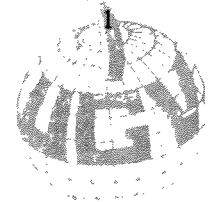


emmering  $(U - U^0)I^0 = 0$



**Tentamen AW-3107 – Structurele Geologie & Tektoniek (de Bresser)**

Datum: vrijdag 2 mei 2003  
Tijd: 14.00-17.00

Beantwoord alle 4 vragen hieronder. Iedere vraag is 2.5 punten waard. Lees de vragen nauwgezet en leg altijd uit hoe je aan het antwoord gekomen bent. Be creative! Lever alles in, ook de vragen. Succes!

**Vraag 1 – Strain measurement**

In geplooid Devonische kalken in de noordelijke Pyreneeën zijn gedeformeerde fossielen aangetroffen (Fig. 1a - loodrecht op de gelaagdheid georiënteerd). In deze gedeformeerde fossielen zijn kleine 'tension gashes' zichtbaar. Deze suggereren dat de fossielen tijdens deformatie een volumeverandering van 10% hebben ondergaan. Aangenomen mag worden dat de deformatie 'plane strain' was.

$\gamma = \epsilon_2 = 1$        $\lambda \gamma z = 0.9$

Direct onder de Devonische kalk is een Ordovisisch conglomeraat nivo aangetroffen. De  $R_f - \phi'$  methode is toegepast om de vorm en oriëntatie van pebbles in dit conglomeraat te analyseren (Fig. 1b – referentielijn hetzelfde als bij Fig. 1a).

- a) Bepaal de strain ratio  $R_f$  voor de gedeformeerde fossielen van Fig. 1a (gebruik eventueel de Breddin Graph van Fig. 1c). Aangenomen mag worden dat de oorspronkelijke fossielen een symmetrische vorm hadden.
- b) Beschrijf kort het principe achter de  $R_f - \phi'$  methode (Fig. 1b).
- c) Bepaal op basis van Fig. 1b wat de strain ratio  $R_2$  is van de pebbles. Waarschijnlijk zal het resultaat voor  $R_2$  niet hetzelfde zijn als  $R_f$  voor de gedeformeerde fossielen (vraag 1a). Geef een waarschijnlijke verklaring voor het verschil.
- d) Wat vertellen de resultaten van de strain-analyse je ten aanzien van het plooiemechanisme voor het kalk-conglomeraat pakket?
- e) Er wordt melding gemaakt van tension gashes in de gedeformeerde fossielen. Wat verwacht je dat hun vorm en oriëntatie is? Geef aan in Fig. 1a (en geef argumenten).
- f) Kwantificeer de strain van de kalk in 3 dimensies door de grootte van de 'principal stretches' te bepalen (lees de introductie van deze vraag nog een keer!). Geef het resultaat weer in een (geschikt) Flinn diagram.

**Vraag 2 – Tensor description of strain**

Numerieke (computer) experimenten maken het mogelijk complexe deformatie geschiedenissen te analyseren. Onderstaande 'Position Gradient' tensoren beschrijven twee opeenvolgende stappen van de deformatie in zo'n (twee-dimensionaal) experiment.

$$1^e \text{ stap: } F_{ij} = \begin{pmatrix} 1.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.7 \end{pmatrix} \quad 2^e \text{ stap: } F_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0.6 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

*Handwritten note:*  $F_{11} = 1.2$

vervolg vraag 2:

- Maak gebruik van tekeningen om uit te leggen wat de geometrische betekenis is van deze twee tensoren (bijvoorbeeld: hoe ziet een vierkant eruit na deformatie?).
- Wat is de 'oppervlakte'-verandering tijdens de twee stappen?
- Bepaal de groottes van de 'principal strains' voor stap (1)
- Wat is de oriëntatie van de principal strain assen voor stap (1).
- Hoe ziet de (finite) position gradient tensor eruit na de 2 stappen?  $\lambda_2 = \lambda_1$
- Na de twee stappen zullen er twee lijnen zijn of 'no finite longitudinal strain'. Leg uit wat hiermee bedoeld wordt, en wat in dit verband het nut is van het analyseren van de twee afzonderlijke stappen.

$$\begin{pmatrix} 1,2 & 0,3 \\ 0,2 & 0,7 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1,2 & 0,2 \\ 0,3 & 0,7 \end{pmatrix}$$

### Vraag 3 – Structural styles

Fig. 2 laat de geometrie zien van de 'hanging wall' boven een listrische breuk in een experimenteel ('scale') model. In het experiment is een gelaagd pakket zanden gedeformeerd door de hanging wall uit te rekken t.o.v. een rigide 'foot wall'. De uitrekking was 50%. Een deel van de zandlagen is toegevoegd *tijdens* de deformatie.

- Geef een beschrijving van de verschillende structuren zoals die te zien zijn in Fig. 2. Maak daarbij duidelijk waarom het van belang is om gebruik te maken van het concept 'Structural Style'.
- Indien de structuren in Fig. 2 gereactiveerd zouden worden tijdens een verkortingsfase, wat zouden dan de karakteristieke structuren zijn die je verwacht aan te treffen? Neem in je analyse de mogelijkheid mee dat nieuwe zandlagen worden toegevoegd tijdens de verkorting. Tekeningen kunnen van nut zijn bij de beantwoording van deze vraag.
- In bovenstaand model is slechts gebruik gemaakt van zandige ('brittle') lagen. Bediscussieer wanneer het nodig is om ook ductiele lagen toe te voegen aan een model (beperk je niet door het specifieke geval van extensie zoals weergegeven in Fig. 2 – denk aan het Brun-paper).

### Vraag 4 – Anatomy of orogenic belts

Fig. 3 geeft de tekst van één van de conclusies in een artikel over de opbouw en evolutie van de Varistische (centrale) Pyreneeën (Vissers 1992, *Tectonics*, Vol. 11). In de tekst wordt gesuggereerd dat de vroege Pyreneeën een anatomie hadden als van een 'core complex'.

- Vergelijk de conclusie van Fig. 3 met je kennis van kenmerken van een 'core complex'. Welke elementen zou je minimaal in het artikel beschreven willen zien om overtuigd te worden van het gelijk van de auteur?
- Ontwerp een diagram waarin relatieve timing van porphyroblast-groei en deformatie wordt weergegeven voor het Pyreneese voorbeeld. Er zijn natuurlijk veel antwoorden mogelijk, maar zorg in ieder geval dat je diagram 'kloppend' is met de suggestie van een core complex.
- Zou het nut hebben om een length-throw analyse uit te voeren aan de breuken van de tilted half-grabens? ("ja" of "nee" is niet genoeg...)
- Ook in fold-and-thrust belts kunnen zich extensionele structuren ontwikkelen (denk aan de 'snow plow'). Hoe kun je het onderscheid maken met de core complex historie van Fig. 3?

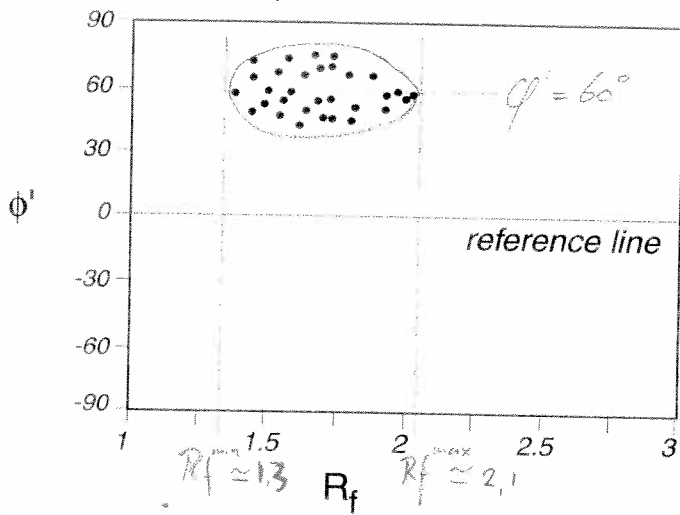
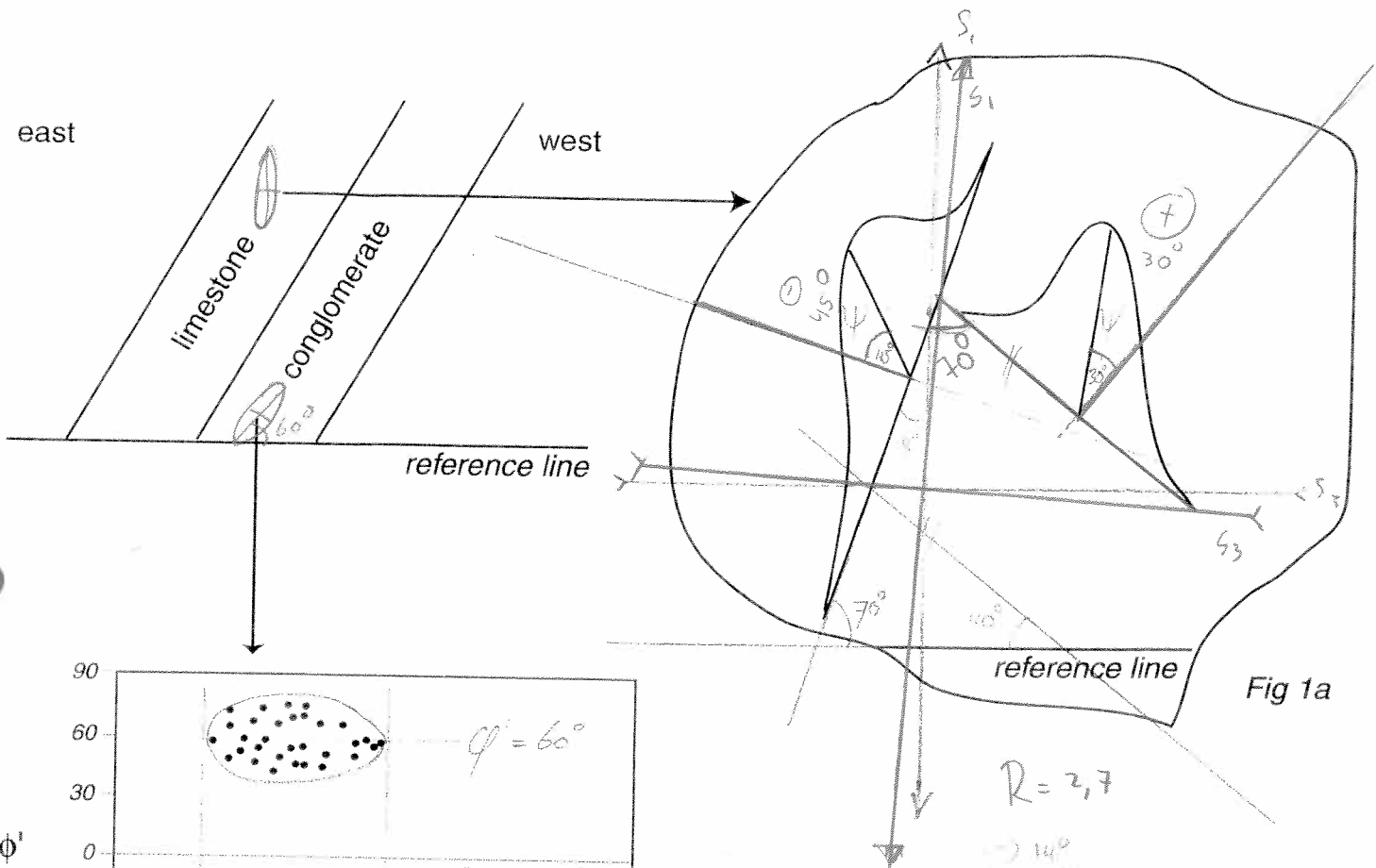


Fig 1b - positive angles  $\phi'$  measured clockwise from reference line

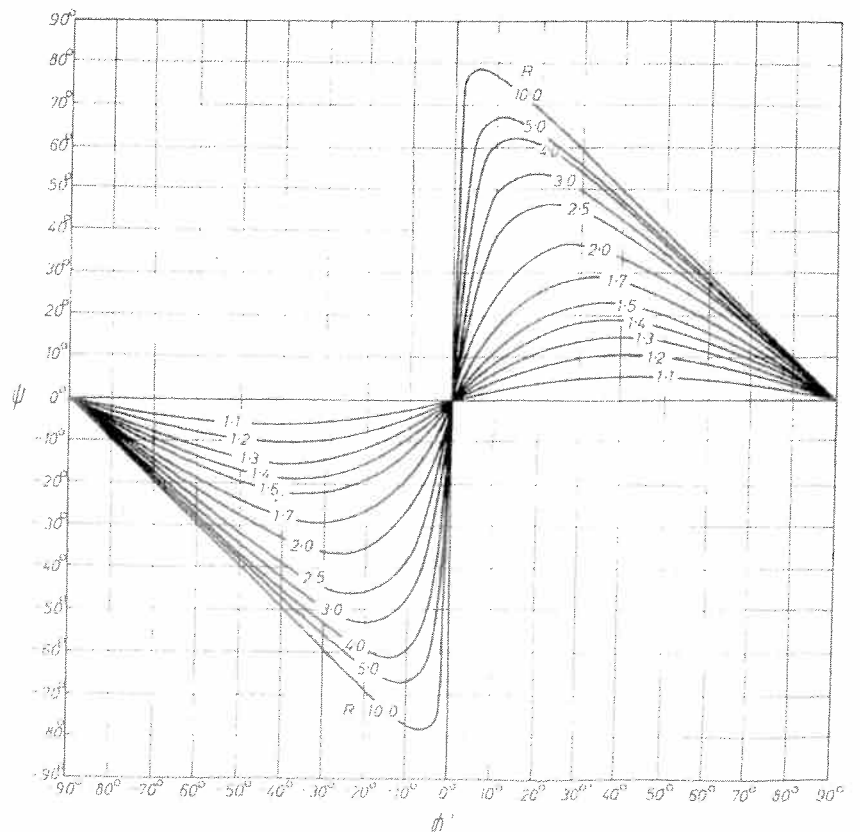


Fig 1c

Fig. 2

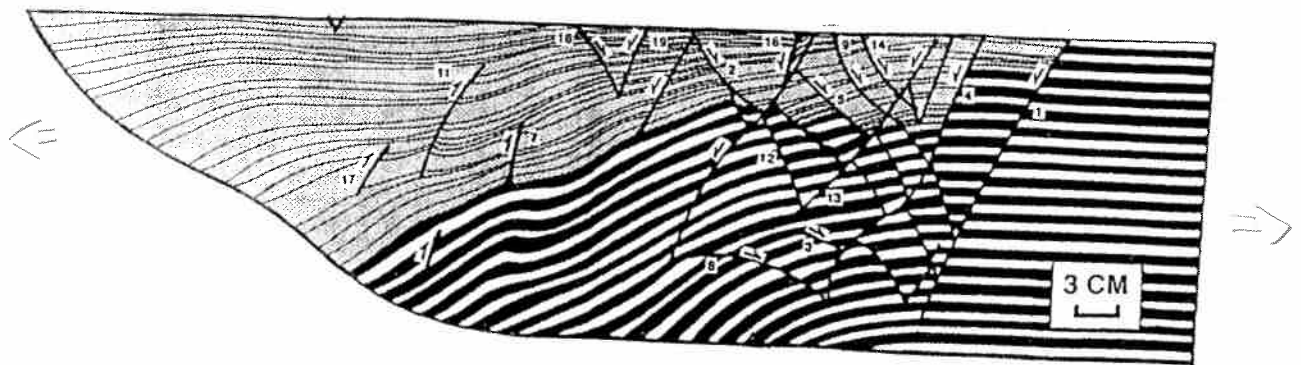


Fig. 3

### CONCLUSIONS

1. Structural analysis shows that the Variscan orogeny in the Pyrenees involved two stages, i.e., a Namurian-Westphalian stage of crustal shortening and thickening reflected by early thrusts and a steeply oriented low-grade suprastructure, and a Stephanian to Early Permian stage of crustal extension leading to tilted halfgrabens, flat-lying infrastructure foliations, spaced metamorphic domes, and gneissic core complexes mantled by crustal-scale shear zones. These extensional structures developed at the onset of extensive lower crustal melting and granodioritic intrusion during the Early Permian.

*Supra - = above*