsec dont les plis forment le fond de l'arc concave face au N et les grands massifs cristallins de Peguera-Como-loformo représentant le môle hercynien, on a toute la série des vagues orogéniques tertiaires qui sont venues se coller sur le môle arasé. Trois paroxysmes orogéniques, nous le savons, sont intervenus dans la construction des Pyrénées tertiaires. Les deux premiers (antécénomien et antélutétien) sont des mouvements uniquement de profondeur et ne se sont que très peu manifestés à la surface par des oscillations négatives ou positives qui ont déterminé les lacunes stratigraphiques ou les transgressions marines marquées au pied de la zone centrale pyrénéenne. Le mouvement postludien a débuté dans la profondeur, mais s'est manifesté ensuite d'une façon plus accentuée à la surface et a donné lieu à des plissements de couverture propagés dans les sédiments tertiaires, plissements de couverture qui se sont continués et qui ont déterminé plus tard les ondulations de la dépression centrale de Catalogne au milieu de l'Oligocène. Les vagues orogéniques d'Andorre ont dû s'esquisser dès le paroxysme antécénomien en soulevant un bourrelet pyrénéen dont le pied S fût marqué par la régression des mers secondaires jusqu'au début du Sénonien. Les vagues d'Andorre se sont accentuées lors du paroxysme antélutétien qui souleva au Danien-Eonummulitique les masses hercyniennes pyrénéennes remaniées.

Un bourrelet pyrénéen bien marqué existait déjà, sur lequel s'exerçait le travail de désagrégation des eaux courantes. Les rivières descendant en direction NS vers la mer centrale mesonumulitique déposaient leurs deltas, marqués aujourd'hui par les poudingues. Les vagues orogéniques du Canigou et du roc de France déjà esquissées et bien marquées lors du paroxysme antélutétien, se sont accentuées et définies avec le paroxysme postludien. Déjà dès le début de l'Oligo-

cène leur structure était terminée et fixée. Il ne semble pas qu'elles aient été affectées d'une manière très marquée par les mouvements du milieu de l'Oligocène qui se sont produits dans la dépression centrale de Catalogne.

La formation des monts Celtibériques est probablement synchrone de celle des Pyrénées tertiaires et de celle des montagnes tertiaires du Levant de Catalogne. On y observe les traces des deux paroxysmes antélutétien et postludien. L'ensemble des plissements tertiaires semble continu depuis le massif hercynien du Montseny jusqu'aux sierras de Calatayud et au delà, en passant par les sierras de Cardo et de Beceite.



CARTE OROGENIQUE ET STRUCTURALE DE L'ENSEMBLE DES PYRENEES ET DE L'ESPAGNE DU NE

(en grisé = matériel Hercynien non remanié)

Dans les montagnes du Levant de Catalogne on y trouve les traces des trois paroxysmes pyrénéens déjà signalés dans les Pyrénées. C'est au dernier (postludien) d'on doit le soulèvement d'une partie des sierras tertiaires du Sud catalan qui bordent au NO la zone secondaire et paléozoïque. Les mouvements de couverture se sont continués, mais d'une façon très atténuée pendant le Miocène; dans le synclinal Vallès-Penedès qui sépare les rides du Montseny des chaînes du Littoral. Ces mouvements ont permis à la mer Burdigalienne de pénétrer dans le Penedès, à la mer Helvétienne dans le bas Vallès. En même temps la mer Miocène a envahi le synclinium du N du continent Baléaro-Catalan, synclinium marqué aujourd'hui par le courbe des profondeurs de mille mètres. Le rattachement des Baléares au cap de la Nao par l'île d'Ibiza a persisté pendant longtemps, peut-être même jusqu'à la fin du Pliocène sous la forme d'une chaîne montagneuse bordant le synclinium de mille mètres qui formait alors golfe ouvert vers le NE. Ces terres émergées ont permis le passage de la faune continentale tertiaire jusque dans les régions dont les sommets les plus élevés sont devenus des îles par la suite. Cette ancienne chaîne montagneuse des Baléares est aujourd'hui marquée par une suite de hauts fonds qui réunit entre elles les îles de Minorque, Majorque, Ibiza et le cap de la Nao.

Les effondrements Mio-pliocènes de l'Ampurdan sont dûs à la rupture d'une voûte générale formée d'un ensemble de plis orientés comme ceux de la dépression centrale de Catalogne, et qui se sont affaissés par échelons successifs sous la forme d'effondrements circulaires et ovalaires dans lesquels les mers plaisanciennes, astiennes et siciliennes ont pu pénétrer atteignant même le village de Besalú dans la vallée du Fluvià. Les éruptions volcaniques de l'Ampurdan se sont produites pendant le quaternaire sur le parcours des failles pliocènes qui ont rejoué et à travers lesquelles ont fusé les produits volcaniques. Nous avons déjà signalé toute cette structure en 1914 et en 1926 (*).

La formation du golfe du Roussillon n'a probablement pas été synchrone de celle de l'Ampurdan. Elle a aussi une origine différente et le Roussillon ne représente pas une région effondrée, entourée de failles verticales. On n'y retrouve pas comme dans l'Ampurdan, des manifestations volcaniques jalonnant des lignes de failles entrecroisées. Ainsi que l'avait très bien indiqué autrefois le prof. CH. DEPÉRET, le

(*) Note préliminaire sur la géologie de la Catalogne orientale. — *Bulletin Société Géol. de France*, Tome XIV. - 1814.

Contribution à l'étude du Volcanisme en Catalogne. — *XIVe Congrès géol. International*. Madrid, 1926. - Vol. IV.

golfe du Roussillon doit son origine à l'*ennoyage* d'un faisceau de plis qui continue dans le NE la ride anticlinale du Canigou et ses annexes. Cette continuation surbaissée de la ride du Canigou, sous la masse des alluvions tertiaires et quaternaires se prolonge sans doute sous les eaux du golfe de Lion et se retrouve de l'autre côté de la mer dans les monts hercyniens de la Provence.

Les monts Albères et les sierras de Rosas forment un ensemble qui paraît avoir été peu remanié au cours des mouvements orogéniques tertiaires et qui a une orientation nettement NO-SE. Cette orientation est manifestement celle des plis pyrénéens hercyniens armoricains dont l'ensemble faisait partie pendant le carbonifère moyen. Orologiquement cet ensemble paléozoïque Albères-sierras de Rosas dépend beaucoup mieux des montagnes du Levant de Catalogne que du bloc pyrénéen remanié au cours des mouvements tertiaires et dont l'orientation orientale reste nettement NE-SO jusque dans les Corbières. Tectoniquement et géographiquement aussi il n'est guère loisible de considérer les Albères comme un annexe oriental des Pyrénées, mais bien au contraire comme un annexe septentrional des montagnes du Levant de Catalogne, avec lesquelles elles sont reliées sous la mer et sous l'Ampurdan par le tréfond du massif de Montgrí.

Dans ces montagnes du Levant, il y a du reste lieu de distinguer 1. Les rides du Montseny, remaniées au cours des mouvements tertiaires et dont les plis de matériel hercynien ont pu venir à certains endroits recouvrir les sédiments tertiaires (au N de Sabadell). Ces plis tertiaires de matériel hercynien remanié se prolongent jusqu'à l'Ebro et au delà pour rejoindre les monts Celtibériques. 2. Les chaînes du Littoral, grande masse en partie granitique qui représente les restes d'un anticlinal paléozoïque et qui va rejoindre les sierras de Rosas en passant sous l'Ampurdan. Cette masse ne semble pas avoir été affectée par les mouvements orogéniques tertiaires, mais seulement par des mouvements épirogéniques.

Dans l'ensemble, les chaînes du Levant paraissent avoir été émergées pendant tout le secondaire et le tertiaire et n'avoir subi que partiellement quelques petites invasions de la mer dans les parties synclinales et surbaissées du Penedès (Burdigalien) et du Vallès (Helvetien).

* * *

D'une façon générale les mouvements orogéniques qui se sont déroulés en Catalogne durant l'ère tertiaire, nous permettent de constater que l'intensité des pressions et par conséquent des plissements, a diminué progressivement au cours des âges, depuis le paroxysme antélutétien jusqu'à nos jours.

Le maximum d'intensité des plissements s'est produit dans les Pyrénées justement parce que les pressions les plus intenses des mouvements antélutétiens sont venues jeter les vagues orogéniques sur un môle profondément enraciné, d'une grande résistance et qui a joué le rôle d'avant-pays c.a.d. de bloc d'arrêt.

La durée des mouvements orogéniques a été d'autant plus longue que ces mouvements se sont produits dans des régions de plus en plus proches de l'ancien continent Baléaro-catalan, principal auteur des poussées exercées, mais la durée des mouvements orogéniques semble inverse de leur intensité.

Les paroxysmes orogéniques étaient terminés avec l'Oligocène inférieur dans les Pyrénées; avec l'Oligocène moyen-supérieur dans la Catalogne centrale et les rides du Montseny; avec le Miocène supérieur dans les ondulations du Synclinal Vallès-Penedès; avec le Pliocène sur les bords effondrés des rivages de l'Ampurdan. Les dernières oscillations orogéniques se manifestent actuellement par les tremblements de terre.

(Cartes, coupes, dessins et schémas originaux de l'auteur).

