

Tentamen Geologische Constructies  
Ta 2921  
14 januari 2003, 14<sup>00</sup>-17<sup>00</sup>, tekenzolder



### Inleiding

Tsjaad, gelegen aan de zuidrand van de Sahara, ten zuiden van Libië, is een van de armste landen ter wereld. Het gemiddelde inkomen per hoofd van de bevolking is minder dan 200 Euro, en de gemiddelde levensverwachting is ca. 47 jaar. Het land heeft ongeveer 6,5 miljoen inwoners en is ongeveer 30 keer zo groot als Nederland. Sinds de onafhankelijkheid in 1960 is het land geteisterd door een serie van burgeroorlogen en staatsgrepen. Ook de huidige president, Idriss Deby, is in 1990 door een staatsgreep aan de macht gekomen. Bij min of meer vrije verkiezingen in

1996 en 2001 is hij opnieuw herkozen. Dit heeft gezorgd voor een relatief lange periode van politieke stabiliteit in het land. Alleen in het noorden is het nog onrustig. Hier is de *Mouvement pour la Democratie et la Justice au Tchad* een rebellie begonnen tegen de regering in N'Djamena. Na de dood van rebellenleider Youssouf Togoïmi door een landmijn in eind 2002 en vredesonderhandelingen onder leiding van Libië lijkt de rust in het noorden van Tsjaad weer te keren.

Als gevolg van de relatieve politieke rust in Tsjaad lijkt er nu toch echt begonnen te worden met de exploitatie van de uitgebreide olie reserves van het land. Een consortium onder leiding van Exxon is bezig met een \$3 miljard pijpleiding project om olie van enkele velden in het Doba bekken, in het zuiden van het land, naar de kust in Kameroen te transporteren. Verwacht wordt dat zo'n 250.000 vaten olie per dag geëxporteerd kunnen worden, met een totale reserve van 900 miljoen vaten.

Om ook in de eigen oliebehoefte te kunnen voldoen is met hulp van de Wereldbank een groot exploratieproject opgezet in Tsjaad. Als eerste resultaat is het Sedigi veld ontdekt, ten noorden van het Tsjaad Meer, maar ook in het noorden lijken gunstige omstandigheden aanwezig.

## De Opdracht

U werkt als exploratie geoloog voor de *Société Tchadienne de Recherche et d'Exploitation des Hydrocarbures*, en bent betrokken bij een exploratie project in de Borkou-Ennedi-Tibesti Regio (zie onderstaand kaartje).

Het Tibesti gebergte in het westen van deze regio is een opgeheven Precambriësch massief waar recentelijk een aantal vulkanen in actief zijn geweest. Een van deze vulkanen, de Emi Koussi, is met zijn 3415 meter de hoogste berg van de Sahara. Vanuit een exploratie oogpunt is dit gebied minder interessant. Ook het Ennedi gebied in het oosten is een oud opgeheven massief, met voornamelijk vulkanische gesteenten.



Het middelste gedeelte maakt deel uit van een groot bekken, dat onder meer het Faya Largeau Bekken en het Kufra Bekken omvat. In dit laatste bekken is op een geofysische survey een interessante structuur ontdekt en U hebt als opdracht om te komen tot een interpretatie van de ondergrond.

Het onderzochte gebied ligt in een zeer droog, woestijnachtig gebied, grofweg halverwege (zie kaart) de oases van de Faya Largeau en Ounianga Kébir (zie foto)



*De oase van Ounianga Kebir.*

Het onderzoek wordt vanaf het begin geplaagd door problemen, deels doordat het gebied erg heet en droog is en bovendien zeer slecht toegankelijk is (foto), maar ook doordat er in het gebied nog een troep rebellen rond blijkt te zwerven die voor haar overleven afhankelijk is van berovingen en ontvoeringen.



*De weg naar Faya Largeau*



*Het exploratiegebied*

Na het boren van een viertal exploratieputten (zie bijgevoegde kaart) is het basiskamp twee weken geleden door de rebellen overvallen, waarbij de boortruck is vernield, een grote hoeveelheid materiaal is gestolen, en de geofysicus is ontvoerd. De rebellen hebben zich daarna vermoedelijk teruggetrokken in het Tibesti gebergte, maar het zou ook kunnen dat ze naar Libië gevlucht zijn.

U hebt met de rest van het exploratie team kunnen vluchten naar Faya Largeau (foto), dat onder bescherming van het leger van Tsjaad valt.

Daar bevindt U zich nu, en terwijl het leger (zie foto) op zoek is naar de rebellen en uw geofysicus, probeert U met de geredde gegevens te komen tot een eerste indruk van de ondergrond.



*Onderweg naar Faya  
Largeau*



*Een pantserwagen van het Tsjadische leger bij  
Faya Largeau*

Veel hebt U niet mee kunnen nemen, slechts een tweetal deels geïnterpreteerde geofysische secties, de grote lijnen van de exploratie put gegevens en een niet al te precieze topografische kaart.

Op de interpretatie van de twee seismische secties (een N-Z en een O-W, aangegeven op de kaart), zien we een anticlinale structuur, ingeklemd tussen twee steile breuken, onder een discordantievlak. De breuken lijken niet door te lopen in de lagen boven de discordantie.

De secties zijn min of meer geconverteerd naar diepte, maar de boringen zijn nog niet aangegeven in de secties.

Bij de boringen is geprobeerd om de anticline die zichtbaar is op de seismiek aan te boren, deels met succes. Daarbij bleek in boring 1 dat een zandsteenlaag op 1500 m diepte olie bevatte. Drie verdere putten werden geboord om de omvang van de structuur te bepalen, maar slechts boring 3 leverde ook olie, met een OWC, op.

Aan U nu de taak om de beschikbare data zo goed mogelijk te interpreteren, en zo te komen tot een inschatting of het de moeite gaat lonen om verder te gaan met de exploratie in dit gebied. Ga er bij de interpretatie van uit dat niet alle vlakken ook perfect platte vlakken hoeven te zijn.

### **Voorlopige resultaten van exploratieboringen:**

#### **Boring 1** (diepte t.o.v. zeeniveau, verticale put)

Tot -970 m:	Continentale afzettingen van schalies met zandsteen en conglomeraat inschakelingen uit het Tertiair en Maastrichtien. De lagen hebben een helling van 7 graden.
-1000 tot -1025 m:	Ondiep mariene schalies uit het Turonien, dip van 18 graden.
-1025 tot -1500 m:	Mariene mergels met mergelige kalkbanken uit het Cenomanien
-1500 tot -1625 m:	Kustafzettingen van zandsteen uit het Albien, olievoerend, dip van 18 graden.
-1625 tot -2500 m:	Ondiep en diep mariene schalies uit het Aptien en Barremien. Schalies vertonen een verticale assenvlaksfoliatie, de intersectielijn met de gelaagdheid is horizontaal.
-2500 tot -2850 m:	Precambrisch Basement
-2850 tot -3000 m:	Breukzone, steil, met vrijwel verticale wrijfkassen, gevolgd door Barremien, na -3000 opnieuw Precambrium.

#### **Boring 2** (diepte t.o.v. zeeniveau, verticale put)

Tot -1175	Tertiair & Maastrichtien, dip 7 graden.
-1175 tot -1400	Turonien, dip ca.4 graden
-1400 tot -1850	Cenomanien
-1850 tot -1975	Albien zandsteen, watervoerend, dip ca.4 graden
-1975	Breukzone, zeer steil, vrijwel horizontale wrijfkassen.
-1975 tot -2250	Cenomanien
-2250 tot -2375	Albien, horizontaal, watervoerend
-2375 tot -2500	Aptien schalies, boring gestopt op -2500

#### **Boring 3** (diepte t.o.v. zeeniveau, verticale put)

Tot -955	Tertiair & Maastrichtien, dip 7 graden
-950 tot -1250	Turonien, dip 18 graden
-1250 tot -1700	Cenomanien
-1700 tot -1825	Albien zandsteen, dip 18 graden, OWC op -1800 m
-1825 tot -2500	Aptien schalies, verticaal gefolieerd, boring gestopt

#### **Boring 4** (diepte t.o.v. zeeniveau, verticale put)

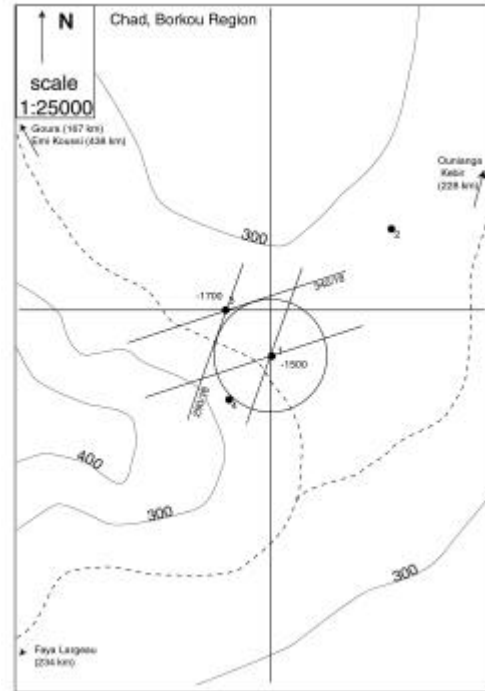
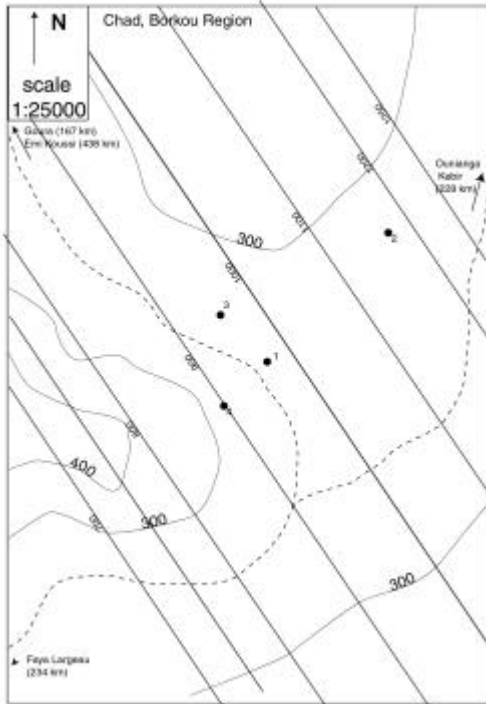
Tot -900	Tertiair & Maastrichtien, dip 7 graden
-900 tot -1400	Turonien, dip 18 graden
-1400 tot -2000	Cenomanien
-2000 tot -2125	Albien zandsteen, watervoerend
-2125 tot -2500	Aptien, licht gefolieerd, boring gestopt

## Vragen:

1. Wat is de oriëntatie van de gesteenten uit het Tertiair en het Maastrichtien?

Met een drie/vier puntsconstructie is dit goed te bepalen natuurlijk, ofschoon de getallen wat slecht uitkomen, dat geef ik toe.

Oriëntatie 225/07



2. Bepaal m.b.v. een kegelconstructie wat de mogelijke oriëntaties zijn voor het Albien tussen boringen 1 en 3.

Pfoe, dat valt niet mee, want het lijkt wel of de te tekenen cirkel door de andere boring heen gaat. Alleen als je heel precies werkt, krijg je een cirkel met een straal van 2,4 cm, terwijl de boringen 2,7 cm uit elkaar liggen.

Uiteindelijk kun je twee raaklijnen tekenen, en deze geven ongeveer 340/18 en 290/18.

3. Welk van deze oriëntaties denkt U dat de werkelijke is en waarom denkt U dit?

Als we naar de seismiek kijken, dan zien we dat de lagen in het NW profiel een redelijke helling hebben, maar dat ze in het EW profiel vrij vlak liggen. 340/18 verdient daarom de voorkeur.

4. Wat denkt U dat de oriëntatie van de assenvlakfoliatie is in boringen 1 en 3?

De foliatie is verticaal, maar de intersectielijn met de lagen is horizontaal: dat betekent dat we te maken hebben met een horizontale plooias. De lagen hadden oriëntatie 340/18, dus de strekking hiervan (die is immers horizontaal) moet dan de plooias zijn, dus LIN 070/00 (of LIN250/00).

Die lijn is dan ook meteen de strekking van het assenvlak, en dat stond verticaal => de oriëntatie van het assenvlak is 340/90 (of 160/90)

5. Uitgaande van dit feit, wat denkt U dan dat de oriëntatie van de andere plooiflank zal zijn?

We kunnen het tekenen in het Wulff net, maar het kan ook uit het hoofd, eerste flank 340/18, verticaal assenvlak met horizontale plooias => andere plooiflank 160/18

6. Bepaal aan de hand van het antwoord op vraag 5 de richting van de grootste hoofdspinning ( $\sigma_1$ ). Geef deze aan op de kaart. Wat denkt U dat de oriëntatie van de kleinste hoofdspinning ( $\sigma_3$ ) zou (kunnen) zijn, en waarom denkt U dit?

Op basis van de seismiek (plooï) en de oriëntatie van die plooï moet  $\sigma_1$  wel horizontaal lopen, loodrecht op de plooias, d.w.z. LIN 340/00 (of LIN160/00)  $\sigma_3$  wordt moeilijker, er zijn horizontale wrijfkrassen gevonden wat wijst op strike slip, en dus  $\sigma_3$  horizontaal, maar ook verticale krassen en een plooï wat weer wijst op  $\sigma_3$  verticaal. Kennelijk varieert dit van plaats tot plaats.

7. Wat voor breuken betreft het hier, en waarom denkt U dit?

Zie ook boven, er lijkt de nodige variëteit te zijn. Wel zijn de breuken allemaal heel steil, en zijn er horizontale krassen gevonden. Bovendien komen de breuken op een dieper niveau, in het basement allemaal bij elkaar in een steile breuk. Strike slip breuken, wellicht met een bocht erin lijkt de beste optie, aangezien ze zeker te steil zijn voor overschuivingen. Uitgaande van de oriëntatie van de spanningen en de deformatie zouden het dan sinistrale breuken moeten zijn

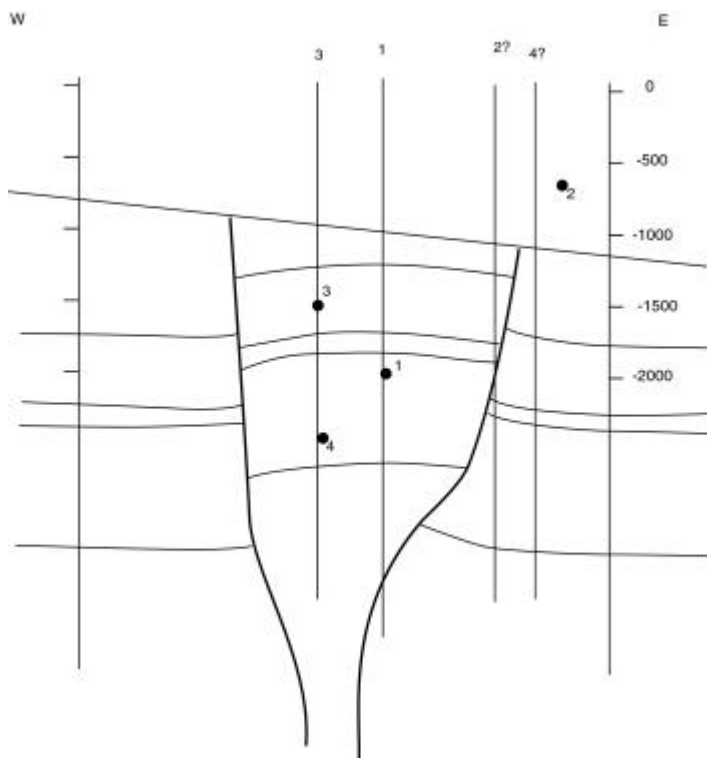
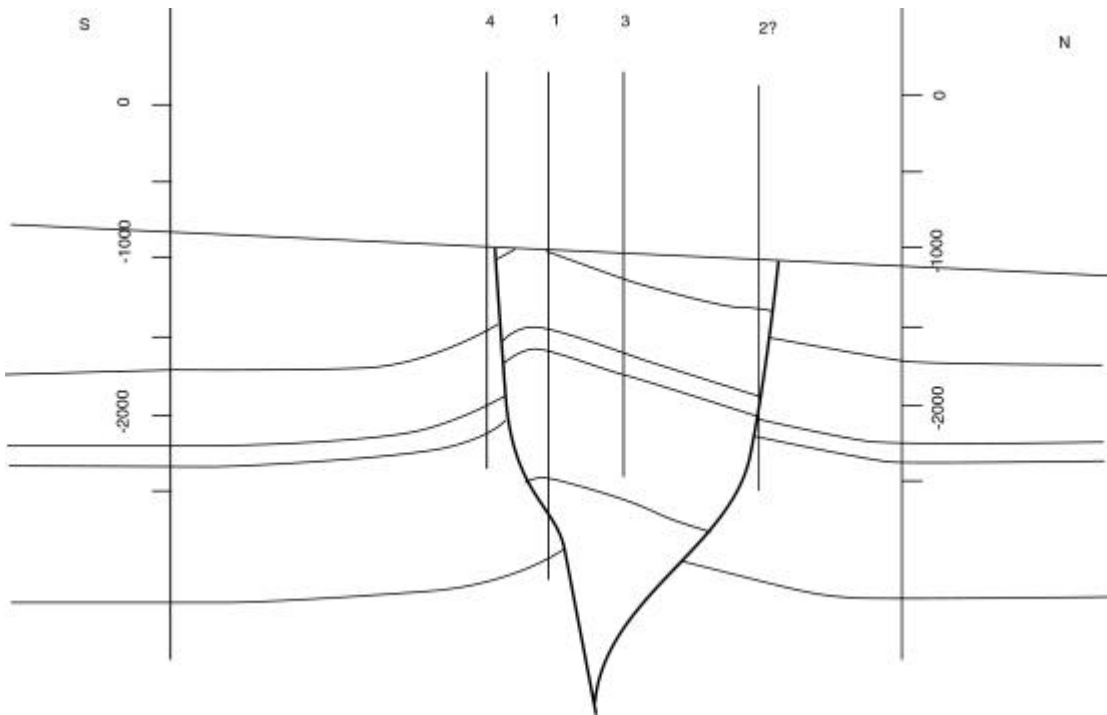
8. Hoe zou U deze structuur noemen?

Dit is een typisch voorbeeld van een flower structure, een strike slip breuk die zich splitst en de bocht omgaat, waardoor er plaatselijk compressie ontstaat. Vooral in de profielen is dit duidelijk te zien.

9. Probeer in de secties aan te geven waar de boringen zich ongeveer bevinden in de structuur.

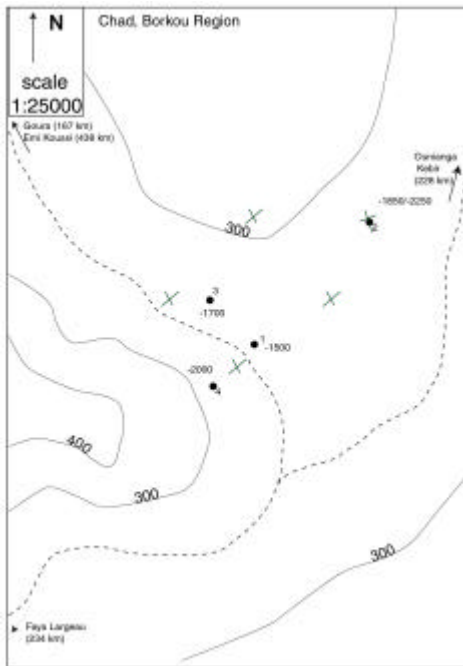
Boringen 1 en 3 zijn relatief makkelijk, want die liggen precies op een van de secties. De andere twee wordt wat moeilijker, want hoe brengen we ze over naar de profiellijnen? Loodrecht? Evenwijdig aan de plooias? Evenwijdig aan de breuken? Ze moeten natuurlijk wel aan de goede kant van de breuken komen te liggen....

We weten nog niet precies hoe de breuken lopen, dus doen we het evenwijdig aan de plooias. Bij het NS profiel lijkt dat redelijk te gaan, alleen 2 is onzeker. Bij het EW profiel wordt dat veel moeilijker, omdat hij vrijwel evenwijdig is aan de plooias, en dus wordt het daar moeilijker. Ik heb 1 loodrecht gedaan, omdat de andere plooiflank niet zichtbaar is, 2 evenwijdig aan de waarschijnlijke breuk (ook de hoeveelheid verplaatsing lijkt hetzelfde) en 4 helemaal uit de losse hand (zie ook later)



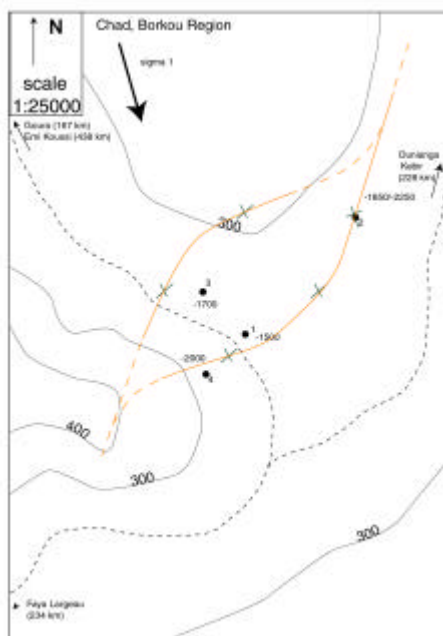


10. Probeer te bepalen waar de breuken zich ter hoogte van het reservoir, dus onder het discordantievlak, bevinden en schets ze zo goed mogelijk op de kaart. Verklaar waarom U ze zo hebt getekend.



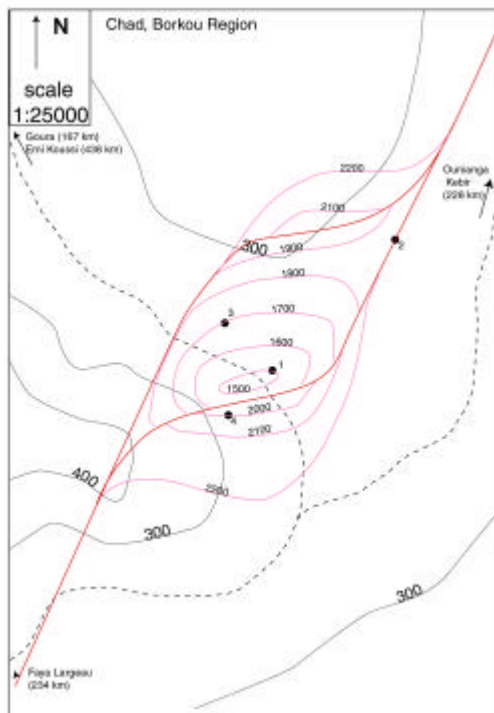
Heel lastig, we hebben breuken in boringen 1 en 2 en we weten waar ze zitten in de profielen, maar hoe we ze verbinden.....(zie kaartje).

Uit de profielen weten dat er minstens twee breuken zijn. Verder moet er wel een breuk tussen boring 1 en 4 langsgaan, want de zandsteen zit opeens zo laag in 4. Als we uitgaan van de orientatie van  $\sigma_1$  uit opgave 6, dan staan op/overschuiving loodrecht op die spanning (boring 1) en maken strike slip breuken ( boring2) een hoek van  $45^\circ$  met die spanning. Die gegevens gebruiken we voor de eerste schets.... Steile breuken in de EW sectie, minder steil (?) in NS levert dit plaatje op:



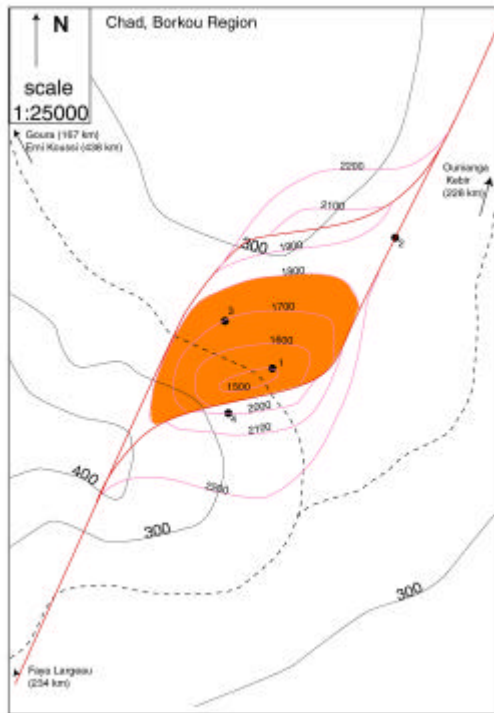
11. Teken zo goed mogelijk de structuurkaart van de Top van het Albien.

Ook hier weer een operatie met veel onzekerheden, we weten de orientatie tussen boring 1 en 3, in boring 4 helt het de andere kant uit, maar wat er in boring 2 gebeurt? Een hoe dat verder gaat is ook lastig, alleen weten we dat de zandsteen in het gebied buiten de breuken uiteindelijk min of meer horizontaal gaat lopen op ca. -2250 meter. Bovendien zien we in het EW profiel dat ook daar de lagen licht gebogen zijn, zodat het geen mooie doorlopende plooi is, maar meer een soort domestructuur heeft. Al die gegevens gecombineerd met wat natte vinger werk levert (mij) het volgende plaatje op:



12. Geef in de kaart aan waar zich volgens U wel en waar zich geen olie in de ondergrond bevindt.

Het OWC zit op -1800 in boring 3, dus dat levert het volgende kaartje op:



13. Teken ook de isochorenkaart van het olievoorkomen, voor zover mogelijk.

De 0 isochoor is de rand van het olievoorkomen, de 100 loopt over de 1700 structuurlijn, en het maximum is 125 m, net iets binnen de 1700.

14. (bonusvraag, 1/2 punt) Uitgaande van een porositeit van de zandsteen van gemiddeld 25% en een recovery factor van 20%, hoe groot verwacht U dan dat de reserves van dit veld zouden kunnen zijn?

Hiervoor moet je een idee hebben van de oppervlakte, en dat vervolgens vermenigvuldigen met de dikte, en dan met de porositeit en de recoveryfactor. Zien we het reservoir grofweg als een ellips (opp.= $\pi ab$ ), dan kunnen we de oppervlakte in twee stappen berekenen: het gedeelte binnen de 125 m isochoor, daar zit de zandsteen helemaal vol, en het gedeelte daarbuiten, de wedge zone, waar het (gemiddeld) halfvol zit.

De oppervlakte van het hele reservoir is ongeveer  $\pi * 18750 * 1125 = 66267968 \text{ m}^2$ .

De gedeelte binnen de 125 m isochoor ongeveer  $\pi * 1500 * 750 = 3534291 \text{ m}^2$ .

Het gedeelte buiten de 125 m isochoor is dus  $62733677 \text{ m}^2$ .

Dat geeft als volume voor de te verwachte opbrengst  $(353429100 * 1250 * 0.25 * 0.2) + (62733677 * 625 * 0.25 * 0.2) = 220 \times 10^9$  liter olie, dus een miljard vaten.

15. Ga uitrusten in de oase van Faya Largeau (foto)

Hehe, eindelijk.....

