

Op ontdekking in de Franse Centrale Pyreneeën

door Jacques Touret,
Mineralogisch museum van de École des Mines te Parijs (ABC Mines),
emeritus professor in de petrologie, Vrije Universiteit, Amsterdam

Vertaling door Joke Stemvers-van Bommel

Over dit artikel...

Elk jaar organiseert de vereniging van de 'Vrienden van het Museum en de Bibliotheek van de École des Mines te Parijs' (ABC Mines) een reis naar geologisch bijzonder interessante gebieden. In 2006 waren het centrale en westelijke deel van de Franse kant van de Pyreneeën aan de beurt. Hier kon een bergketen worden bestudeerd die in ouderdom vergelijkbaar is met de Alpen, maar fundamenteel verschilt qua structuur en geologisch kader.

De leider van deze studiereis, tevens auteur van dit artikel, was Jaques Touret. Hij schreef over deze excursie een serie van vijf artikelen met de titel: 'À la découverte des Pyrénées centrales et occidentales'. De artikelen verschenen in het Franse tijdschrift 'Minéraux et Fossiles', nrs. 361-365 (juni-oktober 2007), respectievelijk als:

1. Les Pyrénées (inleiding) et le talc de Luzenac,
2. Le complexe ultrabasique de l'étang de Lertz,

3. Les marbres des Pyrénées centrales,
4. Le site de Gavarnie,
5. Les ophites et roches intrusives de la vallée d'Aspe.

De redactie van Gea koos voor dit artikel de inleiding uit deel 1 en deel 2 in zijn geheel; opties voor verdere artikelen uit de serie blijven open.

Wij zijn prof.dr. J.L.R. Touret en de heer Patrice Lebrun, redacteur van Minéraux et Fossiles, bijzonder erkentelijk voor hun toestemming tot publicatie van deze vertaling en voor hun medewerking aan de realisatie ervan.

Remerciements

Tous nos remerciements à prof. J.L.R. Touret et M. P. Lebrun pour leur autorisation à la publication et pour leur coopération à la réalisation de cet article.

J.S.-v.B.

1. De Pyreneeën: de 'andere' bergketen

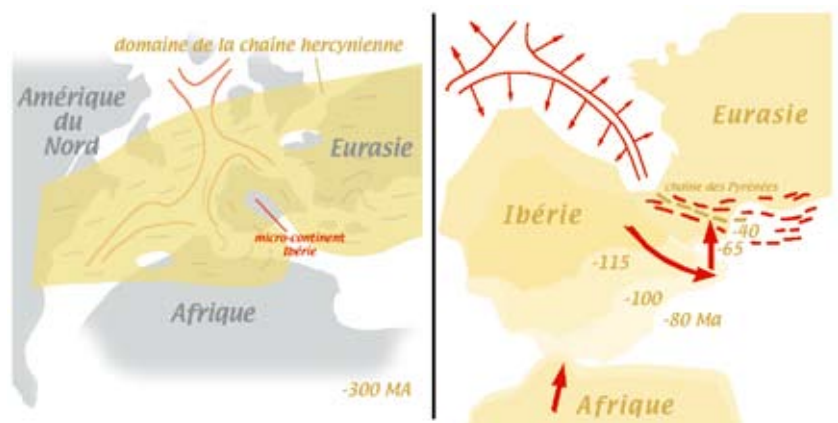
Inleiding

Een grote geest uit de vorige eeuw, ik meen dat het Pierre Termier was, heeft eens gezegd dat elke geoloog twee vaderlanden heeft: zijn eigen en de Alpen. Dit is een elegante manier om onder woorden te brengen dat de Alpen het type-voorbeeld zijn van een gebergteketen: gevormd door een geweldige tektonische activiteit die het oppervlak van onze planeet vorm geeft en ons de toegang verschaft tot de diepere delen van de aardkorst. Geofysische gegevens en geochemische analyses, die met name informatie geven over de herkomst en de ouderdom van de verschillende formaties, stellen ons tegenwoordig in staat de geschiedenis van de aarde te leren kennen en te plaatsen in het allesomvattende kader van de **plaattektoniek**. Voor de Alpen betekende dat eerst een lange periode van rek, die begon in de Jura-periode, ongeveer 200 Ma (miljoen jaar) geleden, waardoor een uitgestrekte oceaan ontstond, de Tethys, die twee grote continentale platen: Eurazië in het noorden en Afrika in het zuiden van elkaar scheedde. Aan het begin van het Tertiair, ongeveer 30 Ma geleden, veranderde de situatie dramatisch. De twee platen schoven niet meer uit elkaar, maar juist naar elkaar toe: het begin van de **Alpiene orogenese** (of gebergtevorming).

Afb. 1. Structureel kader van de evolutie van de Pyreneeën-bergketen. Links: fase van rek tijdens het Carboon. Rechts: route van het Iberisch schiereiland tot de botsing van Afrika en Eurazië. De Hercynische orogenese vond plaats op de grens van Midden- en Boven-Carboon. De opening van de Atlantische Oceaan ter hoogte van de Pyreneeën gebeurt tijdens het Onder-Krijt.

Eerst verdween de oceanische korst van de Tethys in de subductiezone die zich gevormd had. (Van de Tethys bestaan nu niet meer dan enkele op het voorland geschoven fragmenten, de **ofiolieten**.) Toen alle oceanische korst verdwenen was, volgde een botsing van de twee continenten. In deze periode werden enkele fragmenten van de oude Hercynische korst, gevormd in het Paleozoïcum (meer dan 300 Ma jaar geleden), tot diep in de **mantel** getransporteerd, soms (bijv. het Dora Maira massief in Noord-Italië) tot minstens 100 à 200 km onder het aardoppervlak. Zo'n tien miljoen jaar geleden heeft een nieuwe tektonische fase gezorgd voor hernieuwde opheffing van de kristallijne massieven (o.a. Mont Blanc), die nu de hoogste toppen van de bergketen vormen (afb. 1).

De Pyreneeën zijn qua ouderdom te vergelijken met de Alpen (hoewel ze iets ouder zijn). Ook zij zijn gevormd door de botsing van de Euraziatische en Afrikaanse platen en ook zij bevatten een kern van oude Hercynische continentale korst. Maar hun structuur is fundamenteel verschillend. Ze zijn niet asymmetrisch zoals de Alpen, die een gigantische verplaatsing van



dekbladen hebben ondergaan van oost naar west. De Pyreneeën bestaan uit een kristallijne kern van oude Hercynische korst (de centrale Pyreneeën), ten noorden en ten zuiden geflankeerd door twee sedimentaire eenheden. Deze zijn, respectievelijk, naar het noorden en het zuiden afgegleden: de Noord-Pyreneeënzone aan de Franse kant en de Zuid-Pyreneeënzone aan de Spaanse.

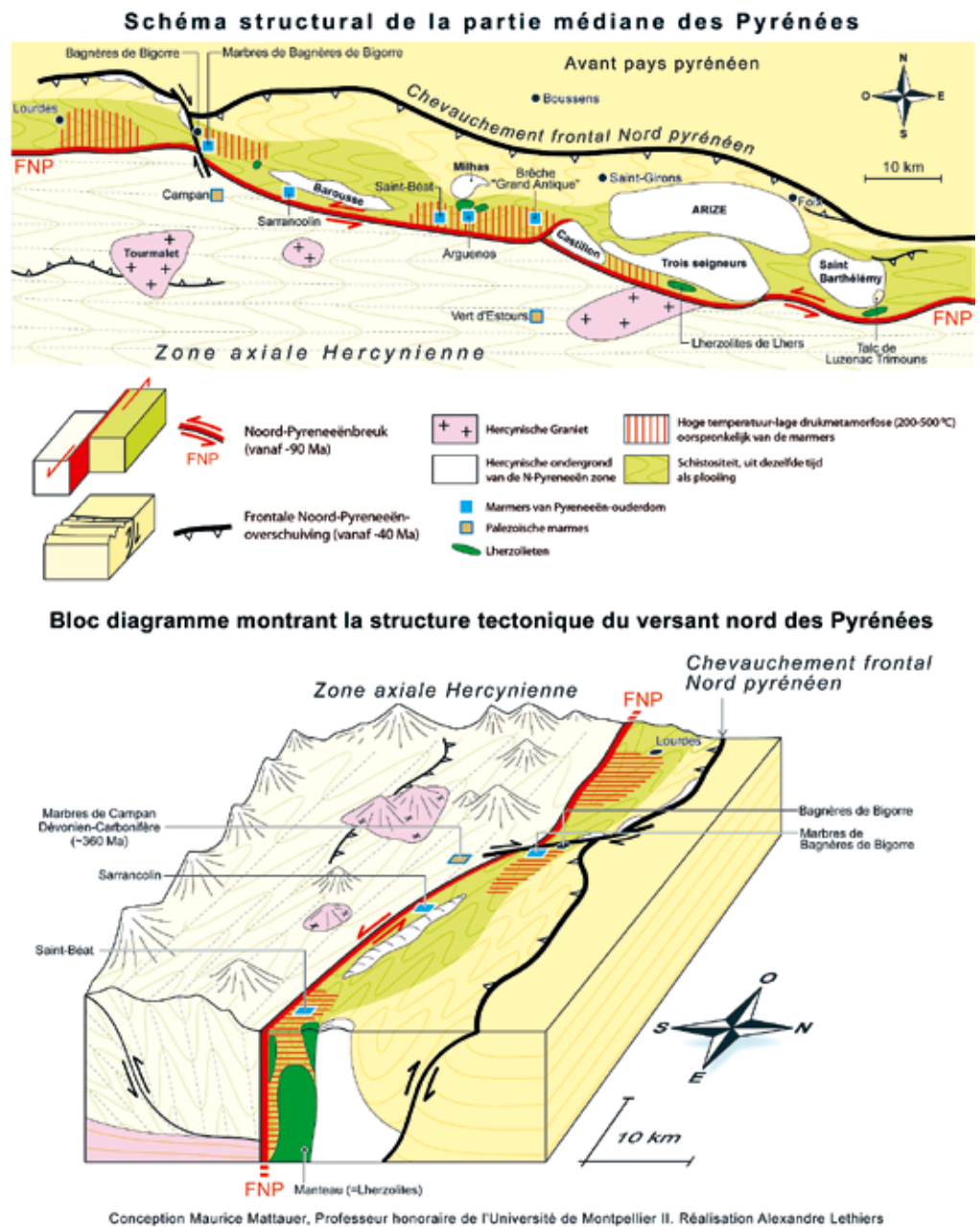
De omvang van de deformaties, met name van de grootschalige **afschuivingen**, is veel geringer dan in de Alpen, hoewel er zeker wel echte dekbladen bestaan. Er zijn afschuivingen naar het noorden en naar het zuiden, bijvoorbeeld in het gebied van Gavarnie.

Net zoals in de Alpen (en ieder ander orogeen!) gaan de deformaties in de Pyreneeën vergezeld van metamorfose. Deze heeft in de Pyreneeën heel bijzondere kenmerken: er is weinig of geen **schistositeit**, en doordat het oorspronkelijke gesteente overheersend uit carbonaten bestond (gemetamorfoseerd tot marmar) komen er mineralen voor die tamelijk ongewoon zijn in vergelijking met de mineralen die ontstaan bij de metamorfose van sedimentaire gesteenten met een andere chemische samenstelling: scapolieten (waaronder dipyriet), albiet, talk. Vooral door de afwezigheid van schistositeit is lang gedacht dat de metamorfose van de Noord-Pyreneeën een soort onbelangrijk randverschijnsel was. Maar het tegendeel is waar. Want behalve zeer belangrijke economische consequenties (de belangrijkste talkgroeve van de wereld ligt hier!), geeft deze metamorfose een schat aan informatie over de relaties tussen de verschillende niveaus in de korst en de mantel van onze planeet. Het is nog maar kort dat paleomagnetische en geochronologische metingen het ons mogelijk maken om de verschillen tussen bergketens werkelijk te kunnen doorgronden. Het Iberische schiereiland is een microcontinent dat losgeraakt is van de Afrikaanse plaat; het is pas tegen Eurazië gebotst na een merkwaardig ballet. Het stukje continentale korst lag ooit op een plaats die zich nu ergens midden in de Atlantische Oceaan bevindt; het schoof vandaaruit, bij de opening van de Atlantische Oceaan, naar het oosten en verplaatste zich door de Middellandse Zee tot het microcontinent ongeveer in het verlengde van het Franse grondgebied lag (dus meer naar het oosten dan Spanje nu ligt). Vervolgens schoof het weer naar het westen terug langs de strekking van de Variscische bergketens om geleidelijk zijn huidige

positie in te nemen. Deze beweging is zeker niet tot staan gebracht, zoals de aardbevingen getuigen die het gebied regelmatig doen schudden.

De botsing van de twee platen (het Iberisch microcontinent en de Euraziatische plaat) is begonnen in het Aptien, 100 Ma geleden. Rond 90 Ma is de Noord-Pyreneeënbreuk ontstaan, met een diepe *sillon aptien* (de grote breuk ten zuiden van de Noord-Pyreneeënbreuk) als begrenzing, een structuur die zich geleidelijk van het westen naar het oosten toe verbreedt. Een essentieel verschil met de Alpen is dat er geen oceanische korst is gevormd zoals bij de Tethys. Het gaat hier om een structuur die geheel continentaal is. Er was geen **mid-oceanische rug**, er waren geen onderzeese intrusies die bij de toekomstige gebergtevorming ofiolieten zouden vormen. Er was wel een oceaan, maar die lag meer naar het westen, in een gebied dat zich ontwikkelde tot de Atlantische Oceaan. Rond 40 Ma sluit de *sillon aptien* zich weer, op het hoogtepunt van de orogenese – die hier 10 Ma eerder is dan in de Alpen. In deze periode worden de plooiën en dekbladen van de Noord-Pyreneeënzone gevormd. Deze worden naar het noorden begrensd door de 'frontale Noord-Pyreneeënoverschuiving'.

Verder is het nu rustig wachten op de verdere opheffing en ero-



Afb. 2. Boven: Structureel schema van de centrale Pyreneeën. Onder: Blokdiagram van de tektonische structuur van de noordkant van de Pyreneeën. Naar M. Mattauer, Montpellier.

Afb. 3. Het ultrabasische complex van Étang de Lherz in de mist.

sie van de bergketen. Dat zal niet alleen gebeuren door de sedimenten die via berggrivieren afzettingen vormen in het voorland (bijvoorbeeld de beroemde Oligocene *poudingue* (conglomeraat) van Pallassou, maar ook door de **flysch**-afzettingen langs de Baskische kust. Flysch wordt gevormd door sedimentatie tijdens de tektonische fase en komt vaak voor als ritmische afzettingen (turbidieten) in lokale diepe bekkens in een subductiemilieu (bijvoorbeeld een trog) (afb. 2).



2. Het ultrabasische complex van Étang de Lerz

Toen Alfred Lacroix in 1894 de naam lherzoliet voorstelde voor een gesteente dat bij het kleine meertje l'étang de Lerz in de Franse Pyreneeën voorkomt, had hij geen flauw idee van de internationale vermaardheid die dit gesteente zou krijgen als een van de belangrijkste gesteentetypen in de hele petrografie (afb. 3). Lherzoliet is immers het meest kenmerkende gesteente van de continentale mantel (in tegenstelling tot de oceanische mantel) en hier is een van de zeer zeldzame plaatsen op de wereld waar de mantel direct toegankelijk is voor waarneming. Andere vindplaatsen van mantelgesteenten zijn insluitingen die via vulkanen omhoog gekomen zijn. Die zijn veel kleiner, zijn bovendien onderweg sterk opgewarmd en door de lava gedeeltelijk opgesmolten.

De ligging van Lerz is grandioos. Je bereikt het meer via een smalle departementale weg, de bochtige, maar goed berijdbare D 18, ofwel vanuit het noorden vanaf Massat, of vanuit het westen (Vicdessos). Deze laatste route is aan te bevelen, want deze

zeer hoog gelegen weg biedt prachtige uitzichten op de nabije toppen. Tijdens de afdeling op de terugweg naar Massat, na eerst de omgeving van het meer bestudeerd te hebben, zul je enige ontsluitingen tegenkomen. Deze zullen door de weelderige plantengroei wat moeilijk te zien zijn, maar hier komt een doorsnee van de diepe continentale korst (diepe korst en bovenste mantel) aan de oppervlakte en dat is, in Frankrijk althans, een bijzonder zeldzaam fenomeen. In de oostelijke Pyreneeën levert alleen het massief van de Agly een ongeveer vergelijkbare doorsnee op, maar die beperkt zich tot de korst en *niet* de mantel. De omgeving van Etang de Lerz, bij trekkers en parapentvliegers hoog genoteerd, is gespaard gebleven voor de wildgroei van bebouwing en betonconstructies die elders zoveel van het berglandschap bederven. De inspanningen van de aangrenzende gemeentes, vooral van Massat, om dit unieke ecosysteem te beschermen, zijn dan ook zeer prijzenswaardig. De ongewone samenstelling van de gesteenten is gunstig voor een zeer bijzondere microfauna en met name een uitzonderlijke flora, die in een stedelijke omgeving niet zouden overleven. (Afb. 4)

Mineralogen en geologen horen deze omgeving dan ook met respect te behandelen en dienen hun hamer maar spaarzaam

te gebruiken – er liggen genoeg losse stenen en verspreide monsters om iedere amateur te voorzien.

Alle bezoekers, of het nu vissers zijn, trekkers



Afb. 4. Het massief en het Étang de Lerz. (Foto S. Muffat).



Afb. 5. Poster met info over het gebied van Lerz.

De mogelijkheid van een geologische route wordt onderzocht, maar dat idee is nu nog slechts een plan.

Belangrijke petrografische typen

Zelfs voor iemand die er niet op verdacht is, zijn de ultrabasische gesteenten van het Lherz-massief makkelijk te herkennen door hun hoge soortelijke massa (ongeveer 3), hun uniforme donkere kleur op een vers breukvlak en, vooral, door hun opmerkelijk roestkleurige patina.

Je zou tot in het hart van het massief kunnen doordringen, alleen al voor het wandelplezier, maar de ontsluitingen daar zijn moeilijker waar te nemen. Bovendien zou het nodig zijn om in de grond te graven, wat onverenigbaar is met de bescherming van het massief. Laten we dit werk maar overlaten aan enkele specialisten, die trouwens meer en meer microboormachines gebruiken: apparaten die slechts een minimale beschadiging aanbrengen. Op het eerste gezicht lijkt het complex van Lherz monotoon en homogeen. Deze indruk verdwijnt bij microscopisch onderzoek, want dan blijken er vele petrografische typen voor te komen. Om de belangrijkste te noemen (afb. 6):

- gelaagde *lherzoliëten* maken het voornaamste deel van het massief uit. Zij bestaan in bijna gelijke verhouding (20 à 40%) uit olivijn (Fo80), clinopyroxeen en orthopyroxeen; met verder 2 à 3% magnesiumspinel en sporen amfibool (kaersutiet);
- *harzburgiet*, dat bestaat uit olivijn (Fo91) en orthopyroxeen, in banken van enkele meters dikte, parallel aan de foliatie van de *lherzoliëten* (die isoclineaal geplooid kunnen zijn binnen de foliatie).
- *clinopyroxenieten*, die bestaan uit ongeveer gelijke hoeveelheden orthopyroxeen en clinopyroxeen en eveneens voorkomen in concordante banken, die meer of minder continu verlopen. Bepaalde variëteiten van dit gesteente, die betrekkelijk rijk aan spinel, amfibool en eventueel granaat zijn, werden door Lacroix 'ariégiet' genoemd. Deze term is vervangen door *websteriet* die vervolgens opgenomen werd in de internationale nomenclatuur. Maar bij lokale specialisten blijft de oude naam nog steeds in gebruik.
- Tenslotte – en dit is een heel belangrijk en uniek kenmerk van Lherz – vertonen bepaalde ontsluitingen discordante aders van peridotiet of pyroxeniet die zeer rijk zijn aan amfibool (pargasiet). Dit is het gesteente dat Lacroix *lherziet* heeft genoemd, een term die buiten Frankrijk niet gebruikt wordt wegens het risico van verwarring met *lherzoliëten*. Men spreekt daarom liever

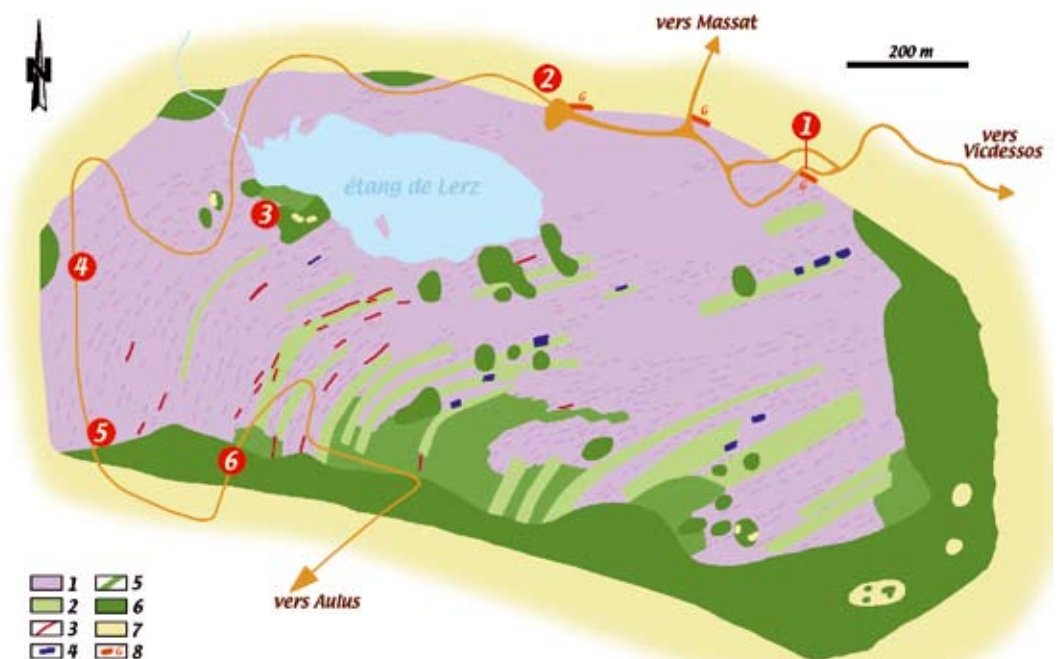
of geologen, ontmoeten elkaar in het enige door de gemeente toegestane café van Massat: Marie Pierre Servat. Dit is in de loop van de jaren een soort bijgebouw geworden van het Musée national d'histoire naturelle.

Het Lherz-massief (de petrografen hebben de oorspronkelijke 'h' van Lherz behouden, maar vaker wordt de naam zonder 'h' en met een 's' in plaats van een 'z' geschreven) is sinds Alfred Lacroix echt een favoriet studieterrain van het mineralogisch laboratorium van het Parijse instituut. Dat begon onder Fernand Conquére en daarna Jaques Fabriès (vanaf de jaren '60), die gezelschap hebben gekregen van talrijke vakgenoten, zowel uit Parijs (Bernard Azambre) als uit Toulouse (Pierre Mondieux). Tijdens ons bezoek aan het café hebben we dan ook in de grote koffiekamer enige zeer duidelijke posters en foto's kunnen raadplegen. Deze gaven een goede indruk van de geologie van het massief (afb. 5).

Afb. 6. Geologische kaart van het Lherz-massief met de zes ontsluitingen die beschreven zijn in dit artikel (de rode cirkels).

Legenda (linksonder in de figuur): *lherzoliëten* (1) en *harzburgiet* (2), de twee belangrijkste gesteentetypen van het massief. De plekken waar typen 3 - 8 staan aangegeven op de kaart, zijn zones waar deze variëteiten bijzonder veel voorkomen.

3. *pyroxenieten* (*clinopyroxenieten*) met of zonder granaat (*ariégieten*); 4. *lherzieten* (*pyroxenieten/amfibool-peridotieten*); 5-8. *breccies*, allemaal met een carbonatisch cement; afhankelijk van de samenstelling van de bestanddelen worden onderscheiden: 5. *lherzoliëtenbreccies* binnenin het massief, 6. *breccies* met *lherzoliëten* en kalken in de zuidelijke grenszone, 7. *kalkbreccies* aan de buitenkant van het massief, 8. *granulitische schubben*. (Veranderd naar F. Conquére en P. Monchoux; infografie P. Lebrun.)





Afb. 7. Stopplaats nr. 4: Iherziet-ader (blauwgrijs), meervoudig geplooid in de Iherzoliet. (Foto J. Touret.)



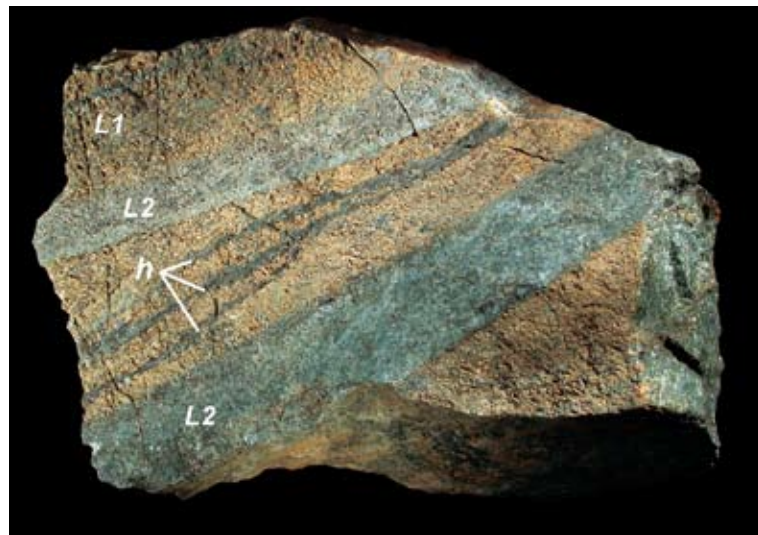
Afb.9 . Ontsluiting langs de weg van Iherzoliet. (Foto S. Muffat).

van *amfibool-Iherzoliet*, of zelfs van *amfiboliet*. Maar dit zijn dubbelzinnige en in grensgevallen volkomen onjuiste termen. Ook de gesteenten die aan de buitenkant van het massief liggen, zijn heel interessant. Aan de noordrand komen ontsluitingen voor van fijnkorrelige granulieten. Deze hoogmetamorfe gesteenten zijn bros en helaas sterk verweerd. Zij vertegenwoordigen de onderste continentale korst direct boven de Iherzolitische mantel; zij zijn sterk ontwikkeld in een aantal schubben die de Noord-Pyreneeënbreuk markeren, en komen ook voor in bepaalde satellietmassieven ten noorden van de centrale zone (Agly). Rondom het massief komen Mesozoïsche kalken voor (Jura en Krijt). Deze maken deel uit van de sedimenten van de Noord-

Pyreneeënzone, zijn losgeraakt en bovenop het Hercynische massief terechtgekomen. Het contact is vaak breccieus; de morfologie van bepaalde breccies zou kunnen wijzen op uitbarstingsfenomenen.

Ontsluitingen met een sleutelpositie

Zoals eerder gezegd, liggen de beste plaatsen om de verschillende petrografische typen te bekijken langs de weg naar Aulus. Onderweg zal duidelijk worden dat het nodig is om enkele honderden meters voorbij het contact van het massief te gaan, tot aan een kleine hoogte die duidelijk in de topografie opvalt. Vanaf deze plaats valt te genieten van een werkelijk buitengewoon uitzicht op de toppen van de axiale (centrale) zone in het zuiden



Afb. 8. Stopplaats nr. 4. Harzburgiet (h) en Iherziet (L2) in Iherzoliet (L1). Breedte: 14 cm. Foto J.-M. Le Cléac'h.

en op het massief van de Trois Seigneurs in het noorden, waarbij duidelijk het belang van de Noord-Pyreneeënbreuk uitkomt. De ontsluitingen zijn beslist niet meer zo goed als ze in 1980 waren toen de weg werd geopend, maar de zes stopplaatsen die op de kaart staan, leiden naar de belangrijkste excursiepunten. Daarbij gaat het niet om punten op de meter nauwkeurig, maar meer om zones waar je de best ontsloten plekken kiest om op onderzoek te gaan.

1. Contact van Iherzoliteten met ingebedde kalken (zwak-metamorfe Jura)

Op het contact komt een sterk verbroken zone voor van 15 tot 20 m dik, die overeen-

komt met een granulitische schub. Deze is sterk verweerd met granaat, saffier, kornerupien (gevonden in het zand) als karakteristieke mineralen. De granulieten zijn langs de weg naar Massat op grote schaal ontwikkeld. Zij worden gevolgd door granitische migmatieten en ter hoogte van Massat, door schisten. Deze opeenvolging komt overeen met een complete sectie van de Hercynische korst, in 'plakken' verdeeld en 'gelamineerd' door talrijke breuken (vergelijk de over elkaar geschoven fragmenten als de kaarten van een kaartspel).

2. Algemeen beeld van het massief

De Iherzoliet laat een gebande structuur zien op meter- tot decimeterschaal met een afwisseling van harzburgiet en pyroxeniet.



Afb. 10. Stopplaats nr. 6. Breccie met uit hoekige fragmenten van uiteenlopende afmetingen van Mesozoïsche kalken (geelachtig) en Iherzolieten (donkerder). (Foto J. Touret.)



Afb. 11. Stopplaats nr. 6. Breccie die overwegend uit kalk bestaat. Let op de zeer grote variatie in grootte van de fragmenten en hun geringe onderlinge verplaatsing. Dit is kenmerkend voor explosie-breccies. (Foto J. Touret.)

De richting is over het algemeen noordoost-zuidwest, schuin ten opzichte van de algemene Pyreneeënrichting, die oost-west is.

3. Breccies en granaatniveaus (ariégieten)

Aan de oever van het meer hebben de breccies in het binnenste van het massief een duidelijke voorkeur voor de Iherzolitische banken. Het cement is carbonaathoudend en zou afkomstig



Afb. 12. Stopplaats nr. 6. Ander voorbeeld van een breccie, die hier voornamelijk uit Iherzoliet bestaat. (Foto J. Touret.)

kunnen zijn van de omringende kalken. Of het is, en dat is mijn overtuiging, gevormd door carbonatisatie van de ultrabasische gesteenten tijdens hun plaatsname, zoals kan worden waargenomen in talrijke schuifzones in een granulitische omgeving.

4. Detail van het Iherzolitische massief in de sectie langs de weg (afb. 7 – 9)

Hier zijn centimeterdikke banken van isoclinaal geplooid pyroxeniet (websteriet), met de plooiing parallel of subparallel aan de foliatie van de Iherzoliet. De structuur is gevormd door plastische deformatie bij hoge temperatuur en druk (deze condities

heersen in de asthenosfeer, het deel van de mantel op een diepte van 100-200 km diepte, dat door de heersende druk- en temperatuurcondities heel makkelijk deformeert). Anders van titaanrijke amfibolieten (Iherzieten) snijden door het gesteente.

5 en 6. Contact tussen Iherzolieten en ingebedde breccies (afb. 10–13)

In het zuidelijke deel van het massief zijn de breccies het sterkst ontwikkeld. De samenstelling van de verschillende componenten in de breccies varieert sterk: dan Iherzolitisch, dan kalkig, maar altijd met een carbonaathoudend cement. Ook de afmetingen variëren sterk, er zijn fragmenten van enkele centimeters tot verscheidene meters, zonder enige regelmaat en willekeurig verspreid. Bepaalde kalkige niveaus bevatten langgerekte, centimeterlange kristallen, die kriskras in het gesteente zitten. Het betreft hier een mineraal met een zeer variabele samenstelling, dat de mineralogen lange tijd heeft geïntrigeerd. Het werd in 1828 door Charpentier *couseraniëet* genoemd. Vervolgens constateerde men dat het een omzetting (met pseudomorfose) betrof van *dipyre*, een mineraal dat Gillet de Lamont in 1786 had beschreven. Deze laatste definieerde het veel later als een vorm uit

de reeks van de *scapolieten*. Scapolieten, die karakteristiek zijn voor de metamorfose in de Noord-Pyreneeën, zijn even oud als alle magmatische of hydrothermale verschijnselen die we bij Lherz of Trimouns (een belangrijke groeve bij Luzenac in de Centrale Pyreneeën) zijn tegengekomen. De processen worden gedateerd als Midden-Krijt en zijn langs de hele Noord-Pyreneeënbreuk terug te vinden.

Met een tocht langs deze ontsluitingen heeft u een unieke blik kunnen werpen op een deel van de aarde (bovenste continentale mantel en onderste continentale korst) dat maar op een enkele plek toegankelijk is voor de mens.

Dankwoord

Met dank aan dr. Kees Biermann (VU-Amsterdam).

Afb. 13 . Staafjes couseraniet (scapoliet) in metamorfe kalk. Kristallen tot 15 mm lang. Collectie ENSMP. (Foto J.-M. le Cléac'h.)



Een beetje petrografie

Ultrabasische gesteenten (peridotieten)

Een magmatisch gesteente dat voornamelijk uit olivijn en de twee pyroxenen bestaat, *geen* veldspaat bevat, soms wat Ca-plagioklaas. Een uitzondering in deze groep is de zeldzame Archaeïsche komatiïet, die een uitvloeiingsgesteente is.

De drie hoofdmineralen

Olivijn (Ol), orthopyroxeen (Opx) en clinopyroxeen (Cpx), eventueel waterhoudende mineralen (phlogopiet, amfibool), maar ook een groot aantal accessorische mineralen, zoals rutiel. De aanwezigheid van sommige daarvan is een aanwijzing voor de diepte waarop het gesteente ontstond: plagioklaas (40-50 km), spinel (tot 80 km), granaat (uit een nog diepere, bijzonder interessante zone, omdat vanaf 120-150 km het stabiliteitsveld van diamant bereikt wordt).

De belangrijkste gesteentetermen

Lherzoliet (Ol + Opx + Cpx), duniet (Ol), harzburgiet (Ol + Opx), wehrliet (Ol + Cpx), websteriet (Cpx + Opx). Bestaat een gesteente alleen uit pyroxeen, dan spreekt men van orthopyroxeniet of clinopyroxeniet. Bij het gebruik van de term pyroxeniet is er risico van verwarring met een bepaald metamorf gesteente.

Bedenk dat de genoemde mineralen instabiel zijn onder de omstandigheden die heersen aan het aardoppervlak en daarom gemakkelijk verweren (serpentijn, chloriet). Bovendien zijn de gesteenten sterk gedeformeerd (plastische deformatie) tijdens hun weg omhoog, of eventueel op de plaats waar zij gevormd zijn – op de grens van lithosfeer en astenosfeer. Deze deformaties kunnen worden geanalyseerd met een optische en een elektronenmicroscop. Het idee bestaat (onder voorbehoud) dat de verwerking afhankelijk is van het gedrag van bepaalde chemische *tracers* (sporenelementen en elementen uit de groep van de zeldzame aarden). De studie van deze gesteenten bevindt zich op het kruispunt van drie disciplines: petrografie, microstructurele geologie en geochemie, die elk hun eigen resultaten aandragen. Dit heeft een indruk-

wekkende hoeveelheid publicaties opgeleverd (honderden referenties over Lherz in de loop van de laatste 30 jaar), maar ook enige communicatiestoornissen tussen de diverse scholen.

De oceanische en de continentale mantel

Nieuwe oceanische korst wordt gevormd langs de midoceanische ruggen (bijvoorbeeld ontsloten op IJsland). De oceanische korst ontstaat door opsmelting van de onderliggende mantel, die eveneens 'oceanisch' genoemd wordt. Uit onderzoek aan ofiolieten (fragmenten van oceanische korst die op de continenten geschoven zijn en dus direct toegankelijk zijn voor waarneming) is gebleken dat deze oceanische mantel 'verarmd' is door gedeeltelijk opsmelten, want hij heeft zijn smeltbare deel: de bazalten, verloren. Het gaat dus om een residu, een soort slak, die alleen nog maar de bestendige, 'vuurvaste' mineralen bevat: in de eerste plaats magnesium-olivijn (forsteriet) die dunieten oplevert, en accessorische orthopyroxeen, met tholeïtische harzburgiet als resultaat. De continentale mantel daarentegen is vruchtbaarder – hij bevat nog het calciumhoudende mineraal clinopyroxeen – zodat bij opsmelten een basalt gevormd kan worden. De gemiddelde samenstelling van de continentale mantel is dus lherzolitisch, en dit maakt dat de typevindplaats van zo'n grote betekenis is. Ontsluitingen van continentale mantel zijn verder zeldzaam en altijd klein. Zij kunnen alleen naar de oppervlakte opstijgen langs grote breuken en die zijn veel zeldzamer dan ofiolitische dekbladen. Op wereldschaal is de Noord-Pyreneeënbreuk het beste voorbeeld en dit is de grote betekenis van het gebied rond Lherz. Het is het belangrijkste, eerst beschreven en best bekende voorkomen van een hele serie vergelijkbare kleine ultrabasische massieven, zoals die van Caussou in de onmiddellijke nabijheid van de carrière de Trimouns, die de Noord-Pyreneeënbreuk tussen Foix en Bagnères-de-Bigorre markeren.

Klein woordenboek voor de beginner

1. Inleiding

Dekblad: een gesteentemassa die tijdens een orogenese over verscheidene tientallen kilometers verplaatst is en die nu bovenop een ander gesteentecomplex ligt. Het gesteentecomplex dat niet verplaatst is, heet autochtoon, het dekblad er bovenop is allochtoon. Zo'n grote overschuiving kan meer dan 100 km bedragen en is te herkennen doordat gesteenten van dezelfde ouderdom, maar met zeer verschillende karakteristieken met elkaar in contact zijn (bijvoorbeeld continentale afzettingen tegen diepzeesedimenten). Ook kunnen oudere gesteenten op jongere gesteenten liggen. Een beroemd voorbeeld daarvan is de Glarner-overschuiving in de Alpen (de eerst beschreven dekbladoverschuiving) waar Permische gesteenten op Eocene gesteenten liggen.

Flysch: fijnkorrelig afzettingsgesteente (limonitisch, kleilig of soms zandig), gevormd tijdens de rustiger tussenfasen van de orogenese. Dit sediment bestaat uit de verweringsproducten van het gebergte. Als deze dikke stapel sedimenten langs de continentale helling naar beneden glijdt en op de diepzeebodem terechtkomen, heten zij turbidieten. Turbidieten bezitten een karakteristieke opbouw die in de jaren 50 van de vorige eeuw voor het eerst beschreven is door de Nederlandse geoloog A. Bouma.

Hercynisch Gebergte: gebergteketens, gevormd tussen het Devoon en het Perm (-400 tot -240 Ma), waarvan de restanten nog goed zijn terug te vinden in Europa (o.a. Asturië, Armoricaans Massief, Ardennen, Alpen, Karpaten (gedeeltelijk), Oeral), in Noord-Amerika (Acadia, Appalachen (gedeeltelijk), enz.). Synoniem: Variscisch Gebergte.

Mantel: dat deel van de aarde tussen de continentale of oceanische korst en de kern. De bovengrens wordt gevormd door de Moho-discontinuïteit; de ondergrens is de overgang naar de kern (2900 km diepte). De samenstelling is waarschijnlijk peridotitisch. De mantel wordt over het algemeen onderverdeeld in bovenmantel (onderste deel van de lithosfeer), asthenosfeer (het ontkoppelingsniveau van de lithosfeerplaten) en ondermantel.

Metamorfose: alle veranderingen in de mineralogie en de structuur van gesteenten door verhoging van temperatuur en/of druk. Metamorfose wordt gekenmerkt door de vorming van nieuwe mineralen en de verschijning van bijzondere texturen.

Mid-oceanische rug: langgerekt reliëf op de oceanabodem, dat de grens vormt tussen twee uit elkaar drijvende platen en waarlangs zich nieuwe oceanische korst vormt.

Ofolieten: een gezelschap van geserpentiniseerde basische gesteenten (gabbro's), ultrabasische gesteenten (peridotieten) en fijnkorrelige kussenbazalten (lava's die onder water zijn uitgestroomd). Deze combinatie van gesteenten wordt beschouwd een stuk oceanische korst en bovenmantel, dat bovenop de continentale korst is geschoven tijdens een botsing van twee continenten of een botsing tussen een continent en een eilandenboog.

Oceanische trog: een diepe, smalle depressie in de oceanabodem langs een continent of een eilandenarchipel, waar oceanische korst wordt teruggevoerd in de mantel (subductie). De lengte kan duizenden kilometers zijn, de diepte 5.000 tot 11.000 meter.

Plaattektoniek: hypothese die in 1968 werd gelanceerd en momenteel wetenschappelijk solide onderbouwd is. Het uitgangspunt is dat het bovenste deel van de aarde,

de lithosfeer, uit stijve platen bestaat die ongeveer 100 km dik zijn en drijven op een deformeerbare deel van de mantel (de asthenosfeer). Binnen deze theorie kunnen de continentverschuivingen worden verklaard, evenals de vorming van gebergten (orogeneses), het voorkomen van aardbevingen en vulkanen en de verspreiding van fauna's.

Schist: ieder metamorf gesteente dat door zijn evenwijdige rangschikking van mineralen in lagen splijtbaar is.

Schistositeit: min of meer grove foliatie (splijting) bij bepaalde gesteenten (met name metamorfe schisten), resulterend uit de ontwikkeling van tektonische druk.

Tethys: de zee die tijdens het Mesozoïcum en Kenozoïcum de scheiding vormde tussen Eurazië en Afrika. Door de botsing tussen Afrika en Eurazië werd deze zee steeds kleiner.

2. Étang de Lerz

Clinopyroxenen: Ca-Na-pyroxenen die in het monokliene systeem kristalliseren (diopsied, pigeoniet, augiet, hedenbergiet, spodumeen, jadeiet, aegyrien, enz.)

Clinopyroxeniet: ultramafisch dieptegesteente dat bijna uitsluitend bestaat uit clinopyroxeen.

Foliatie: gesteentestructuur, gekarakteriseerd door gerichte of afgeplatte mineralen volgens parallelle vlakken.

Granuliet: metamorf gesteente dat bij hoge temperatuur (>600-650 °C) en hoge druk gevormd is. Het is kenmerkend voor de katazone (de diepste metamorfe zone), is fijnkorrelig en gewoonlijk licht van kleur. Het bestaat gewoonlijk uit kwarts en veldspaat, met pyroxeen en accessorisch granaat en oxides.

Harzburgiet: ultramafisch dieptegesteente dat veel overeenkomst heeft met duniet en dat voor het merendeel bestaat uit olivijn (forsteriet) en orthopyroxeen. Het zou het peridotitische restmateriaal vertegenwoordigen van een mantel die een of verscheidene episodes van gefractioneerde opsmelting heeft ondergaan.

Isoclinaal: term die wordt gebruikt bij een plooi met parallelle flanken.

Kaersutiet: titaanrijke hoornblende (amfibool).

Lherzoliet: peridotitisch dieptegesteente met twee soorten pyroxeen: Opx en Cpx, met een chemische samenstelling die dichtbij pyroliet ligt. (Zie aldaar). Het is een mantelgesteente dat geen partiële opsmelting heeft ondergaan (in tegenstelling tot harzburgieten).

Migmatiet: heterogeen gesteente dat sterk gemetamorfiseerd is en deels opgesmolten is geweest, typisch voor de katazone. Het zou het moedergesteente van bepaalde granieten vertegenwoordigen. Er zijn talrijke variëteiten, zoals embréchieten, asterieten, rubelieten, agmatieten, diadysieten, phlebieten.

Olivijn: groen mineraal, met Fe-olivijn (fayaliet) en Mg-olivijn (forsteriet) als pure eindleden en alle mengvormen daartussen in.

Orthopyroxenen: Fe-Mg-pyroxenen die kristalliseren in het orthorhombische systeem (enstatiet, hyperstheen, bronziet, enz.).

Orthopyroxeniet: ultramafisch dieptegesteente dat bijna geheel uit orthopyroxeen bestaat.

Pargasiet: aluminium-amfibool uit de hoornblendegroep.

Pyroliet: theoretisch gesteente (75% peridotiet en 25% bazalt), waaruit de oorspronkelijke bovenmantel zou kunnen bestaan.