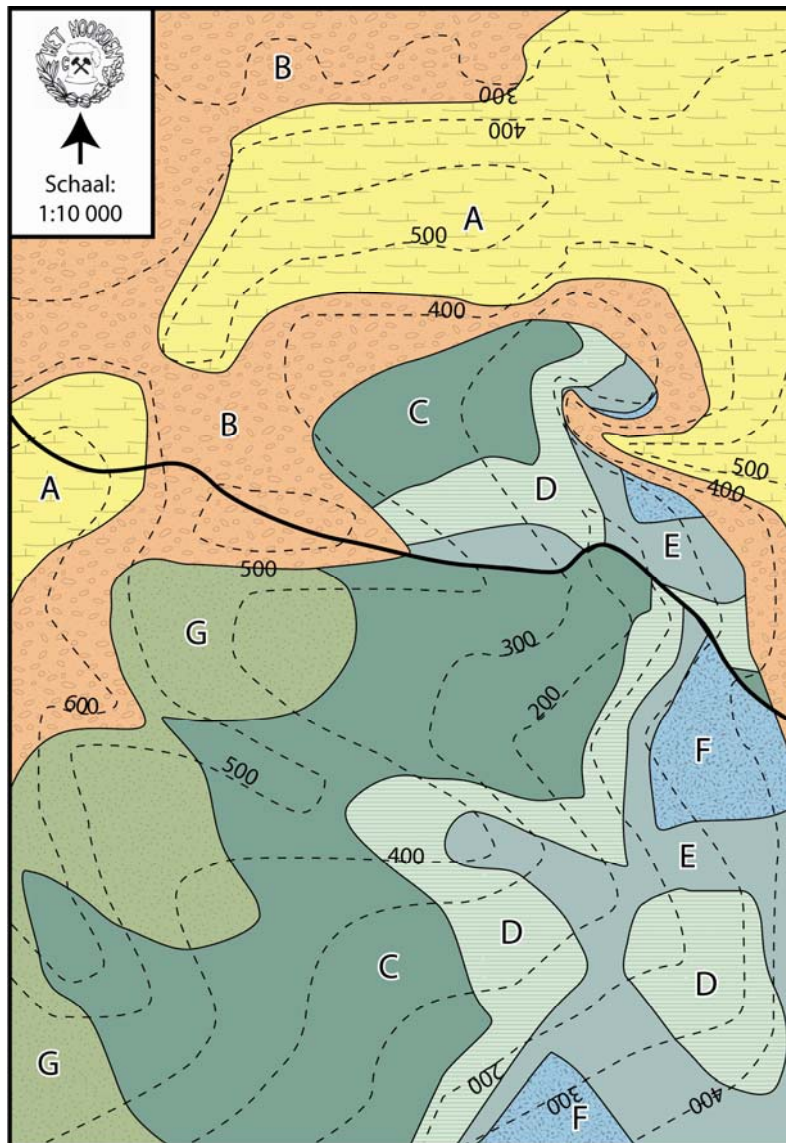


TA1911

Geologisch Kaartlezen

Juli 2008

J.C. Blom



1	INLEIDING	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Het practicum.....	5
2	KAARTEN	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Geologische kaarten.....	8
3	ORIENTATIES.....	10
3.1	Oriëntatie van een vlak	10
3.2	Oriëntatie van een lijn.....	14
3.3	Oriëntaties in het veld	15
4	STRUCTUURLIJNEN	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Structuurlijnen + schaal ---> oriëntatie.....	17
4.3	Schaal + oriëntatie ----> structuurlijnen.....	19
4.4	Driepuntsconstructie	21
4.5	Dagzoompatronen + hoogtelijnen ---> structuurlijnen	23
4.6	Structuurlijnen + hoogtelijnen ---> dagzoompatronen	24
4.7	"Regels" voor het werken met structuurlijnen	25
5	DAGZOOMPATRONEN.....	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Horizontaal terrein	26
5.3	Geaccidenteerd terrein	27
5.4	Regel van de 'V's.....	30
6	LAAGDIKTE	33
6.1	Stekkende breedte.....	33
6.2	Ware dikte.....	34
6.3	Verticale dikte.....	35
6.4	Minimale verticale dikte	37
7	GEOLOGISCHE PROFIELEN.....	39
7.1	Algemeen	39
7.2	Profielconstructie	41
8	PLOOIEN	44
8.1	Algemeen	44
8.2	Structuurbeeld.....	45
8.3	Kaartbeeld	48
9	BREUKEN.....	50
9.1	Inleiding	50
9.2	Indeling van breuken.....	51
9.3	Beweging langs het breukvlak	55
9.5	Structuurkaart van een opschuiving.....	57
9.6	Herkenning breuk op geologische kaart.	58
10	OLIE / GAS RESERVOIRS.....	59
11	GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS	64

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

Afhankelijk van het doel worden, bij mijnbouwkundige- of civieltechnische projecten, verschillende typen van geologische kaarten gebruikt. In alle fasen van deze projecten zijn geologische kaarten van groot belang voor een drie-dimensionaal inzicht in de plaatselijke of regionale situatie aan het aardoppervlak of in de ondergrond.

Zo kan bijvoorbeeld - voordat ook maar een boring is verricht - aan geologische kaarten informatie worden ontleend die van groot belang kan zijn voor de toe te passen exploratietechnieken en voor het bepalen van de locaties of de lijnen waarlangs deze exploratie moet worden uitgevoerd.

In de civiele techniek maken ingenieursgeologen gebruik van geologische kaarten om, met behulp van bepaalde exploratietechnieken, de geologie en de geotechnische parameters van de ondergrond te voorspellen, bijvoorbeeld met betrekking tot hellingstabiliteit of grondwater, of bij bagger-, hei- of funderingswerken.

In de mijnbouw worden geologische kaarten o.a. gebruikt voor de berekening van ertsreserves en voor de geotechnische aspecten van "mine planning" en "mine layout".

In de oliewinning wordt informatie, ontleend aan geologische kaarten, gebruikt voor lokalisatie van olie- en gasvoorkomens en voor reserveberekeningen.

Wil men kostbare fouten en mogelijke ongelukken vermijden, dan is een juiste interpretatie van geologische structuren in al deze vakgebieden van groot belang.

1.2 Het practicum

Voor het volgen van het practicum, en het met succes afleggen van het bijbehorende tentamen, zijn behalve enig driedimensionaal inzicht de volgende zaken nodig :

- een 0,5 mm vulpotlood met HB stift
- een lineaal
- een gradenboog of geodriehoek
- twee tekendriehoeken (voor het tekenen van parallelle lijnen)
- enige kleurpotloden
- een gum
- evt een passer
- de capaciteit om netjes en duidelijk te werken

verder mogen viltstiften en ballpoints niet gebruikt worden en is het zo dat alle oefeningen grafisch dienen te worden beantwoord. Dit laatste verhoogt het inzicht en bovendien is zo te controleren hoe een bepaald antwoord verkregen is. Het betekent tevens dat het gebruik van rekenmachines tijdens het practicum volstrekt overbodig is.

2 KAARTEN

2.1 Algemeen

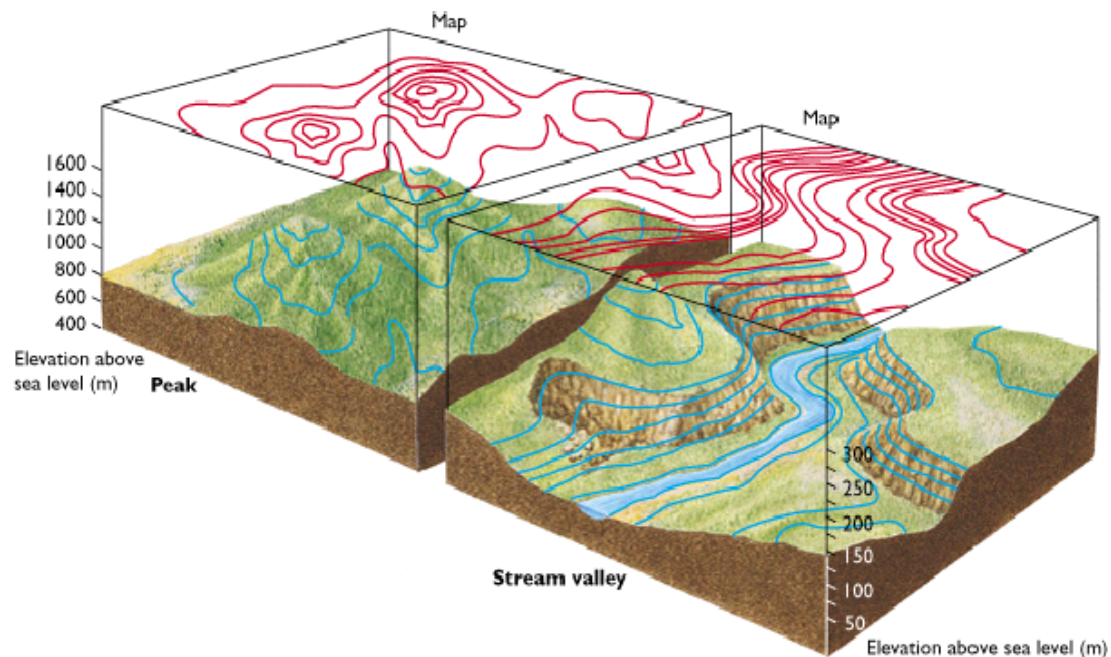
Een kaart is de (verkleinde) projectie van een gedeelte van het aardoppervlak naar een horizontaal vlak.

Op een kaart is met behulp van kleuren en/of tekens een veelheid aan informatie weer te geven, zoals b.v. hoogtekaarten, bevolkingskaarten of temperatuurkaarten.

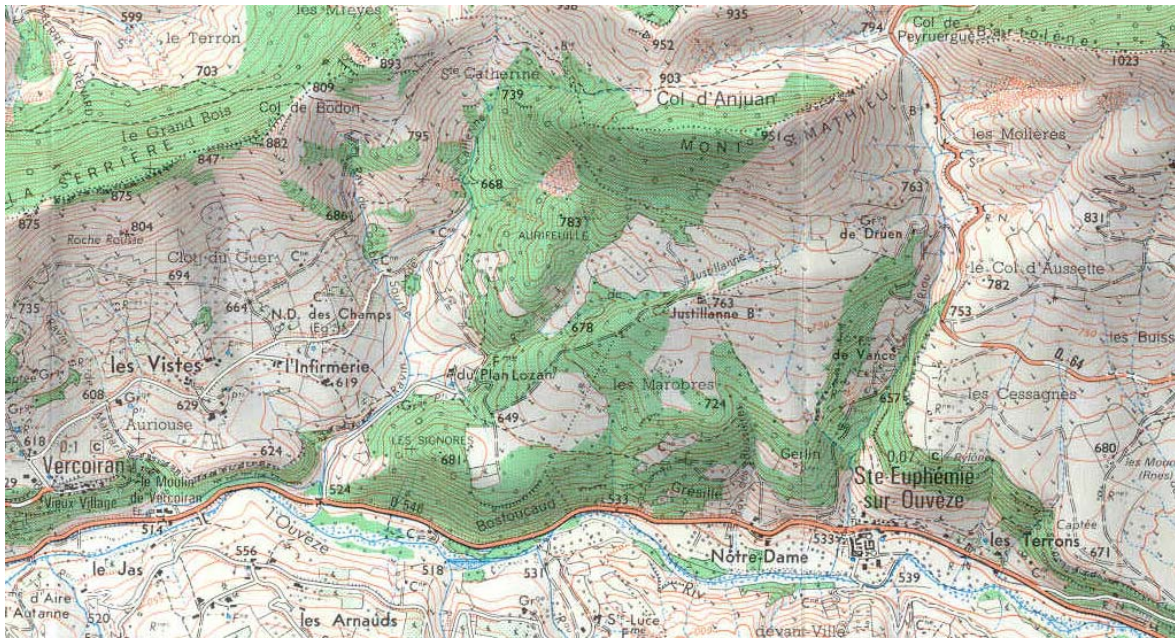
Op topografische kaarten wordt de hoogte van het aardoppervlak ten opzichte van het zeeniveau aangegeven met behulp van zogenaamde hoogtelijnen. Dit zijn de geprojecteerde snijlijnen van het aardoppervlak met horizontale vlakken van verschillende hoogtes, oftewel lijnen die alle punten met elkaar verbinden die op een bepaalde hoogte liggen. Deze hoogtelijnen liggen op een bepaalde onderlinge hoogteverschil, het zgn.'contour-interval' (fig.2.1).

Aan de hand van het patroon van deze hoogtelijnen kan men conclusies trekken omtrent de vorm van het landschap :

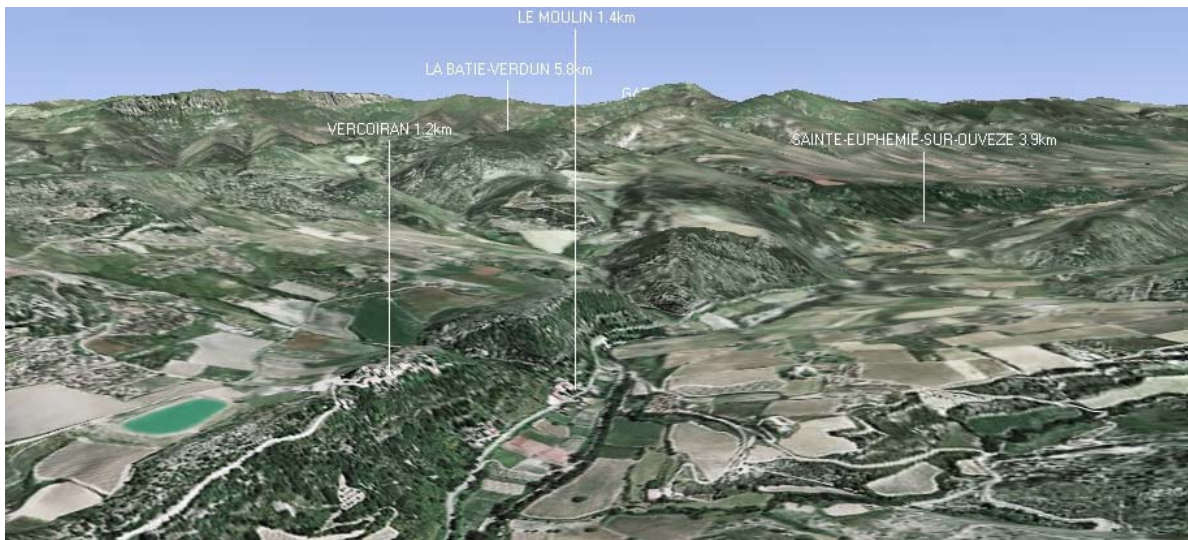
- bijv.
- waar zich bergen en dalen bevinden
 - waar hellingen steil zijn (veel hoogtelijnen) en waar niet
 - waar men rivieren kan verwachten



Figuur 2.1 Het principe van hoogtelijnen



Figuur 2.2. Voorbeeld van een topografische kaart, kaart 3139OT van het Institut Geographique National (IGN) van Frankrijk, van een deel van de 2^e jaars veldwerk gebieden.



Figuur 2.3 3D model van het gebied uit figuur 2.2., Photoexplreur 3D, IGN.

De horizontale afstanden op kaarten worden gegeven door de schaal van de kaart. Deze kan op twee manieren worden gegeven :

- 1) een verhouding, bijvoorbeeld 1 : 25.000, dit houdt in dat 1 cm op de kaart overeenkomt met 25.000 cm in werkelijkheid, dus 1 cm = 250 m.
- 2) grafisch, de afstand is dan met een lineaal op te meten.
0 [_____] 500m.

Het noorden bevindt zich in principe altijd aan de bovenkant van een kaart, tenzij dat anders wordt aangegeven.

2.2 Geologische kaarten

Geologische kaarten zijn kaarten waarop de ruimtelijke spreiding van dagzomend gesteente is aangegeven.

Een dagzoom is de snijlijn van een bepaalde gesteentelaag met het aardoppervlak.

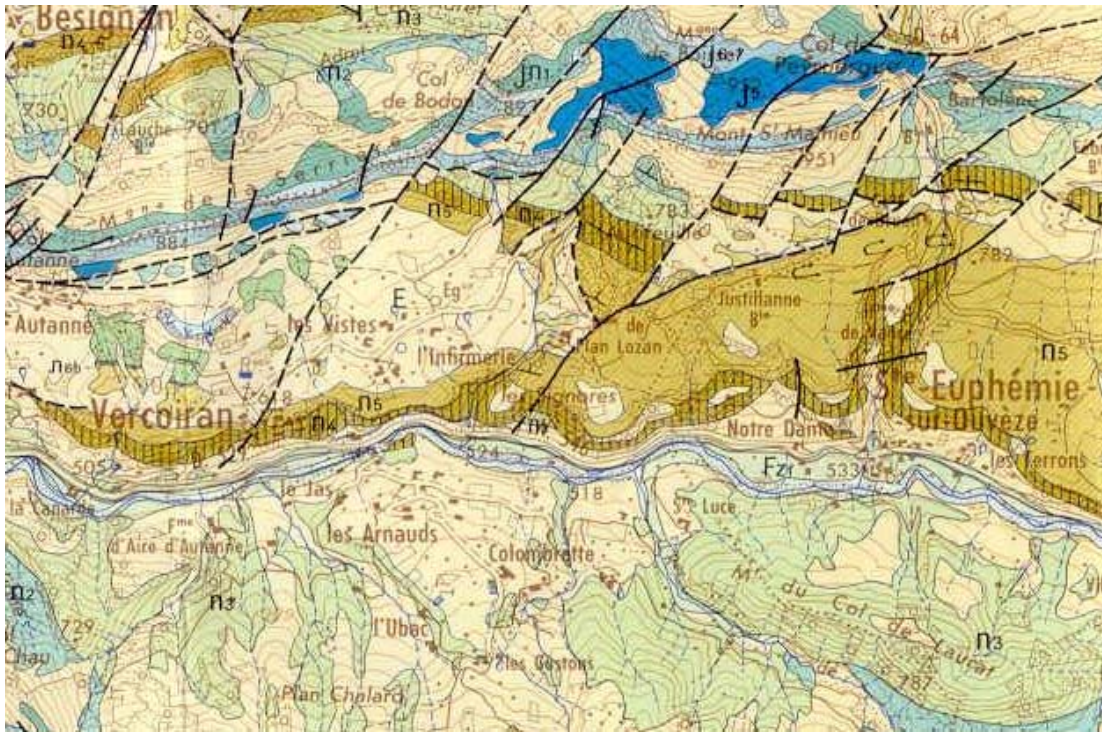
Heeft de gesteentelaag een aanzienlijke dikte, dan vormt de dagzoom geen lijn maar een strook (fig.2.4). In werkelijkheid komt het gesteente vrijwel nooit overal aan de oppervlakte, maar wordt het grotendeels bedekt door bv begroeiing of bebouwing. Op geologische kaarten worden deze echter weggelaten, zodat het beeld wordt gegeven zoals de geologie er aan de oppervlakte uit zou zien als deze volledig ontsloten was.

Uit het verloop van deze dagzomen, eventueel aangevuld met extra informatie uit bijv. boringen of mijngangen, kan in het algemeen een goed beeld verkregen worden van de geologie in de ondergrond (subsurface).

Geologische kaarten, bij voorkeur ondersteund met geologische profielen, zijn het meest informatieve middel om de beschikbare gegevens van lithologisch, structureel, geofysisch of geotechnisch belang samen te vatten.

Aangezien sommige geologische kaarten dienen als basis voor het opsporen van economisch interessante erts- of oliereserves en voor het op tijd signaleren van geotechnische problemen, zal het duidelijk zijn dat het op de juiste wijze interpreteren van een geologische kaart van groot belang is.

Behalve geologische kaarten waarop de geologie aan het aardoppervlak te zien is, bestaan er nog diverse soorten andere geologische kaarten, zoals structuurkaarten, subcropkaarten en isochorenkaarten, die allen betrekking hebben op de geologie in de ondergrond. Deze zullen in een later stadium besproken worden.



Figuur 2.4 Voorbeeld van een geologische kaart, uitgave van het Bureau de Recherches Géologique et Minières (BRGM) van het zelfde gebied als in figuur 2.2. Zwarte lijnen zijn breuken, kleuren staan voor gesteenten van verschillende ouderdommen (blauw is Jura, groen Krijt)

3 ORIENTATIES

3.1 Oriëntatie van een vlak

Tijdens dit practicum zal er meestal van uit gegaan worden dat het gesteente een afzettingsgesteente is, dat een duidelijke gelaagdheid vertoont. We gaan er van uit dat deze gelaagdheid oorspronkelijk als een horizontaal vlak is afgezet op de bodem van een zee of meer. Omdat deze, oorspronkelijk horizontale vlakken, na deformatie nog maar zelden horizontaal liggen, is het van belang om voor een juiste interpretatie, de **oriëntatie** van een vlak in de ruimte te kunnen vastleggen.

Dit gebeurt met behulp van drie begrippen (zie ook fig.3.1):

- 1) STREKKING
De strekking (engels: strike) is gedefinieerd als de snijlijn van een geologisch vlak met een horizontaal vlak. Dit betekent dus dat de strekking altijd een horizontale lijn in het geologisch vlak is. De richting van de strekking wordt gemeten t.o.v. het noorden over het oosten en kan waarden bereiken van 0 tot 180°. Op een kaart wordt de strekking weergegeven door een recht lijntje.

- 2) HELLINGSRICHTING
De hellingsrichting (engels: dip direction) is een van beide richtingen loodrecht op de strekking. Hij wordt gemeten in de richting waarin het vlak naar **beneden** gaat. Op de kaart wordt de hellingsrichting aangegeven door een klein streepje loodrecht op de strekking (in de richting waarin het vlak duikt). Dit teken wordt ook wel het hellings/strekkings- of **laagstandsteken** genoemd (zie fig.3.2). De hellingsrichting wordt ook gemeten t.o.v. het noorden en kan variëren van 0 tot 360°.

- 3) HELLINGSHOEK
De hellingshoek (engels: dip, dip angle) is de hoek waarmee het geologische vlak duikt. Deze hoek ligt in het zgn."standvlak" van het geologische vlak en het horizontale vlak, d.w.z. in een verticaal vlak loodrecht op de strekking. Op de kaart wordt de waarde van de dip bij het laagstandsteken gezet. De hellingshoek wordt gemeten t.o.v. het horizontale vlak en kan variëren van 0 (horizontaal) tot 90 (verticaal).



Figuur 3.1 Het principe van strekking, hellingsrichting en hellingshoek.

Op de kaart zijn er twee afwijkende notaties voor het laagstandsteken (zie figuur 3.2):

In het geval van een horizontale gelaagdheid: \perp

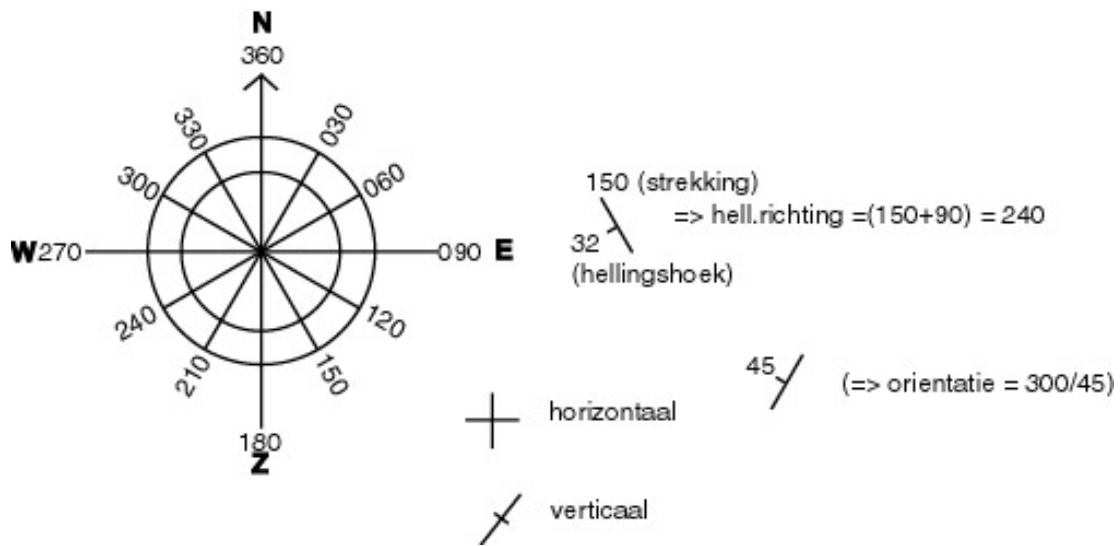
En bij een verticaal staand vlak: \perp

In geschreven vorm is er een standaard notatie voor de oriëntatie.

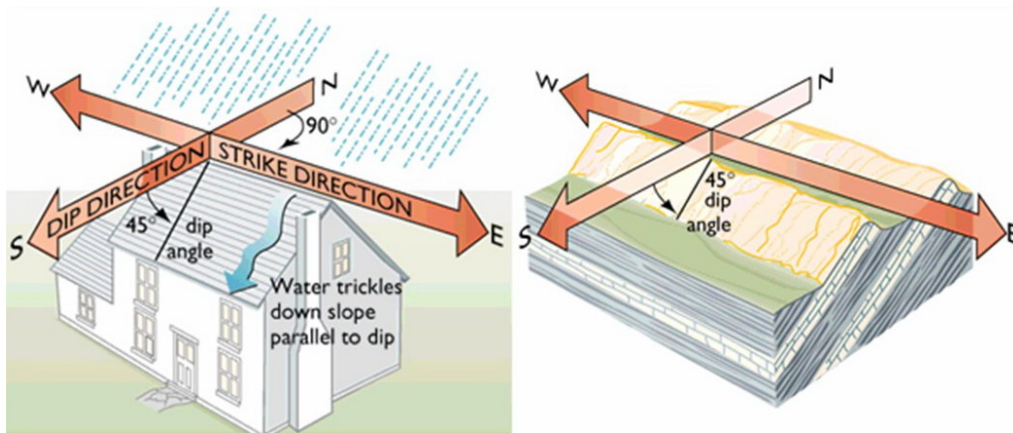
Eerst **drie** cijfers die de **hellingsrichting** aangeven, gevolgd door een schuine streep en tot slot **twee** cijfers die de **hellingshoek** geven, bijv. 325/65 of 045/06.

045/20 wil zeggen dat het betreffende geologische vlak in de richting van 45° helt (noord-oost, NE), met een hellingshoek van 20°. Aangezien de strekking altijd loodrecht op de hellingsrichting staat, is deze dus $45 + 90 = 135^\circ$.

Bij de oriëntatie wordt tijdens dit practicum nooit de strekking gegeven, de stand van een vlak wordt altijd bepaald door de hellingsrichting en de hellingshoek.



Figuur 3.2 Het principe van kompasrichtingen en de notatiemethode voor laagstanden op een kaart



Figuur 3.3. Nogmaals de onderlinge relatie tussen strekking (strike), hellingsrichting (dip direction) en hellingshoek (dip angle) (uit Understanding Earth, Press & Siever).

N.B.

Er worden echter in de praktijk, vooral in de Angelsaksische wereld, ook nog andere methoden gebruikt om de oriëntatie van een vlak aan te geven, die vaak wél gebruik maken van de strekking. Zo zou het vlak 050/25 beschreven kunnen worden als N40W/ 25NE. Het zal hopelijk duidelijk zijn dat deze methode niet alleen omslachtiger is, maar ook verwarring in de hand werkt.



Figuur 3.4. Voorbeeld van horizontale lagen. Hamersley Basin, Western Australia



Figuur 3.5 Voorbeeld van hellende lagen. 2^e jaars veldwerkgebieden, Drôme, Frankrijk.

3.2 Oriëntatie van een lijn

Ook een lijn (of lineatie) in de ruimte heeft een oriëntatie. Deze wordt, analoog aan een vlak met hellingsrichting en hellingshoek, bepaald door een "richting" en een "duiking". Men moet zich hierbij een verticaal vlak voorstellen waarin de lineatie ligt. De duiking van de beschouwde lineatie is dan de hoek in dit verticale vlak tussen de lineatie en een horizontale lijn. De richting waarin de lineatie duikt wordt over het oosten gemeten t.o.v. het noorden. Deze duikrichting wordt ook wel "azimut" genoemd. Engelse termen hiervoor zijn direction, bearing of azimuth.

Lineaties komen veel voor in de diverse geologische vakgebieden. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld:

- de snijlijn van een laagvlak met een groevewand of een breukvlak,
- de lijn van maximale buiging bij een plooi, de plooi-as
- wrijfkrassen (slickensides) op vlakken waar twee gesteenten langs elkaar zijn geschoven (fig.3.6).
- mineraal lineaties, ontstaan door de gerichte ligging van langgerekte mineralen.



Figuur 3.6. Voorbeeld van een lineatie: Richard Hontelez voor een breukvlak met wrijfkrassen. 2^e jaars veldwerkgebieden, Drôme, Frankrijk

Op de kaart wordt een lineatie aangeduid door een pijltje dat in de duikrichting wijst, met de waarde van de duiking erbij geschreven.

Bij de notatie van een lineatie wordt net als bij een vlak eerst de duikrichting aangegeven met drie cijfers, gevolgd door de duiking in twee cijfers. Om geen verwarring te wekken met vlakken wordt er voor de notatie LIN geplaatst, bijvoorbeeld LIN 098/56.

3.3 Orientaties in het veld

In het veld wordt de oriëntatie van een geologisch vlak gemeten met behulp van een kompas. Hiermee kan de hellingsrichting worden bepaald, terwijl de hellingshoek wordt gemeten m.b.v. de clinometer van het kompas.

De exacte methode zal worden uitgelegd tijdens de 1^e jaars excursie TA1913.



Figuur 3.7. Suunto geologisch kompas (www.suunto.com)



Figuur 3.8. Max Daarnhouwer meet de hellingshoek van de motorkap...

4 STRUCTUURLIJNEN

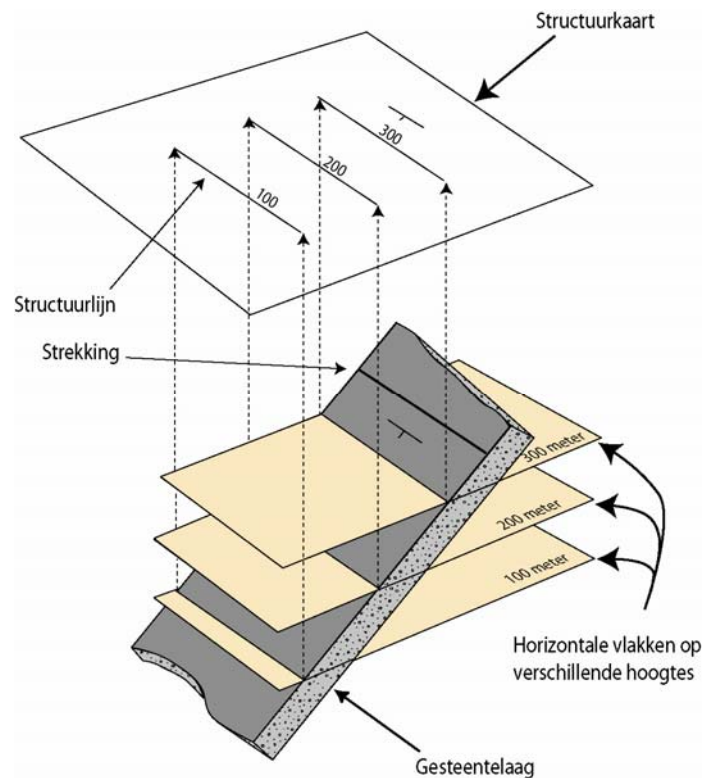
4.1 Inleiding

Op een topografische kaart wordt het aardoppervlak beschreven met behulp van hoogtelijnen, lijnen die alle punten van het oppervlak die op dezelfde hoogtes liggen, met elkaar verbinden.

Op dezelfde wijze kunnen geologische vlakken ook worden beschreven. Dit gebeurt met behulp van structuurlijnen. Er worden lijnen getrokken die punten, liggend op gelijke hoogte (of diepte) en behorend tot hetzelfde geologisch laagvlak, met elkaar verbinden (dit zijn dus horizontale lijnen en zijn dus de strekkingen van dit vlak). Deze lijnen worden vervolgens naar het horizontale kaartvlak geprojecteerd (fig.4.1). De resulterende kaart wordt structuurkaart genoemd.

De structuurlijnen lopen dus altijd horizontaal en staan dus loodrecht op de hellingsrichting (in feite geven de structuurlijnen zowel de vorm als de strekkingen, als de diepte/hoogte van het vlak weer).

Een structuurkaart kan worden gezien als een 3-dimensionaal beeld van de geologie, aangezien men er op kan zien op welk hoogte of diepte een bepaald vlak zich van plaats tot plaats bevindt.



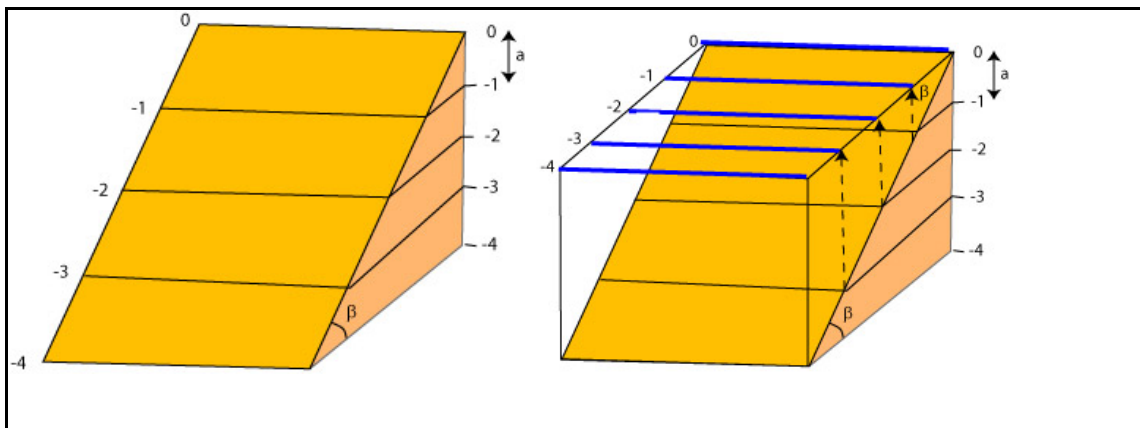
Figuur 4.1 Het principe van structuurlijnen

Tussen de oriëntatie van een vlak en de structuurlijnen van datzelfde vlak bestaat een duidelijk verband en met behulp van deze structuurlijnen zijn een aantal constructies te verrichten:

- | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | structuurlijnen + schaal | ----> oriëntatie |
| 2 | schaal + oriëntatie | ----> structuurlijnen |
| 3 | driepuntsconstructie | ----> structuurlijnen |
| 4 | dagzoompatroon + hoogtelijnen | ----> structuurlijnen |
| 5 | structuurlijnen + hoogtelijnen | ----> dagzoompatroon |

4.2 Structuurlijnen + schaal ---> oriëntatie

In figuur 4.2 is links een hellend vlak te zien, waarop de structuurlijnen zijn ingetekend. De verticale afstand tussen de structuurlijnen (a) is afhankelijk van de schaal. a is de ware contourafstand, β is de hellingshoek.

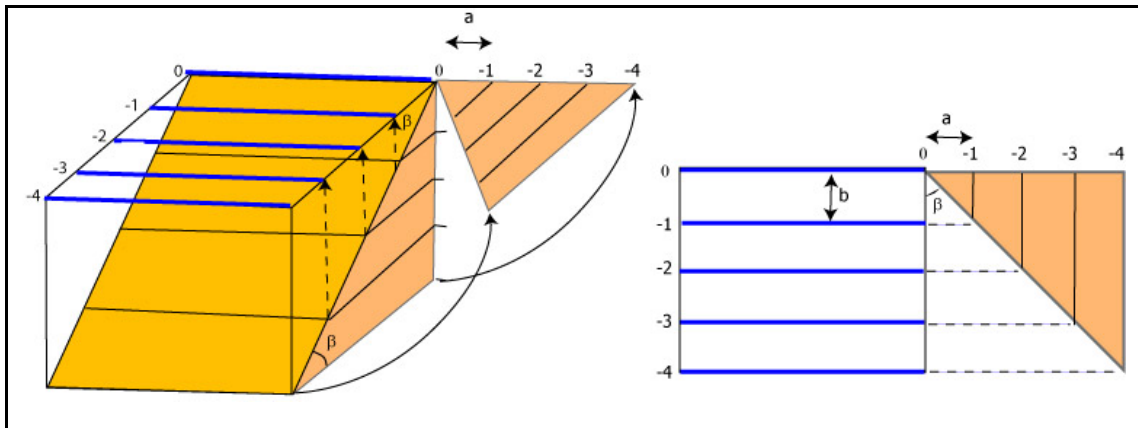


Figuur 4.2 Laagvlak met structuurkaart.

De structuurlijnen worden naar het kaartvlak geprojecteerd (fig.4.2 rechts). De afstand tussen de structuurlijnen in het kaartbeeld is niet de ware afstand tussen de structuurlijnen, maar is afhankelijk van de hellingshoek van het vlak (hoe steiler het vlak, hoe dichter de structuurlijnen bij elkaar komen te liggen in het kaartbeeld).

De hellingshoek (β) is in het zijvlak van de kubus van figuur 4.2b zichtbaar, maar is door de vertekening van dit zijvlak niet direct op te meten in deze figuur. Door nu het zijvlak om te klappen naar het horizontale vlak is de hellingshoek wel op te meten (fig.4.3).

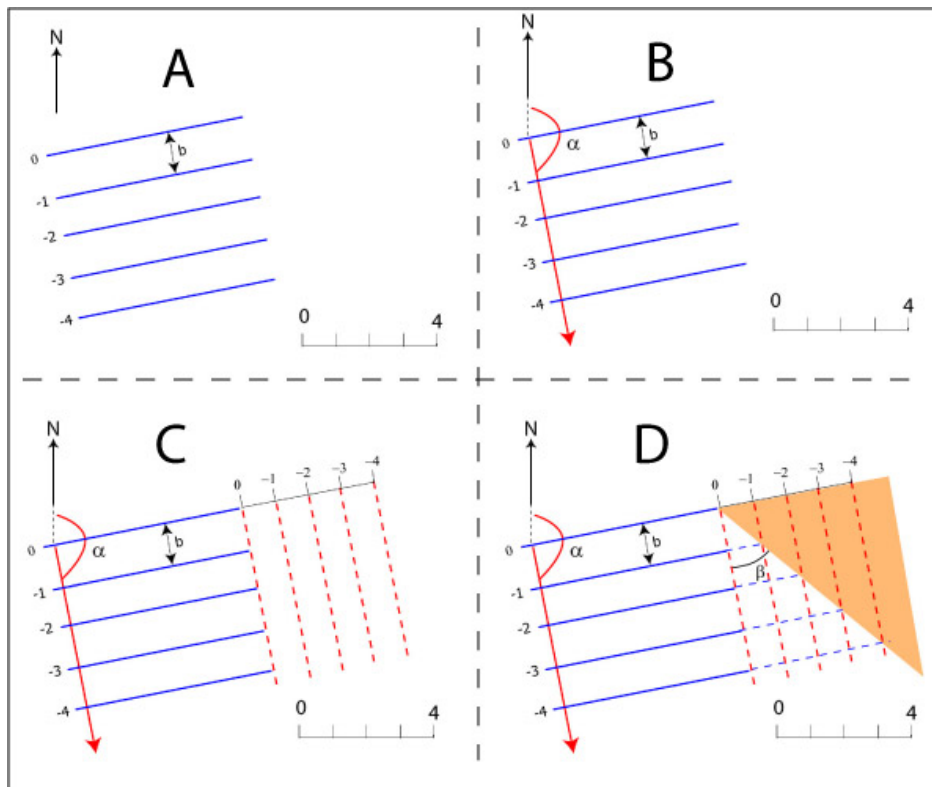
Figuur 4.3 toont het bovenaanzicht van de kubus met het opgeklapte zijvlak. De hellingshoek is hierin met behulp van de gradenboog direct te meten. Let op: neem voor β de juiste hoek! De hellingsrichting is de richting waarin het vlak naar beneden gaat, loodrecht op de structuurlijnen.



Figuur 4.3 Het zijvlak van de figuur wordt naar de horizontaal groteerd (links) en recht van boven bekeken (rechts).

In de praktijk is de procedure als volgt (zie fig.4.4):

- 1 Gegeven zijn:
 - structuurlijnen op een vaste afstand (b) van elkaar
 - de schaal van de kaart (fig.4.4a).
 - het noorden
- 2 De schaal van de kaart wordt uitgezet evenwijdig aan een van de structuurlijnen. Vanaf deze schaal worden loodlijntjes getrokken (fig.4.4b).
- 3 De structuurlijnen worden verlengd tot ze de loodlijnen vanaf de schaal, met dezelfde waarde snijden (fig.4.4c).
- 4 Door de snijpunten wordt een lijn getrokken. De hellingshoek (β) is nu op te meten (neem de juiste hoek!). Bovendien is de hellingsrichting (de richting waarin het vlak naar beneden gaat, loodrecht op de structuurlijnen) op te meten. De oriëntatie van het vlak is hiermee bekend (fig.4.4d).

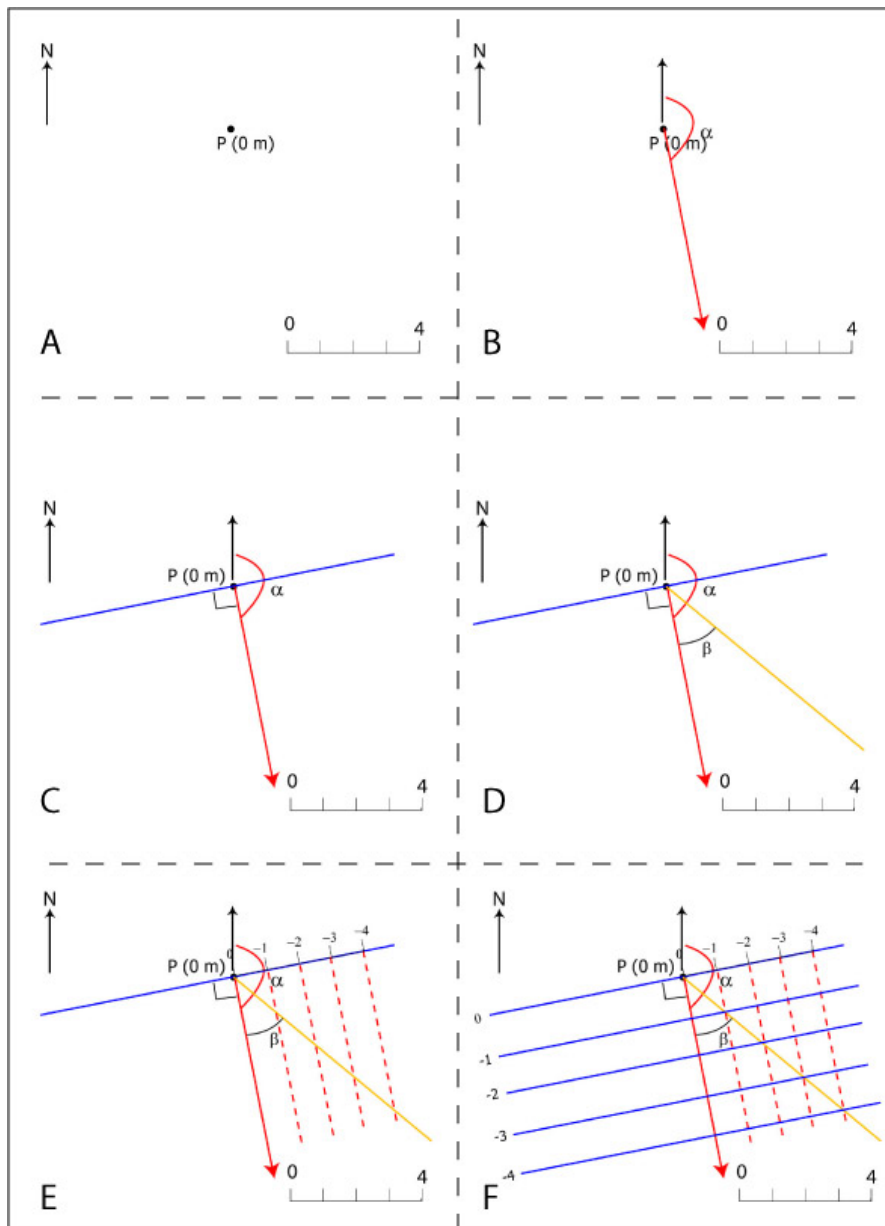


Figuur 4.4, het bepalen van de oriëntatie van een laag m.b.v. de structuurlijnen, zie tekst § 4.2 voor uitleg

4.3 Schaal + oriëntatie ----> structuurlijnen

Indien de schaal van de kaart en de oriëntatie van een vlak bekend zijn, kunnen met deze gegevens de structuurlijnen geconstrueerd worden.

Hier toe wordt in een punt op de kaart waarvan bekend is dat het betreffende vlak daar op een bepaalde hoogte aanwezig is, de structuurlijn van diezelfde hoogte getekend (loodrecht op de hellingsrichting). Vervolgens kunnen, door de vorige constructie om te draaien, met behulp van de hellingshoek, de overige structuurlijnen getekend worden (fig.4.5).



Figuur 4.5. Het tekenen van de structuurlijnen van een vlak m.b.v. een locatie en de oriëntatie van de laag

4.4 Driepuntsconstructie

Stel dat van een geologisch laagvlak (waarvan bekend is dat het een plat vlak is) op drie verschillende plaatsen de hoogte (of diepte) bekend is (fig.4.6a). Dit kan bijvoorbeeld doordat het vlak op die drie plaatsen ontsloten is of doordat er boorgegevens bekend zijn. Met behulp van deze drie hoogtes is de oriëntatie van dit vlak te bepalen.

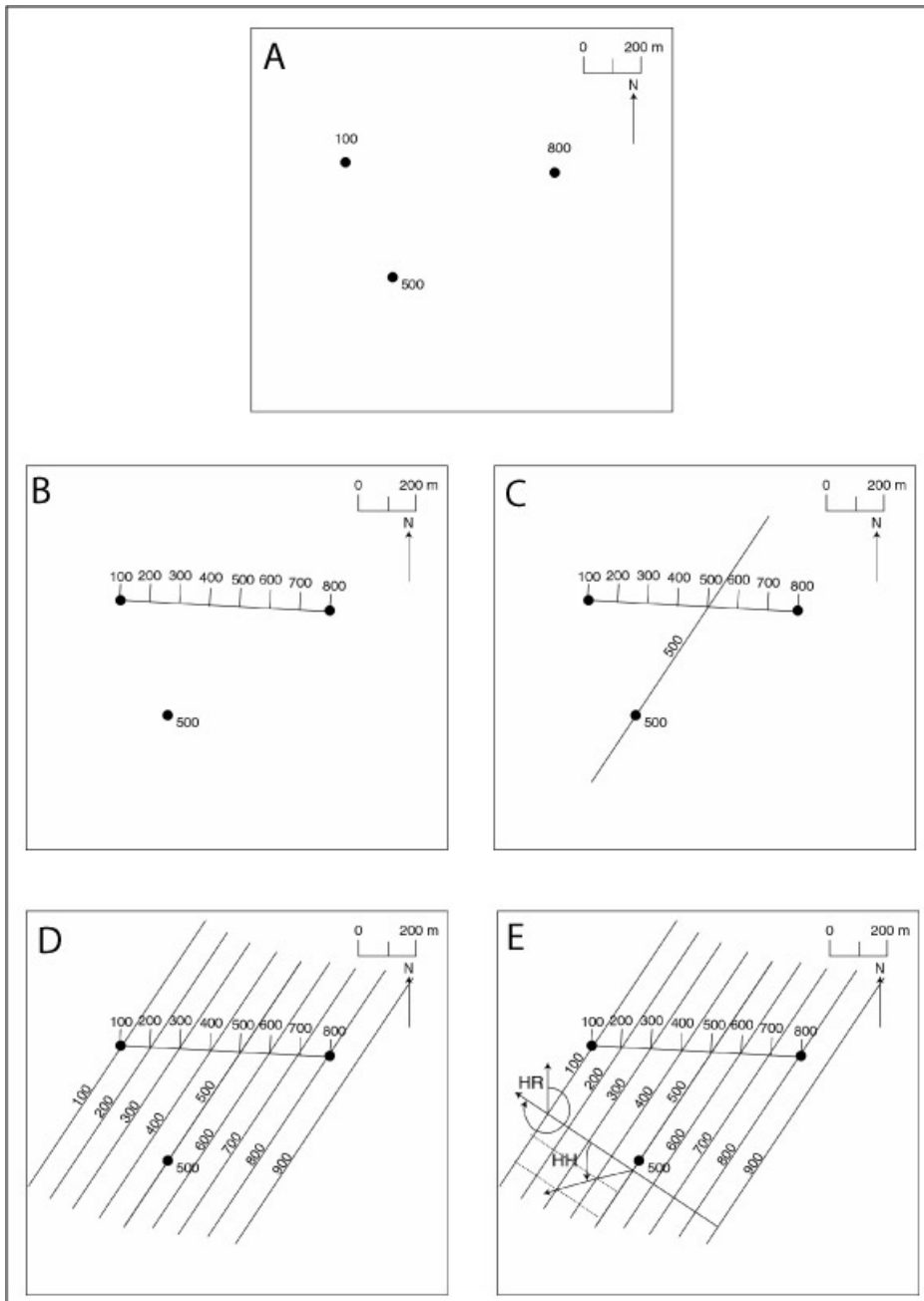
Om dit te bereiken wordt eerst tussen de twee punten met de uiterste waarden een lijn getrokken die wordt onderverdeeld (fig.4.6b).

(Een methode om de lijn onder te verdelen, is met behulp van een hulplijntje, dat vanuit punt 100 in een willekeurige richting getrokken wordt, met een handige lengte. 7 stappen nodig: neem een lijntje van 7 cm. Deel dit hulplijntje in en verbind de waarde 800 op het hulplijntje met punt 800. Evenwijdig hieraan worden parallelle lijnen getrokken (200, 300 enz). De lijn 100-800 is nu ingedeeld).

Op de ingedeelde lijn ligt nu een punt waar het laagvlak op 500 m ligt, terwijl bekend is dat in het punt B het vlak eveneens op 500 m ligt. De structuurlijn van 500 m van het vlak is nu door deze twee punten te trekken (fig.4.6C). Overal op deze lijn ligt het vlak op 50 m.

Parallel aan deze 500 m structuurlijn zijn nu de andere structuurlijnen te trekken (fig.4.6D).

Is ook de schaal van de kaart bekend, dan is volgens de methode besproken in § 4.2 de oriëntatie te bepalen (fig.4.6E).

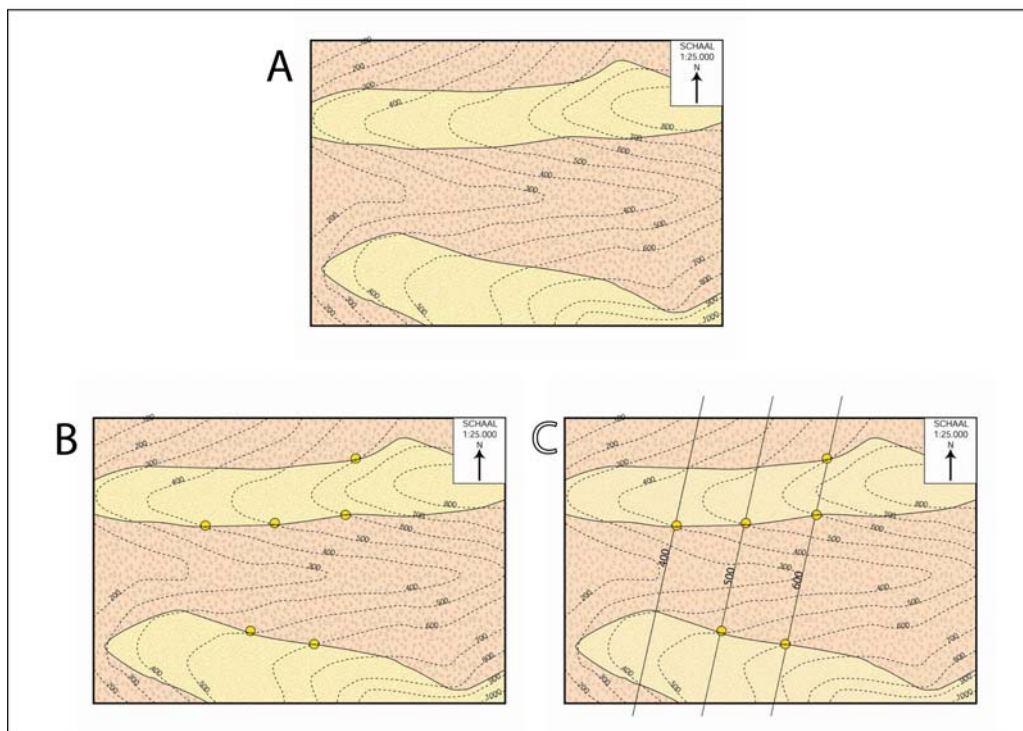


Figuur 4.6 Driepuntsconstructie

4.5 Dagzoompatronen + hoogtelijnen ---> structuurlijnen

Indien op een geologische kaart de dagzomen van gesteenten zijn aangegeven, kunnen de structuurlijnen worden geconstrueerd met behulp van de hoogtelijnen.

Daar waar de dagzoom van een laag een hoogtelijn snijdt, is bekend hoe hoog de betreffende laag daar ligt. Wanneer de dagzoom dezelfde hoogtelijn ook op andere plaatsen snijdt, is door deze snijpunten een structuurlijn te trekken. De waarde van deze structuurlijn is natuurlijk dezelfde als die van de hoogtelijn. Op deze manier kunnen de structuurlijnen van het betreffende vlak getekend worden (fig.4.9). Is ook de schaal van de kaart bekend, dan kan ook de oriëntatie van het vlak bepaald worden.

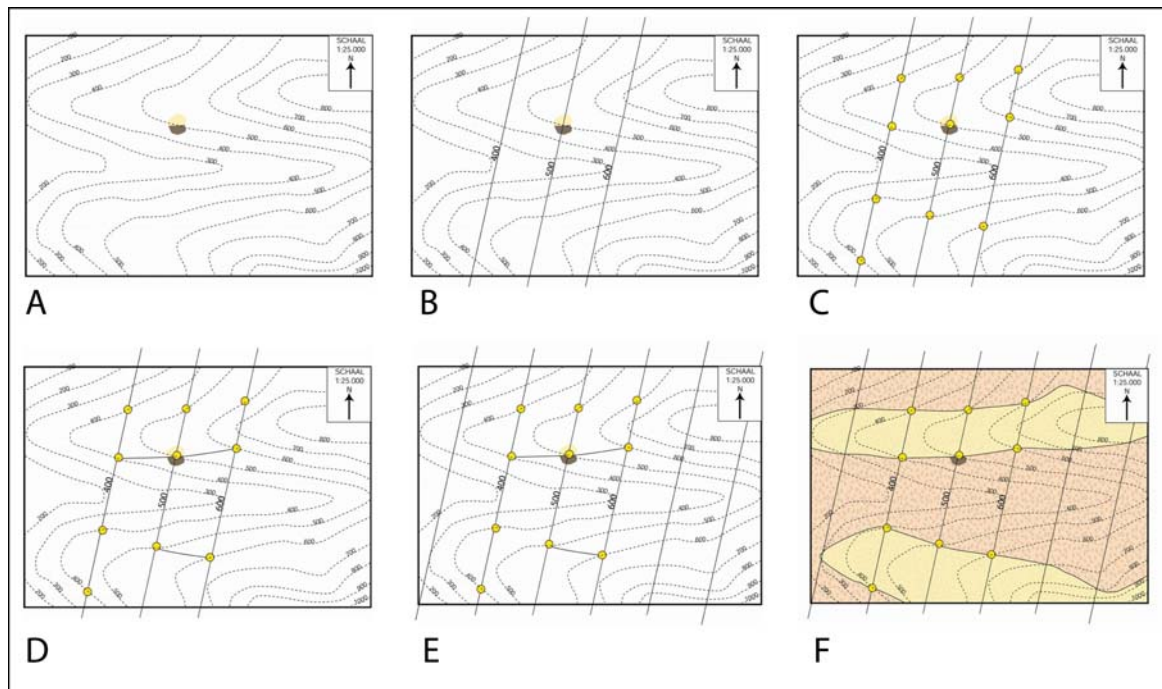


Figuur 4.9 Het vinden van de structuurlijnen m.b.v. de dagzoom en de hoogtelijnen. A: de geologische kaart; B: een aantal snijpunten van de dagzoom met hoogtelijnen; C: structuurlijnen door snijpunten op gelijke hoogte.

4.6 Structuurlijnen + hoogtelijnen ---> dagzoompatronen

Op een kaart met hoogtelijnen en structuurlijnen is op eenvoudige wijze de dagzoom in te tekenen. De snijpunten tussen de hoogtelijnen en structuurlijnen met dezelfde waarden worden bepaald. Door vervolgens snijpunten met elkaar te verbinden wordt de dagzoom gevonden (fig.4.10).

Het is echter wel van belang om er aan te denken dat een dagzoom pas een hoogtelijn kan snijden als hij daar ook een structuurlijn van dezelfde waarde snijdt!



Figuur 4.10 Het tekenen van de dagzomen op de geologische kaart m.b.v. een locatie, de oriëntatie en de hoogtelijnen. A: Locatie met oriëntatie en geologische waarneming; B: de eerste structuurlijnen op basis van de oriëntatie gemeten in A; C: snijpunten van de structuurlijnen met de hoogtelijnen; D: de eerste stukken van de dagzoom; E: alle andere structuurlijnen ook getekend; F: de complete geologische kaart (er van uitgaande dat hier geen andere gesteenten dagzomen en dat er geen plooien of breuken aanwezig zijn).

4.7 "Regels" voor het werken met structuurlijnen

De onderlinge afstand van structuurlijnen van een bepaald vlak is afhankelijk van:

- de schaal van de kaart
- het contourinterval van de lijnen
- de hellingshoek van het vlak

Structuurlijnen:

- snijden elkaar niet
 - sluiten altijd (of lopen dood op een breuk of de rand van de kaart)
 - herhalen zich bij een hellingsverandering in tegengestelde richting (plooi)
- Vermeld altijd bij een structuurlijn:
- welke waarde hij heeft
 - op welk vlak hij betrekking heeft
- Teken altijd een structuurlijn over de hele kaart (tenzij hij doodloopt op een breuk)
- *Een dagzoom kan alleen een hoogtelijn/structuurlijn snijden indien door dat snijpunt ook een structuurlijn/hoogtelijn met dezelfde waarde loopt.*

5 DAGZOOMPATRONEN

5.1 Inleiding

De dagzoom van een gesteentelaag is de doorsnijding van die gesteentelaag met het aardoppervlak. Het is de plek waar het gesteente aan de oppervlakte komt, waar het gesteente ontsloten is.

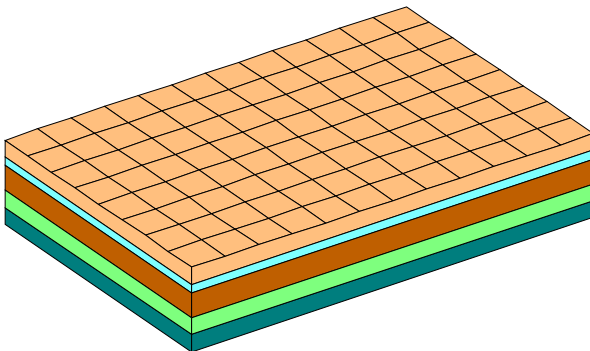
In de praktijk zal het gesteente zelden in zijn geheel ontsloten zijn. Doorgaans is een laag slechts op enkele plaatsen ontsloten en wordt hij elders bedekt door bijvoorbeeld bossen, weilanden, bebouwing of bodem. Tussen de plaatsen waar het gesteente ontsloten is moet de theoretische dagzoom dan geconstrueerd worden. Eén methode hiervoor is behandeld in hoofdstuk 4.

Tussen de oriëntatie en de topografie enerzijds, en de dagzoom en het kaartbeeld anderzijds, bestaat niet alleen een geometrisch verband, maar ook een aanschouwelijk verband, dat men als mijnbouwer/technisch aardwetenschapper moet leren zien. Kijken we alleen naar ongeplooiden lagen, dan onderscheiden we hierbij twee gevallen, t.w. horizontale- en geaccidenteerde topografie.

5.2 Horizontaal terrein

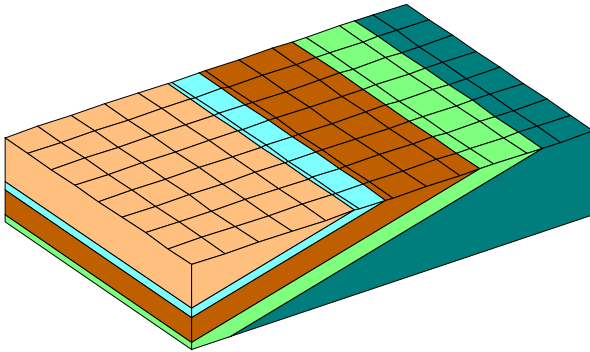
Indien er wordt uitgegaan van een volstrekt horizontaal terrein, zijn er voor ongeplooiden lagen twee mogelijke dagzoompatronen.

In het eerste geval liggen ook de gesteentelagen horizontaal en is de bovenste laag over het gehele oppervlak ontsloten (fig.5.1).



Figuur 5.1 Horizontale lagen en een vlakke topografie geven een geologische kaart met weinig variatie.

In het tweede geval staan de lagen verticaal òf hellen zij in een bepaalde richting. Het resulterende dagzoompatroon bestaat uit een aantal evenwijdig lopende lijnen, waaruit niet valt af te leiden wat de laagstand is. Een profiel of een blokdiagram als figuur 5.2 laat dit natuurlijk wel zien.



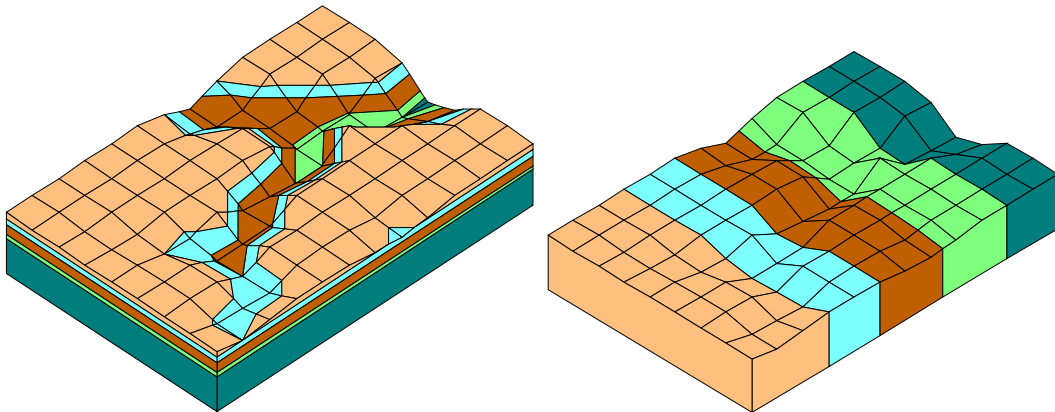
Figuur 5.2 Hellende lagen en een vlakke topografie geven een aantal evenwijdige dagzomen aan het oppervlak.

5.3 Geaccidenteerd terrein

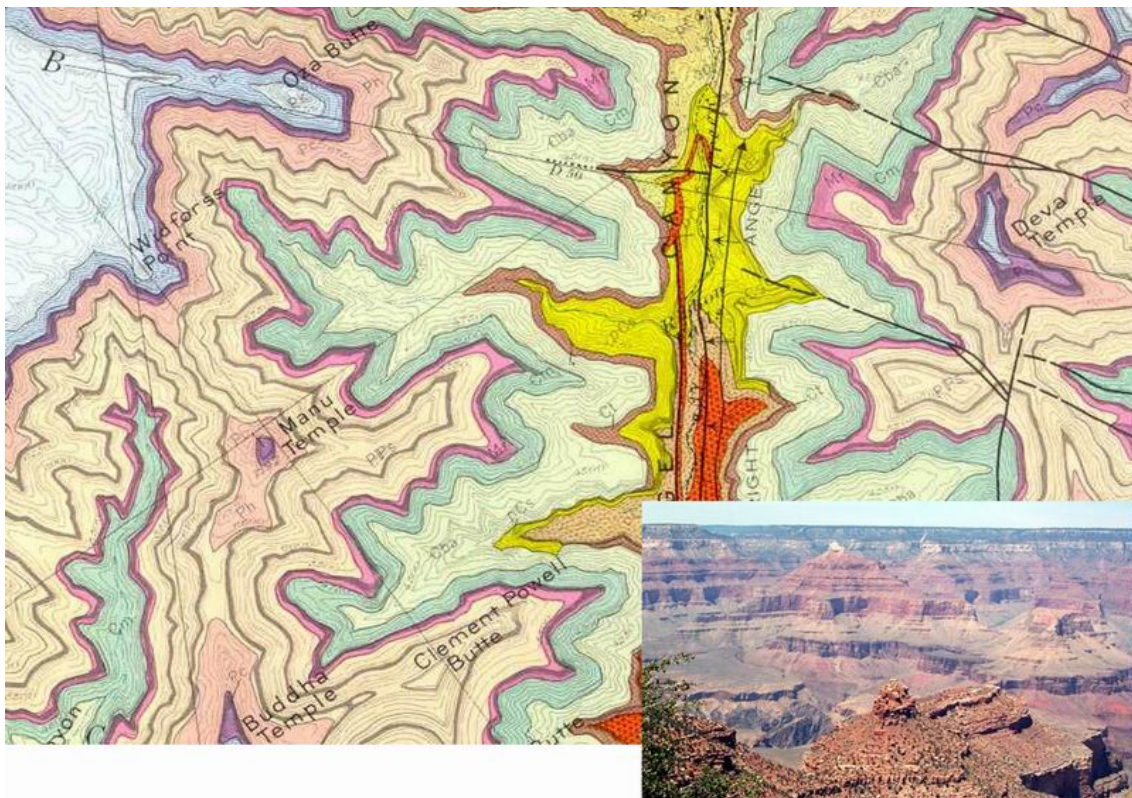
Anders wordt het wanneer het terrein niet vlak is, maar heuvelachtig of geaccidenteerd. Het aantal mogelijke dagzoompatronen is dan onbegrensd. Toch is ook in dit geval uit het dagzoompatroon direct informatie af te leiden over de algemene laagstand van het gesteente.

We onderscheiden hierbij drie gevallen:

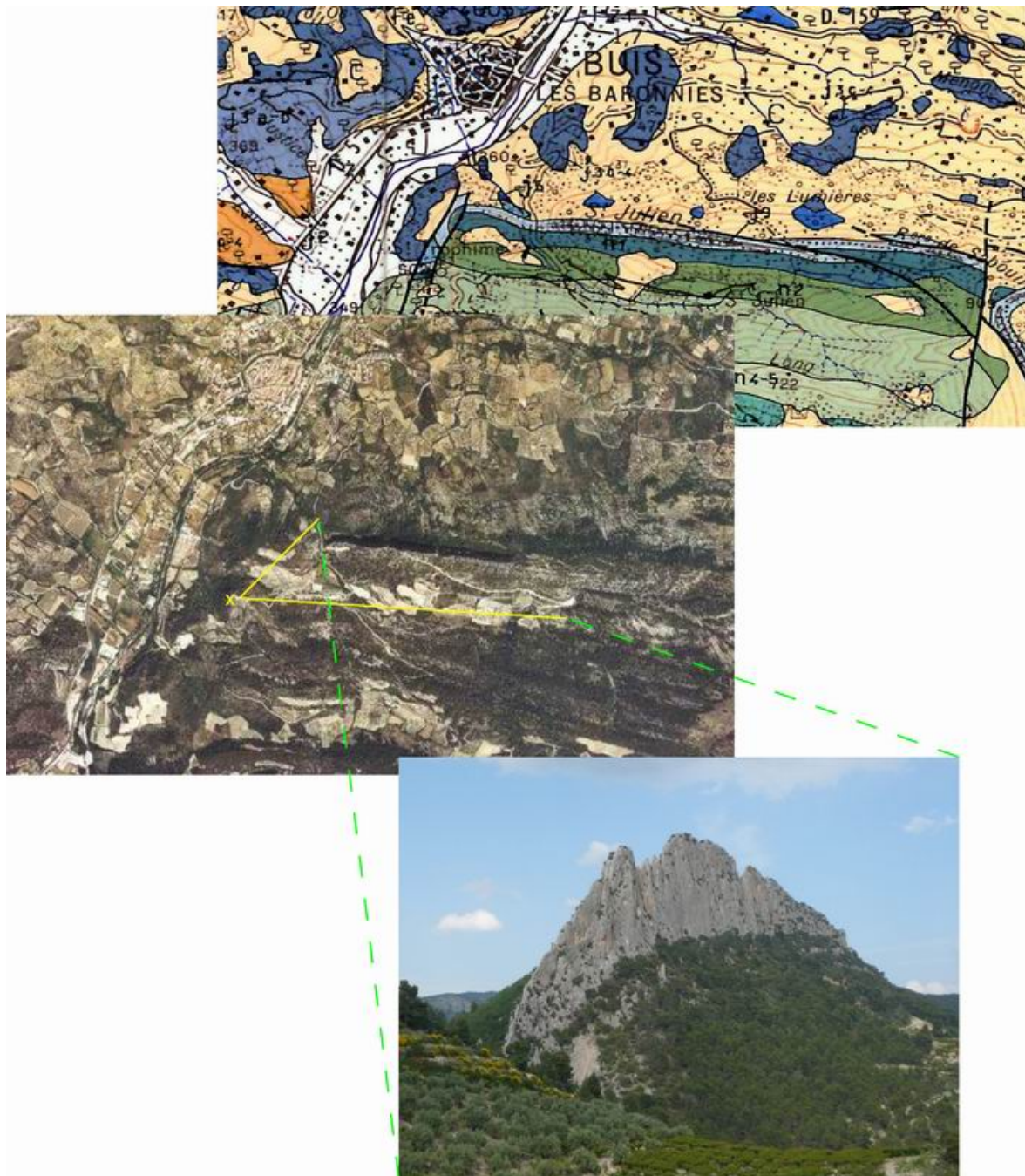
- | | |
|--------------------------------|--|
| 5.3.1 <u>Horizontale lagen</u> | Deze leveren een dagzoompatroon op waarbij de dagzoom altijd evenwijdig loopt aan de hoogtelijnen (fig.5.3). |
| 5.3.2 <u>Verticale lagen</u> | Deze leveren altijd, ongeacht de topografie, een rechte lijn als dagzoom (fig.5.3). |
| 5.3.3 <u>Hellende lagen</u> | Deze kunnen een oneindige hoeveelheid verschillende dagzoompatronen opleveren. Uit dit dagzoompatroon is echter met behulp van 'De Regel Van De 'V's' informatie te verkrijgen over de hellingsrichting. |



Figuur 5.3 Dagzomen in geaccidenteerd terrein. links: horizontale lagen geven dagzomen die de hoogtelijnen volgen; rechts: Verticale lagen geven altijd kaarsrechte dagzomen



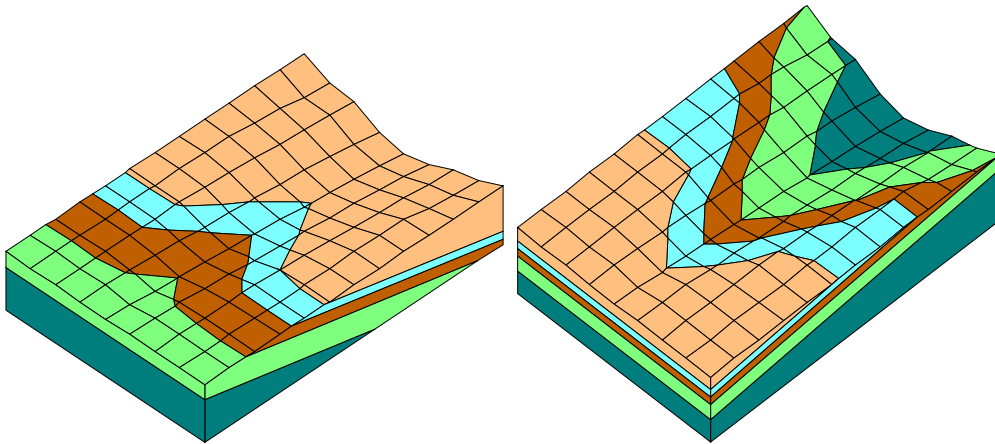
Figuur 5.4 Deel van de geologische kaart van de Grand Canyon. Horizontale lagen zorgen voor dagzomen die de hoogtelijnen volgen. Alleen onderin de canyon lopen de lagen niet horizontaal (uitgave USGS).



Figuur 5.5. Verticale kalksteenlagen net ten zuiden van Buis les Baronnie (Drôme, Frankrijk) zorgen voor een aantal kaarsrechte dagzomen. X geeft aan waar de onderste foto is genomen. (BRGM, IGN, J.C. Blom)

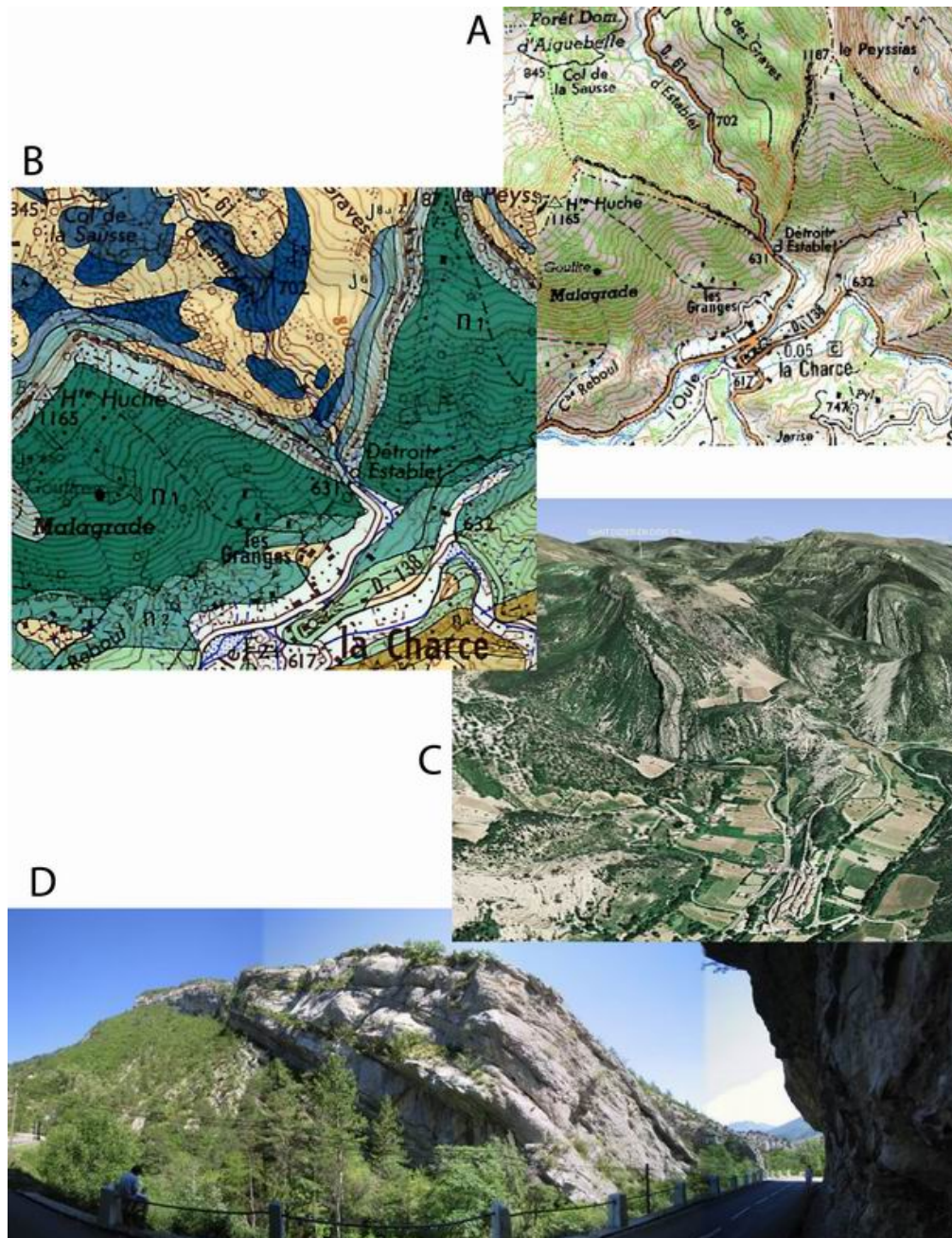
5.4 Regel van de 'V's

Om bij de dagzoom van een hellende laag de hellingsrichting te onderscheiden, wordt de regel van de 'V's toegepast op de dagzoom **in een dal** (en dus niet een bergrug). Het dagzoompatroon van een hellende laag zal in een dal een V-vorm vertonen. Indien de dagzoom een V-vorm vertoont, met de punt van de 'V' dalafwaarts, dan duikt het geologisch vlak eveneens dalafwaarts, in richting van de punt van de 'V' (fig.5.6). Wijst de punt van de 'V' dalopwaarts, dan is de hellingsrichting van de laag eveneens dalopwaarts (fig.5.6).



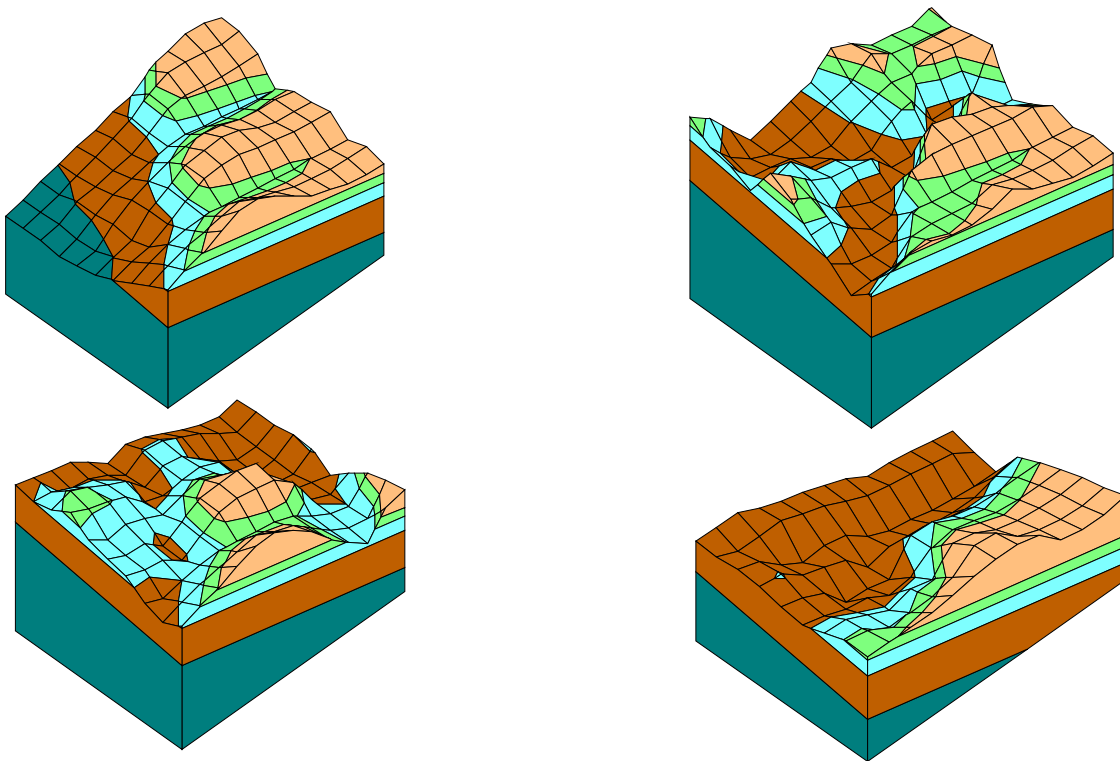
Figuur 5.6 Regel van de V. Bij een V-vormige dagzoom in een dal hellen de lagen in de richting van de punt van de V

Op deze regel zijn slechts twee, weinig voorkomende, uitzonderingen, namelijk in het geval van een laag waarvan de hellingshoek gelijk is aan die van het dal en voor een laag waarvan de hellingshoek kleiner is dan die van het dal.



Figuur 5.7 De regel van de V in het veld. Net ten noorden van La Charce (Drôme, Frankrijk) laat de topografische kaart (A) een dal zien met een nauwe kloof, het *Detroit d'Establet*. Op de geologische kaart (B) zien we V-vormige dagzomen, op het 3D model (C) herkennen we de lagen en in het veld (D) zien we ze naar het zuiden hellen. (A, C: IGN, B: BRGM; D: J.C. Blom)

Figuur 5.8 laat zien hoe sterk het dagzoompatroon afhankelijk is van de topografie. In alle drie de gevallen duikt een even dikke zandsteenlaag met eenzelfde hellingshoek (19°), steeds in dezelfde richting (175°). Het enige wat varieert in de drie figuren is de topografie en deze zorgt voor sterk verschillende dagzoompatronen. Wanneer de topografie nog meer gevarieerd wordt, kan het dagzoom patroon complexer worden. Indien de gesteentelagen bovendien geplooid zijn, wordt het dagzoompatroon in combinatie met de topografie nog ingewikkelder.



Figuur 5.8 Steeds dezelfde geologie, maar verschillende topografie

6 LAAGDIKTE

Bij een gesteentelaag zijn drie "diktes" te onderscheiden:

1. strekkende breedte
2. ware dikte
3. verticale dikte

6.1 *Strekkende breedte*

Wanneer men, in plaats van lagen te beschouwen als meetkundige vlakken met een te verwaarlozen dikte, wel de dikte van een gesteentelaag in beschouwing neemt, is de dagzoom van zo'n laag geen lijn, maar een strook in het terrein. Deze strook heeft een bepaalde breedte die over de grond is op te meten. Dit noemt men de strekkende breedte. In de praktijk wordt er niet vaak met de strekkende breedte gewerkt, aangezien hij sterk afhankelijk is van de hellingshoek van een laag en de topografie ter plaatse (fig.6.1).



Figuur 6.1 Het Valanginien bij La Charce, in de Drôme, Frankrijk, laat het principe van de strekkende breedte zien. Bij een andere helling van de lagen of van de topografie verandert deze waarde natuurlijk.

6.2 Ware dikte

De ware dikte is, indien een laag niet uitwigt, een constante dikte. De dikte wordt gemeten loodrecht op de laagvlakken. De ware dikte is in het algemeen niet direct op te meten, maar moet berekend worden. Alleen als de topografie loodrecht op de laag staat, is de ware dikte direct op te meten (fig.6.2).

Aangezien lagen niet altijd een constante dikte hebben, èn omdat de ware dikte niet eenvoudig op te bepalen is, wordt ook met deze "dikte" niet vaak gewerkt.



Figuur 6.2 Bij een verticale rotswand en horizontale lagen is de ware dikte direct in het veld op te meten. Tithonique (boven) en Kimmeridgien, Gorge de St.May, Frankrijk. Let ook op de breuk (stippellijn).

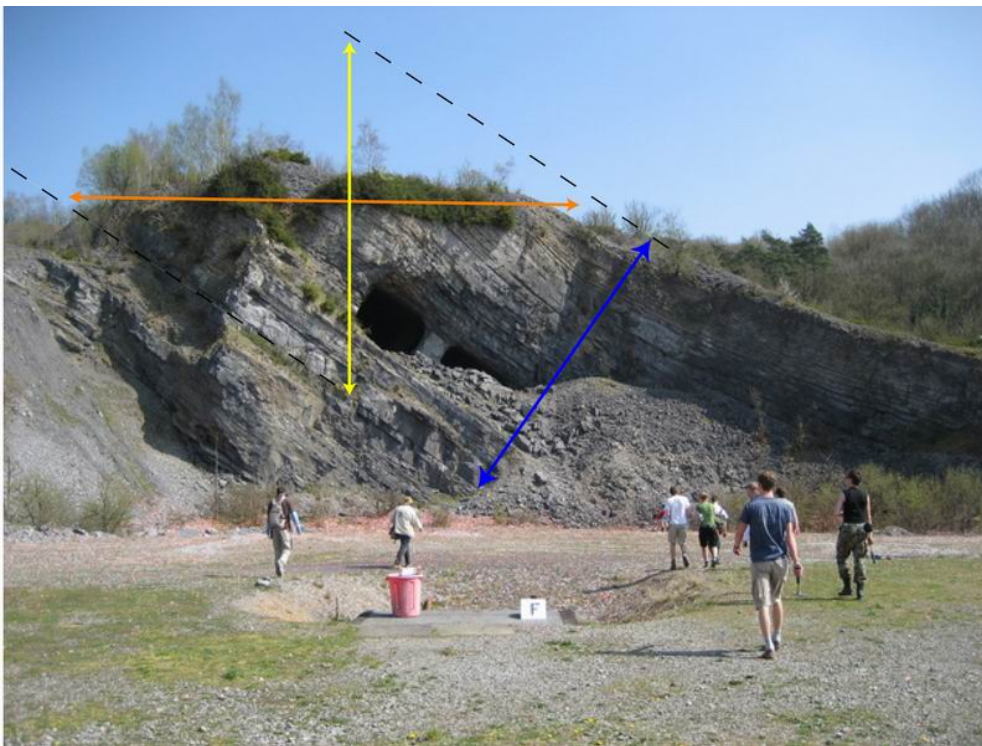
6.3 Verticale dikte

De verticale dikte is de dikte van een laag in verticale richting gemeten. In de praktijk wordt het meest met deze dikte gewerkt, o.a. omdat hij direct uit een structuurkaart is te bepalen.

Voor een gesteentelaag die overall even dik is en die begrensd wordt door twee evenwijdige, platte, hellende vlakken, zullen de structuurlijnen van de onder- en de bovenkant:

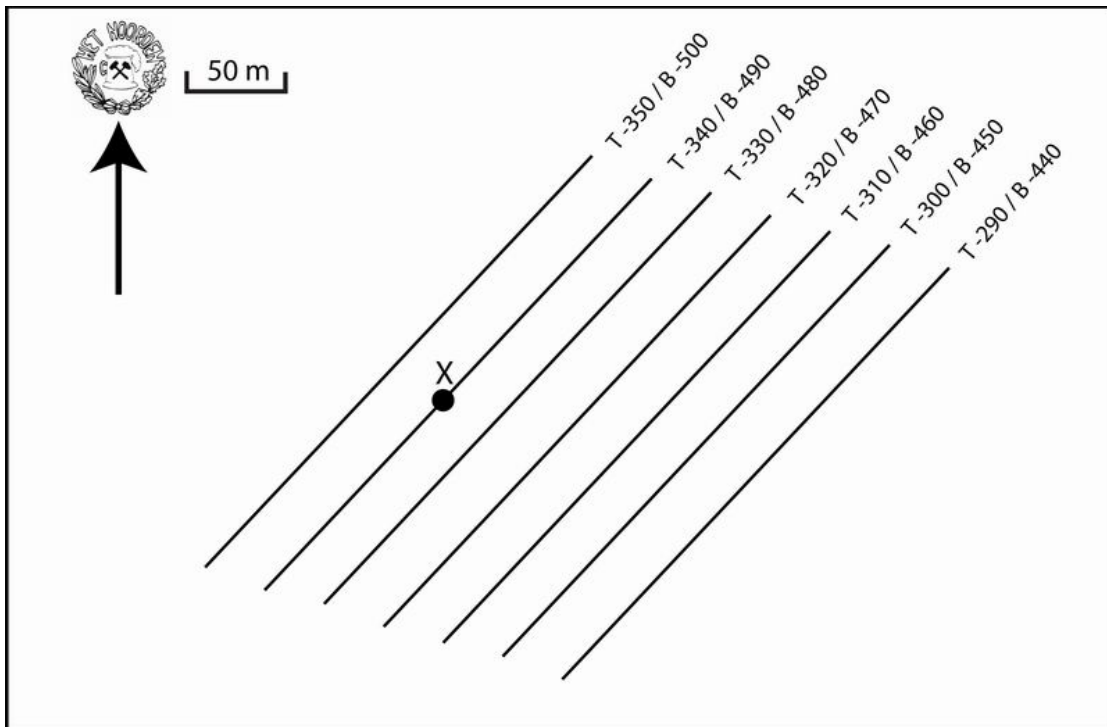
1. een gelijke richting hebben (de hellingsrichtingen (en dus de strekkingen) zijn immers gelijk);
2. onderling een gelijke afstand hebben (de hellingshoek is immers gelijk);
3. verschillende dieptes vertonen voor samenvallende structuurlijnen.

Met dit laatste punt is de verticale dikte te bepalen.



Figuur 6.3 De verschillende diktes: **Strekkende breedte (oranje, horizontaal)**, **Ware dikte (blauw, schuin)** en **verticale dikte (geel, verticaal)** voor een pakket Viseen kalksteen, Groeve Ste. Anne, Dinant, België

Om de verticale dikte te bepalen in een bepaald punt (X in fig.6.4), moet het verschil tussen de waarde van de structuurlijn van de onderkant (Bottom, B) van de laag (-490 m) t.o.v. de waarde van de bovenkant (Top, T) van de laag (-340 m) bepaald worden. De punten moeten precies onder elkaar liggen, omdat anders niet de verticale dikte wordt verkregen. In dit voorbeeld is dus de verticale dikte $490 - 340 = 150$ m.

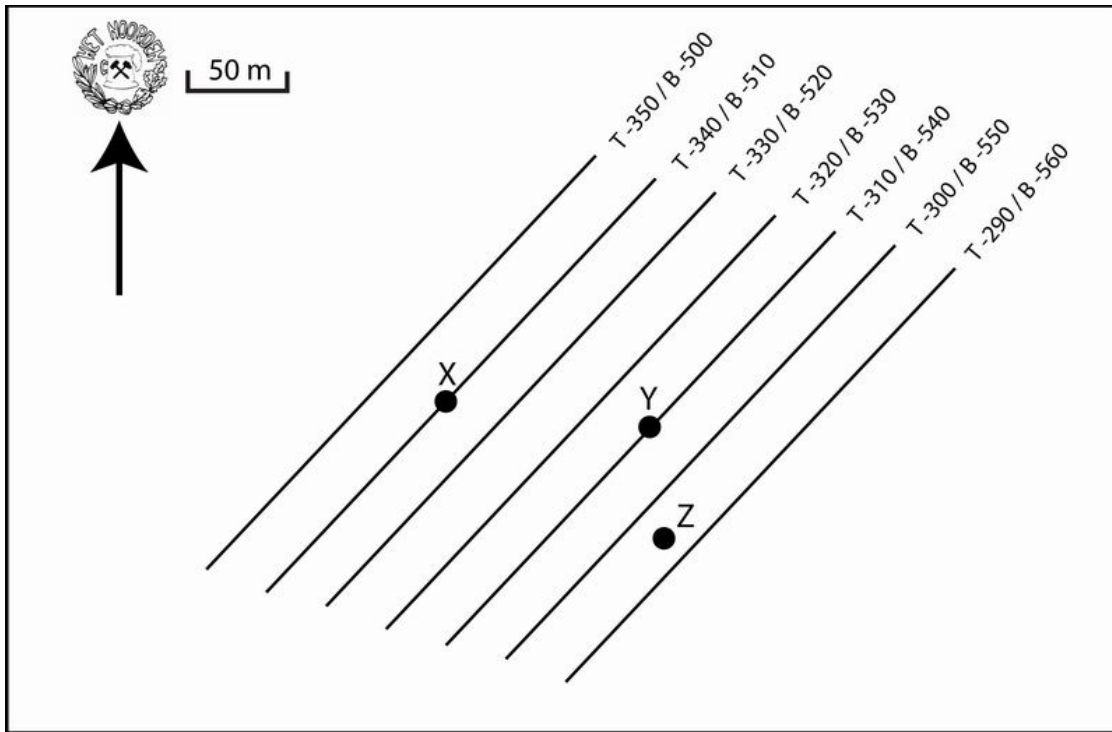


Figuur 6.4 het bepalen van de verticale dikte in een structuurkaart. In punt X ligt de top (T) van een laag op -340 m en de bottom (B) op -490 m. Het verschil, 150m, is de verticale dikte.

De snelste methode om de verticale dikte af te lezen is met behulp van de structuurkaart waarop de waarden van de structuurlijnen van de onder- en de bovenkant zijn aangegeven. Door het verschil te bepalen tussen deze waarden wordt de verticale dikte verkregen. Let er op dat dus de waarden van samenvallende structuurlijnen met elkaar moeten worden vergeleken.

In het behandelde voorbeeld lagen de structuurlijnen van de bovenkant (top) en de onderkant (bottom) precies boven elkaar, en waren beide evenwijdig aan elkaar, zodat het verschil makkelijk te bepalen was, en bovendien constant over de hele kaart (ga dit na voor jezelf).

Als dit niet het geval is, moet de verticale dikte van plaats tot plaats bepaald worden, al dan niet d.m.v. interpolatie (fig.6.5).

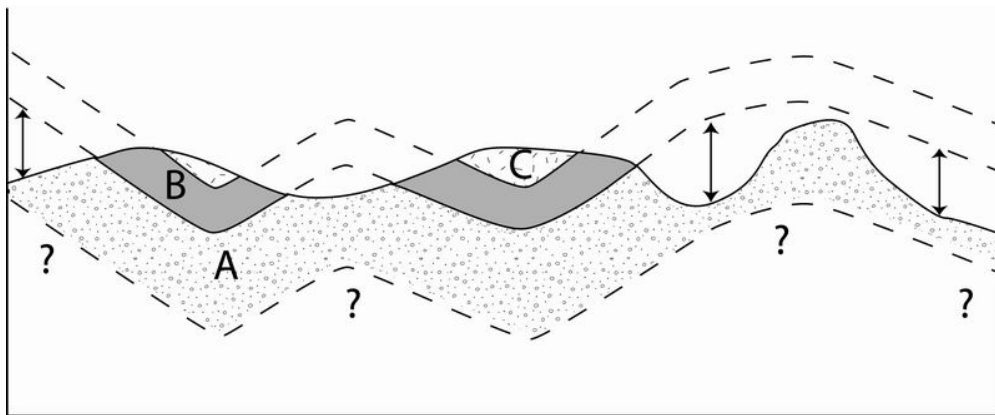


Figuur 6.5 De bepaling van de verticale dikte indien top en bottom van een laag NIET evenwijdig aan elkaar zijn. Bepaal zelf de verticale diktes in punten X, Y en Z.

6.4 Minimale verticale dikte

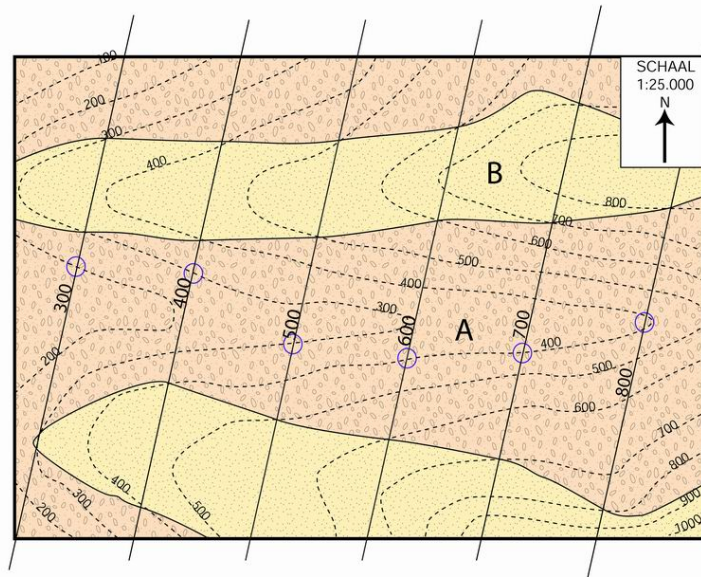
Het kan voorkomen dat van een bepaalde laag alleen de top of alleen de bottom ontsloten is. In dat geval is de verticale dikte niet te bepalen, maar wel is er een minimale verticale dikte te bepalen.

In figuur 6.6. zien we een profiel waarin een aantal lagen zijn ingetekend. Van laag B zijn zowel de onder- als de bovenkant bekend en is de verticale dikte dus simpel te bepalen. Voor lagen A en C is dat moeilijker, omdat hier de onderkant, resp. bovenkant van de lagen niet bekend zijn. Voor laag A moeten we nu op zoek naar de grootste dikte die we kunnen vinden, door te kijken naar het verschil tussen de bovenkant van de laag (het grensvlak AB) en de topografie waar A ontsloten is. Met pijlen zijn een aantal van die meetpunten aangegeven. De grootste afstand tussen de bovenkant en de topografie noemen we de **Minimale Verticale Dikte**. Voor C geldt hetzelfde, alleen vergelijken we hier de onderkant met de topografie. Ook dit levert een minimale verticale dikte op.



Figuur 6.6. Het principe van de minimale verticale dikte. Zie tekst voor uitleg.

De algemene procedure voor het bepalen van de minimale verticale dikte van een laag waarvan alleen de top òf de bottom ontsloten is, is dus op zoek te gaan naar die plek op de kaart (of profiel) waar de betreffende laag ontsloten is en waar het verschil tussen de topografie en de structuurlijnen van resp. de top òf de bottom het grootst is. In figuur 6.7 zien we dit in kaartbeeld: De structuurlijnen hebben betrekking op het grensvlak tussen lagen A en B. Voor laag B is voor alle structuurlijnen aangegeven wat de maximale dikte is voor deze structuurlijn. De structuurlijn rechts, van 800m geeft een dikte van 400 m, dit is de hoogste waarde van alle structuurlijnen (ga dit voor jezelf na), en is dus de minimale dikte van laag A. Probeer nu op de zelfde wijze de dikte van laag B te bepalen.



Figuur 6.7 Het bepalen van de minimale dikte van een laag in een kaart, zie tekst voor uitleg.

7 GEOLOGISCHE PROFIELEN

7.1 Algemeen

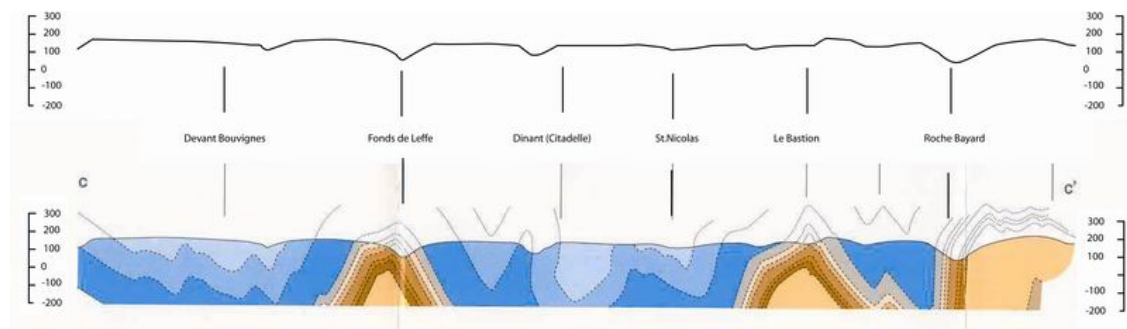
Een geologisch profiel (ook wel een geologische sectie genoemd), is een verticale doorsnede door een deel van de aardkorst, en wordt meestal gebruikt ter verduidelijking van de geologie ter plaatse.

Het profiel heeft een bepaalde richting of oriëntatie en de doorsnede van het profiel staat aangegeven op de kaart (de profiellijn). Het meest oostelijke gedeelte van het profiel ligt altijd aan de rechterkant, behalve bij een zuiver N-S profiel, daar ligt het meest noordelijke gedeelte altijd rechts.

In feite bestaat het profiel uit twee delen: topografie & geologie (zie fig.7.1).

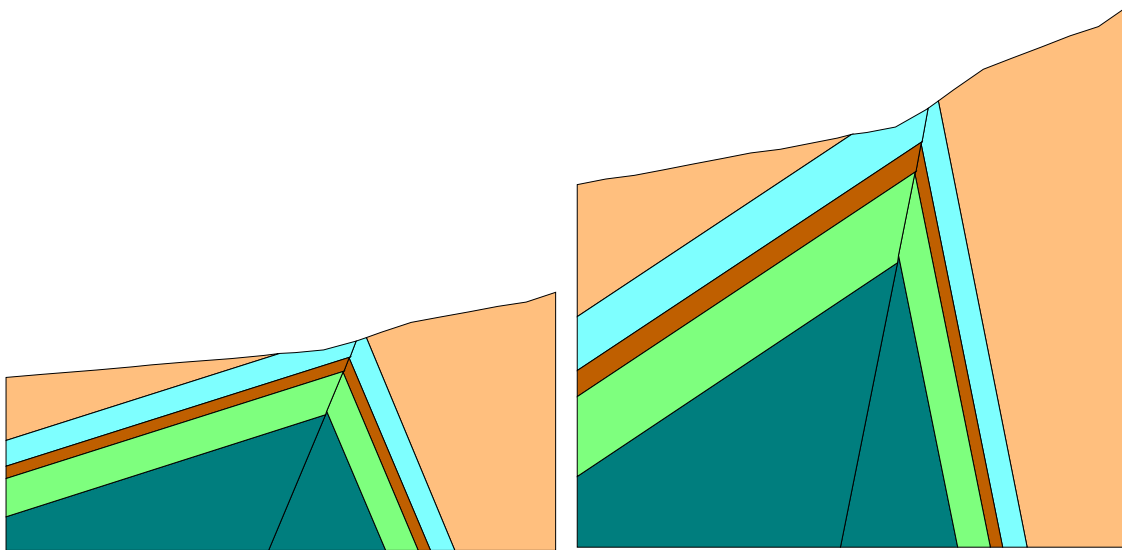
Het topografisch gedeelte geeft de doorsnede van de topografie, het landschap. Dit zijn dus de snijlijnen van de hoogtelijnen met het profielvlak en hierop kunnen dus eventueel aanwezige dalen en heuvels worden onderscheiden.

Het geologisch gedeelte geeft de doorsnede van de geologie in de ondergrond, dus de snijpunten van de structuurlijnen van de verschillende vlakken met het profielvlak.



Figuur 7.1 Een topografisch profiel laat de vorm van het landschap zien (boven), een geologisch profiel (onder) laat ook zien hoe de geologie in de ondergrond eruit ziet. (Profiel van kaart 53/7-8 Hastiere-Dinant, Carte géologique de Wallonie).

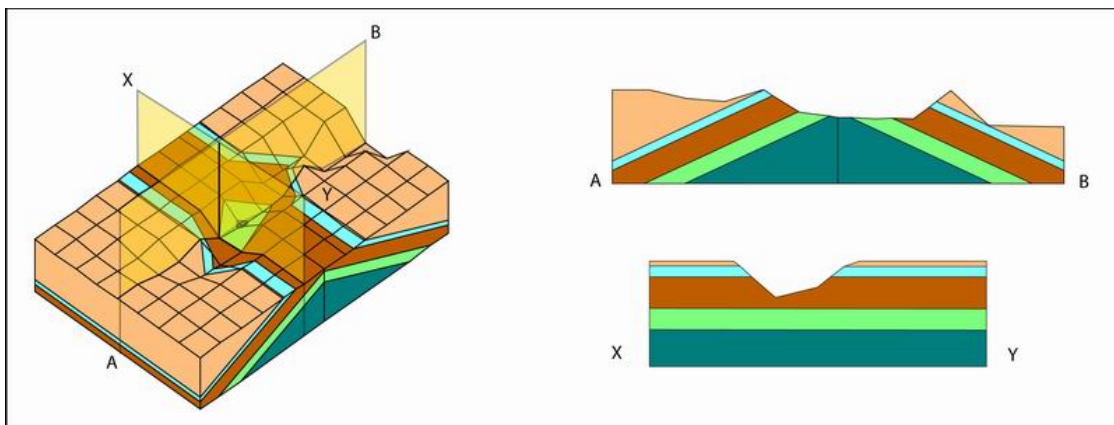
Bij een profiel is sprake van een verticale en een horizontale schaal. Om te voorkomen dat topografische en geologische hellingen worden overdreven (fig.7.2), worden deze beide schalen aan elkaar **gelijk** gehouden tijdens dit practicum. In de praktijk komt het wel eens voor dat deze schalen verschillend worden genomen, maar dus nooit tijdens dit practicum.



Figuur 7.2 Indien horizontale schaal en verticale schaal niet gelijk worden gehouden (rechts), kunnen schijnbare dikteverschillen ontstaan. Bovendien komen de hellingen niet overeen met de werkelijke situatie.

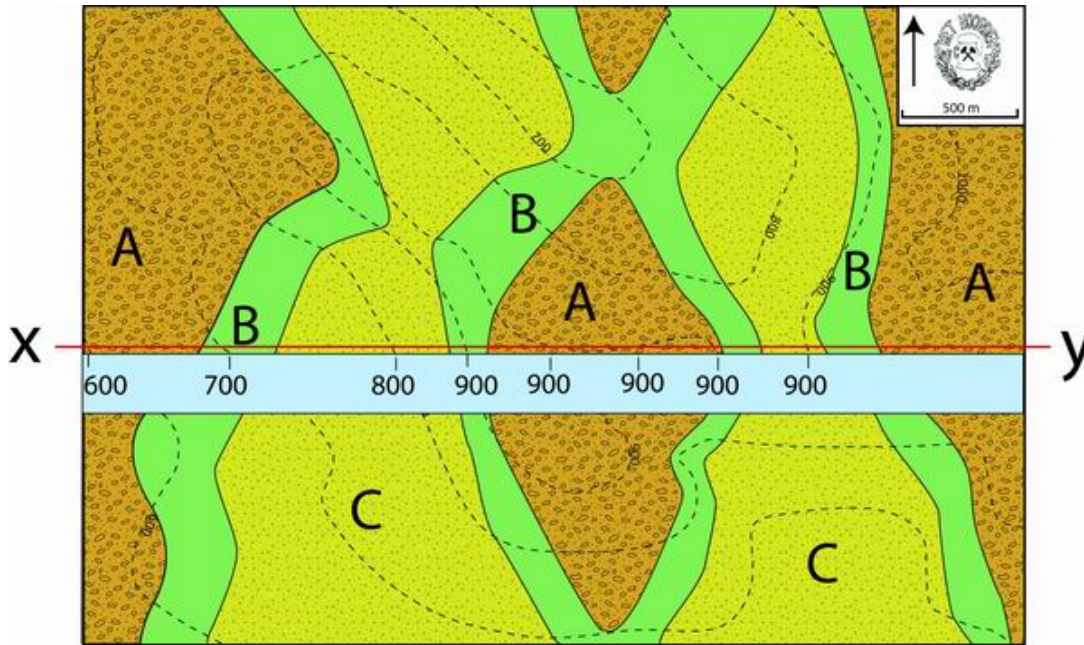
Een ander belangrijk punt bij het construeren van profielen is de juiste keuze van de profiellijn. Het profiel moet namelijk zoveel mogelijk informatie bevatten. In figuur 7.3 is een pakket geplooid gesteente te zien waar twee mogelijke profielen zijn getekend. Het zal hopelijk duidelijk zijn dat het profiel getekend loodrecht op de structuur (boven) veel zinvoller is dan het profiel getekend evenwijdig aan de structuur (onder).

In het algemeen kan hierover opgemerkt worden dat profielen zoveel mogelijk loodrecht op de structuur (en dus op de structuurlijnen) getekend dienen te worden.



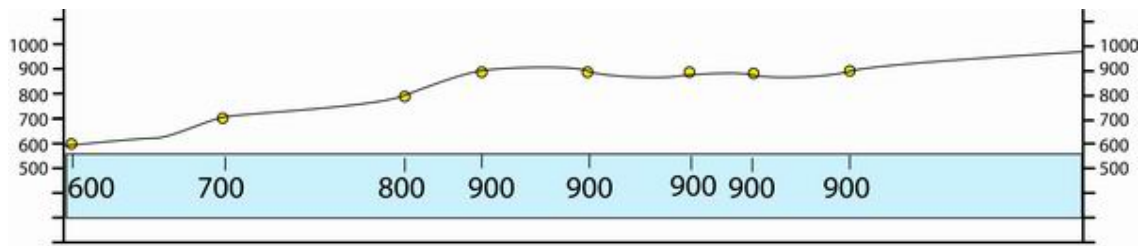
Figuur 7. 3 Laat in je profiel zoveel mogelijk informatie zien. Beide profielen zijn correct, maar niet even zinvol.

7.2 Profielconstructie

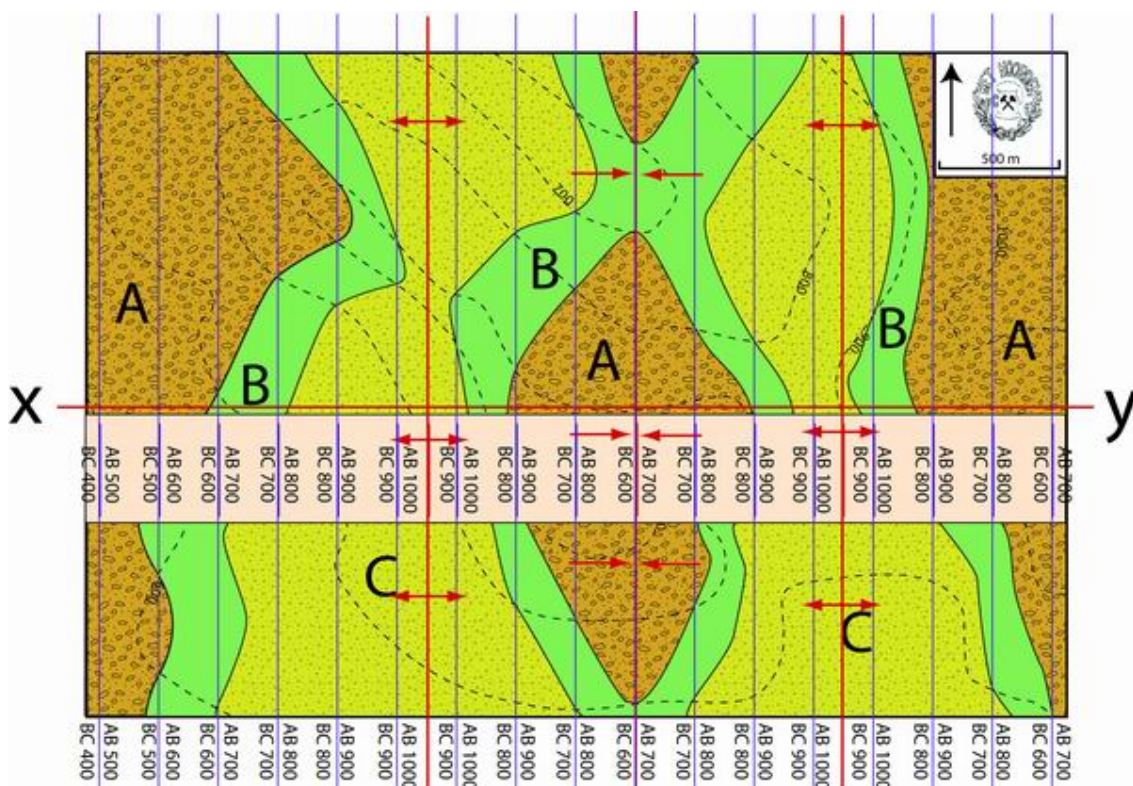


Figuur 7.4 Geologische kaart waarop het profiel XY getekend gaat worden. De doorsnijdingen van de hoogtelijnen met de profiellijn worden aangegeven op een strookje papier.

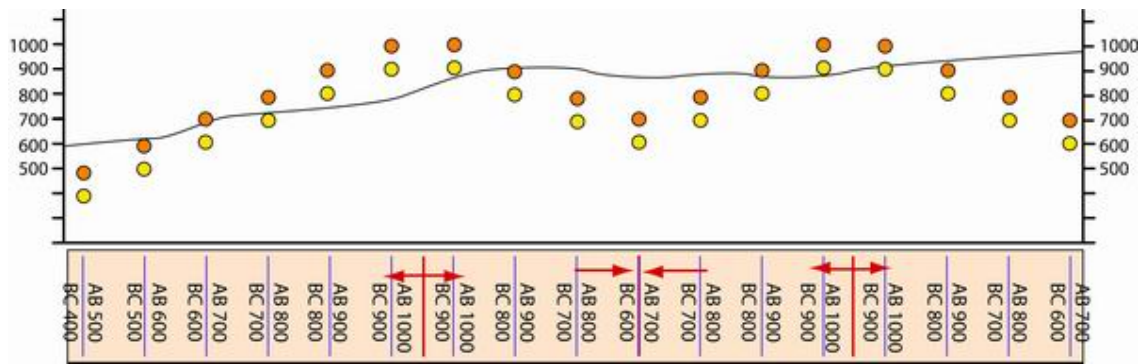
1. Zoek een goede profiellijn en meet de lengte van het profiel op de kaart (fig.7.4). Zet deze lengte horizontaal uit, met aan weerszijden van de profiellijn de schaal uitgezet (loodrecht op de profiellijn)(fig.7.5). Geef de richting van het profiel aan.
2. Neem op een apart strookje papier de positie van de hoogtelijnen langs de profiellijn op de kaart over (fig.7.4).
3. Zet deze afstanden op de juiste plaats en op de juiste hoogte uit en trek hier een lijn door (fig.7.5). Dit is het topografisch profiel.
4. Neem op een nieuw strookje papier de positie van de structuurlijnen van de verschillende geologische vlakken over (fig.7.6) en zet deze punten in het profiel op de juiste plaats en hoogte (fig.7.7). Teken vervolgens de vlakken in (fig.7.8). Stippel "luchtlijnen"; deze kunnen het profiel duidelijker maken.
5. Completeer het geheel met een topografische en geologische legenda.



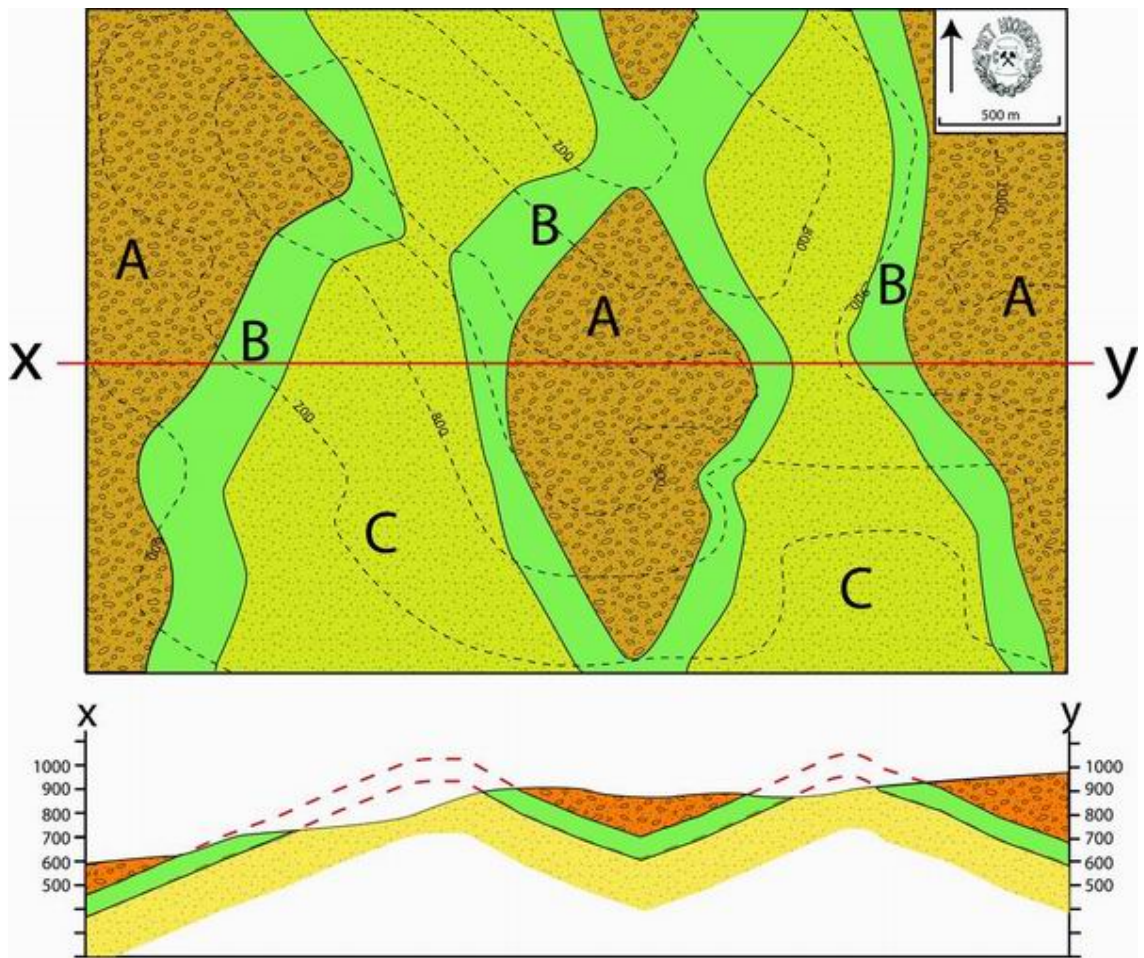
Figuur 7.5 Het topografisch profiel behorend bij de profiellijn XY in figuur 7.4



Figuur 7.6 De structuurlijnen zijn ingetekend en kunnen worden over genomen op een strookje papier. Geef ook de plooiën aan.



Figuur 7.7. Zet de snijpunten van de structuurlijnen uit op de goede hoogtes.



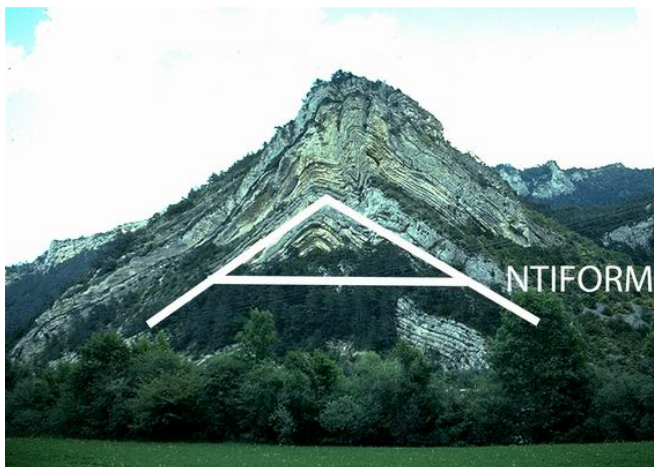
Figuur 7.8. Het uiteindelijke profiel behorend bij de lijn XY. Teken ook 'luchtlijnen' om de structuur beter te doen uitkomen.

8 PLOOIEN

8.1 Algemeen

Tot nu toe is er steeds van uitgegaan dat de gesteentelagen rechte, platte vlakken waren. Wanneer deze platte gesteentelagen echter, in de aardkorst, aan hoge druk en temperatuur blootgesteld worden, kunnen zij zich plastisch gaan gedragen, met plooïing als resultaat. Plooïen in het gesteente worden, vooral in gebergtekets, in alle vormen en maten aangetroffen en om ze goed te kunnen beschrijven, zijn allereerst een aantal definities nodig.

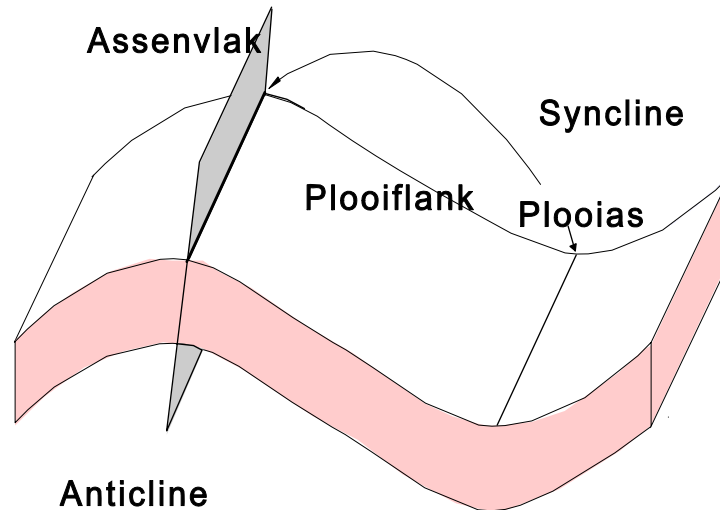
-Een plooï waarbij de lagen naar boven bol zijn is een **antiform**, een waarbij de lagen bol naar onder zijn is een **synform** (fig.8.1).



Figuur 8.1 Een antiform (boven, Frankrijk) heeft de bolle kant naar boven, een synform (onder, België) heeft de bolle kant naar beneden.



Een **anticline** is gedefinieerd als een plooï met het oudste gesteente in de kern, en een **syncline** als een plooï met het jongste gesteente in de kern. Aangezien dat meestal overeenkomt met een antiform en synform, worden de termen vaak door elkaar gebruikt. Let echter op, synforme anticlines en antifforme synclines komen voor in de natuur!!



Figuur 8.2 Naamgeving van ploioinderdelen

- De twee zijkanten van een plooï worden **plooi**flanken genoemd en de snijlijn van deze twee flanken de **plooi**ias of het plooischarnier (fig.8.2).
 - Het vlak dat door de plooiassen van de verschillende lagen van één plooï kan worden getekend of gedacht, heet het **assenvlak** (fig.8.2). Dit vlak deelt de plooï in twee "gelijke" delen.
 - Wanneer de plooiias niet horizontaal is, spreken we van een duikende plooï.
 - Is het assenvlak horizontaal, dan spreken we van een liggende plooï.
- Het is ook handig om te bedenken dat i.h.a. de gesteenten in de kern van een anticline ouder zijn dan die er boven en naast liggen. Een afgeërodeerde anticline is dus op een kaart te herkennen aan een kern van oud gesteente, omgeven door jonger gesteente dat er vandaan helt. Bij een syncline is dit precies omgekeerd, een kern met jong gesteente met ouder gesteente dat er naar toe helt. (Zie ook fig.8.3).

8.2 Structuurbeeld

Op een structuurkaart kan plooiing eenvoudig herkend worden door de herhaling van structuurlijnen bij de hellingsverandering in de andere flank van de plooï.

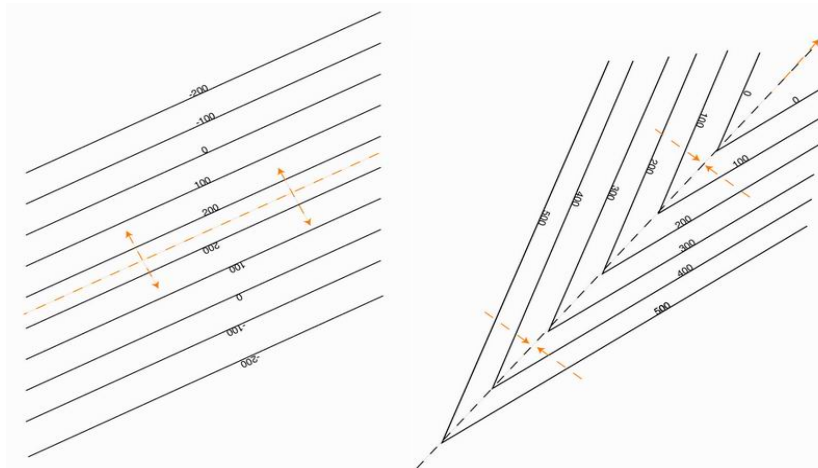
Wanneer het een plooï betreft met een horizontale plooiias, zullen beide flanken in tegengestelde richting duiken. Dit betekent dat de structuurlijnen in beide flanken evenwijdig zijn aan elkaar (fig.8.4).

In het geval van een duikende plooï, zullen de structuurlijnen niet evenwijdig zijn, maar elkaar gaan snijden. Deze snijpunten vormen dan samen de plooiias (fig.8.4).

Uiteindelijk zullen de structuurlijnen hier dus geen rechte lijnen zijn, maar een ombuiging vertonen.



Figuur 8.3 Sheep Mountain anticline, in Wyoming USA, laat fraai een aantal aspecten van een plooi zien.



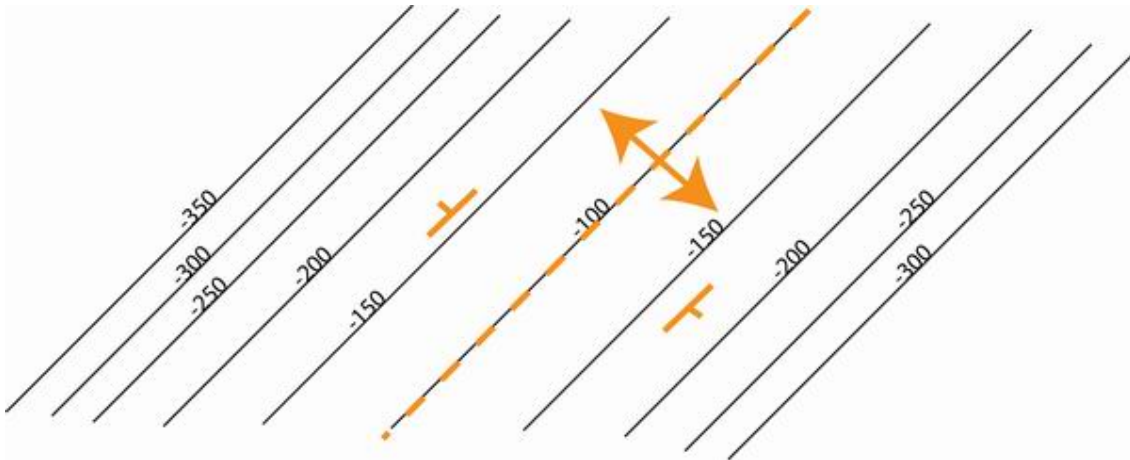
Figuur 8.4 Structuurkaarten van twee plooiën, links een antiform met een horizontale plooiias, rechts een synform, maar dan met een duikende plooiias, let op het verschil in het patroon van de structuurlijnen. Wat is de richting van de plooiias in deze gevallen?

In figuur 8.4 zien we de structuurkaarten van plooiën met een horizontale en een duikende plooiias. Bij beide plooiën is de ombuiging van de betreffende laag heel scherp.

Een dergelijke ploi wordt ook wel een chevron ploi genoemd. Meestal vertonen plooien een geleidelijke ombuiging. Indien dit gebeurt langs een rechte plooias worden deze plooien ook cilindrische plooien genoemd (zie fig.8.5) Een probleem bij structuurkaarten van cilindrische plooien levert de variatie in de hellingshoek. Naarmate de flanken van de ploi steiler gaan staan, komen de structuurlijnen dichtter bij elkaar te liggen (fig.8.6) en is de onderlinge afstand tussen de structuurlijnen dus niet overal hetzelfde.



Fig.8.5 boven: Liggende chevronplooien langs de kust van Devon; onder: deel van een liggende cilindrische ploi in de Drôme. Let op de veel geleidelijkere ombuiging van de lagen. Merk tevens op dat in beide gevallen zowel het assenvlak als de plooias horizontaal liggen.



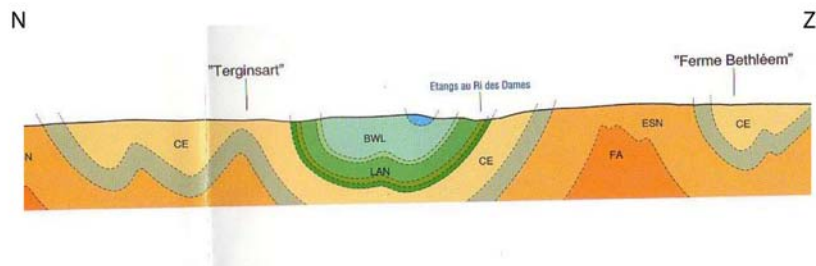
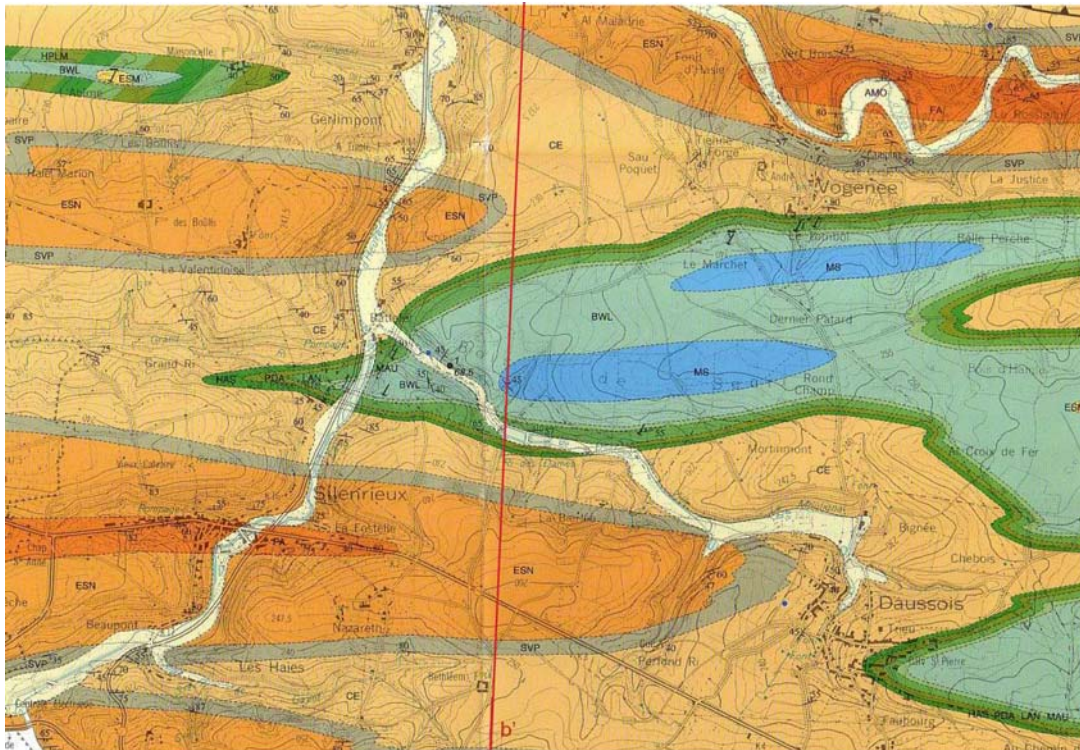
Figuur 8.6 Typische structuurkaart van een cilindrische antiform, waarbij de lagen in de flanken een steilere helling hebben dan rond de ombuiging. De hellingshoek is dus niet constant in de flanken in dit geval, de hellingsrichting is dat hier wel.

8.3 Kaartbeeld

Op een geologische kaart zijn plooien in het gesteente minder snel te herkennen, maar met enige oefening kan dit toch weinig problemen opleveren.

Een fenomeen dat de meeste plooien verraad, is het feit dat er aan de oppervlakte een symmetrische opeenvolging van de verschillende gesteentesoorten te zien is, m.a.w. de gesteenten worden in een bepaalde richting eerst steeds ouder en vervolgens komen de zelfde gesteenten in omgekeerde volgorde, dus steeds jonger wordend, weer terug (zie fig. 8.7). In dit geval is de kans groot dat er sprake is van een anticline. In het omgekeerde geval, waarbij het gesteente naar het midden van de symmetrische opeenvolging toe steeds jonger worden, is er doorgaans sprake van een syncline. Door bovendien te letten op ombuigingen van dagzomen en op oriëntatie veranderingen (b.v. met behulp van de regel van de "V"s), zijn vrijwel alle plooien op te sporen.

Vooraf plooien met een duikende plooi-as zijn doorgaans goed te herkennen aan hun steeds wijder wordende V-vorm (fig.8.7), waarbij de punt van de V nu in de richting van de plooi-as wijst bij anticlines. Bij synclines is het precies andersom (ga dit voor jezelf na!).



Figuur 8.7 Deel van de geologische kaart van Wallonië, blad 52, 7/8 Silenrieux-Walcourt. In het profiel zijn duidelijk een serie plooien te herkennen, maar ook de symmetrische opeenvolging van de verschillende dagzomen op de kaart wijst al in de richting van plooien. Hebben deze plooien een horizontale of een duikende plooias?

9 BREUKEN

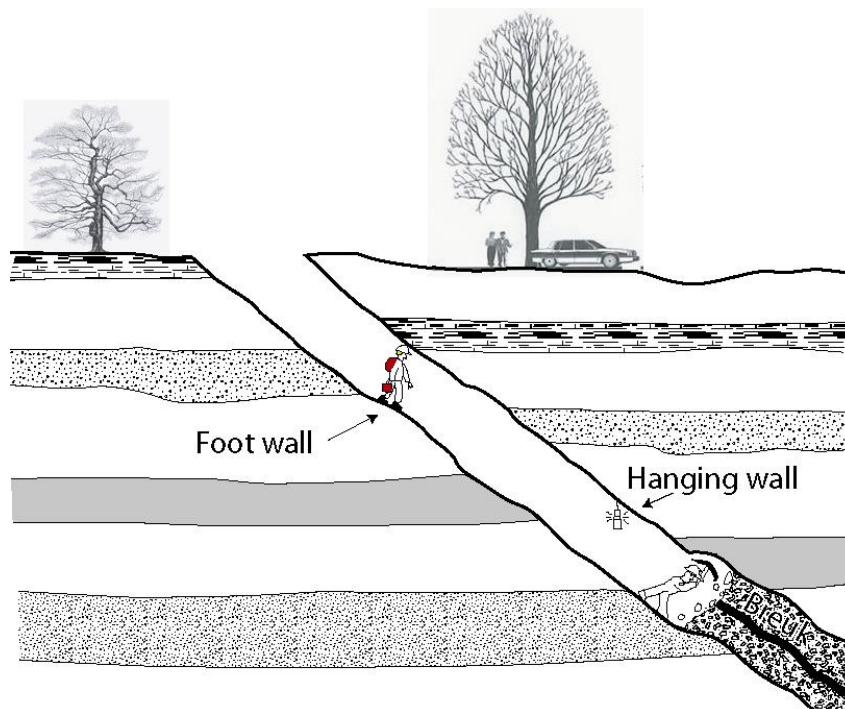
9.1 Inleiding

Indien het gesteente zich minder plastisch gedraagt dan beschreven in hoofdstuk 8, bijvoorbeeld doordat het zich minder diep in de aardkorst bevond en daardoor aan minder hoge druk en temperatuur blootstond, kunnen er, als gevolg van deformatie van het gesteente, breuken en verschuivingen ontstaan.

Een breuk of verschuiving wordt gedefinieerd als een plek in de aardkorst waar het gesteente zijn cohesie heeft verloren (is gebroken) en waar het gesteente langs elkaar is geschoven.

Omdat breuken onder zeer verschillende omstandigheden kunnen ontstaan en daardoor ook zeer verschillende verschijningsvormen hebben, zullen we allereerst een paar zaken moeten definiëren

- Het gesteente boven een hellend breukvlak wordt Hanging Wall (Ned: bovenblok) genoemd, het gesteente onder het breukvlak Foot Wall (Ned: onderblok)(fig.9.1);
- De werkelijke beweging langs een breukvlak is in de praktijk maar zelden te achterhalen: vrijwel alle bewegingen langs breuken zijn relatief;



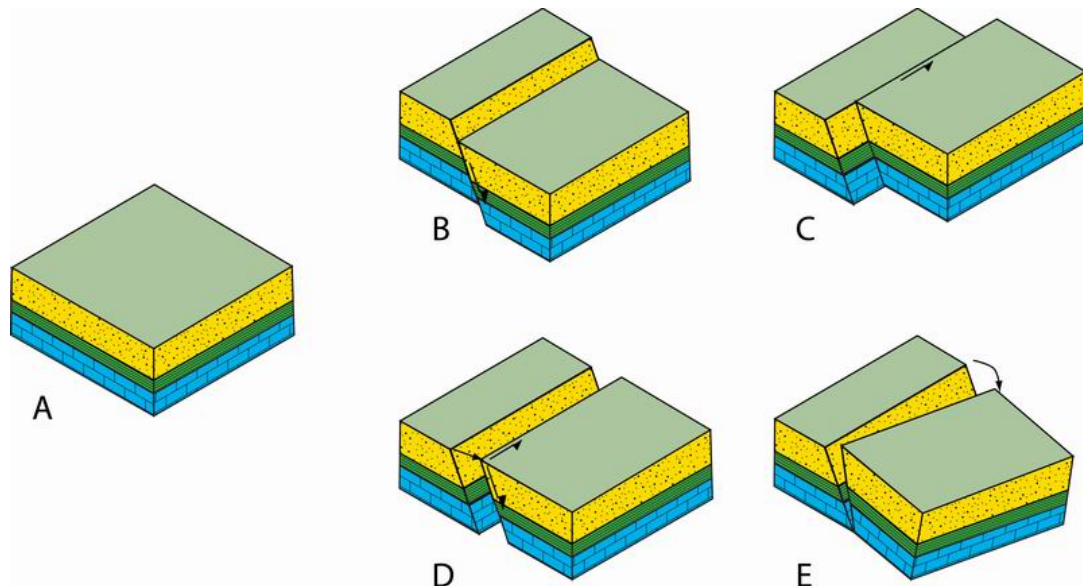
Figuur 9.1 Het verschil tussen footwall en hanging wall

9.2 Indeling van breuken

De naamgeving van de verschillende types breuken is gebaseerd op de relatieve beweging van de gesteente blokken aan weerszijden van de breuk.

Er zijn vier soorten bewegingen (zie fig.9.2):

- Strike slip Hierbij zijn de gesteente blokken **evenwijdig aan de strekking** van het breukvlak verschoven;
- Dip slip In dit geval zijn de gesteente blokken **evenwijdig aan de helling** van het breukvlak verschoven;
- Oblique slip Een combinatie van dip slip en strike slip;
- Rotationale slip Hieronder vallen alle breuken waarbij de gesteente blokken niet alleen verschoven zijn ten opzichte van elkaar, maar waarbij ook nog een rotatie heeft plaatsgevonden;



Figuur 9.2. Naamgeving van breuken, gebaseerd op de relatieve beweging van de gesteenten aan weerszijden van de breuk. A: voor deformatie; B: dip slip; C: strike slip; D: oblique slip; E: rotationale slip

Tijdens dit practicum zullen we ons beperken tot strike-slip en dip-slip. Zowel strike-slip als dip-slip zijn nog verder onder te verdelen.

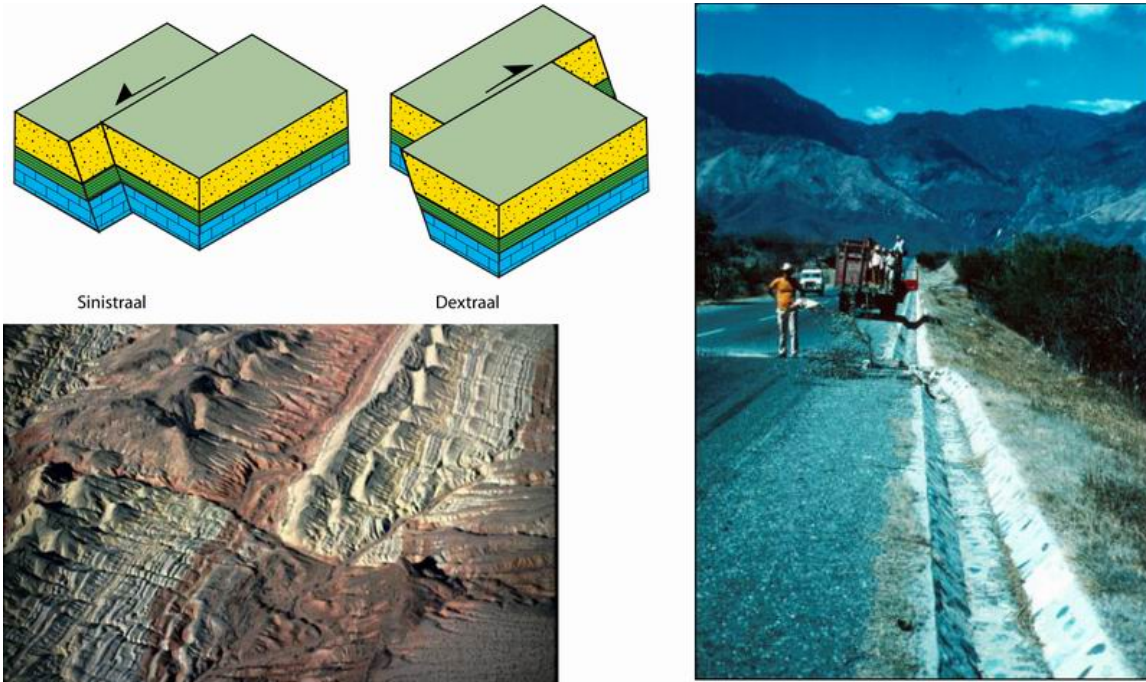
Strike-slip breuken (Ned: zijverschuivingen of horizontaal verschuivingen) zijn in het algemeen verticale breuken waarbij de blokken aan weerszijden horizontaal verschuiven t.o.v. elkaar. Wanneer we een kaartbeeld van een strike-slip breuk beschouwen met een oriëntatie van 010/90 (de dagzoom van de breuk loopt dus vrijwel van E naar W)(fig.9.3a),

dan kan het blok ten N van deze breuk twee kanten op schuiven t.o.v. het blok ten S van deze breuk.

Schuift het N-blok relatief naar links, het W dus, dan spreken van een **sinistrale** breuk (fig.9.3b). Schuift het N-blok relatief naar rechts, het E dus, dan spreken we van een **dextrale** breuk (fig.9.3c).

Dus, is in kaartbeeld de relatieve beweging linksom: sinistraal;

Is de relatieve beweging rechtsom: dextraal.



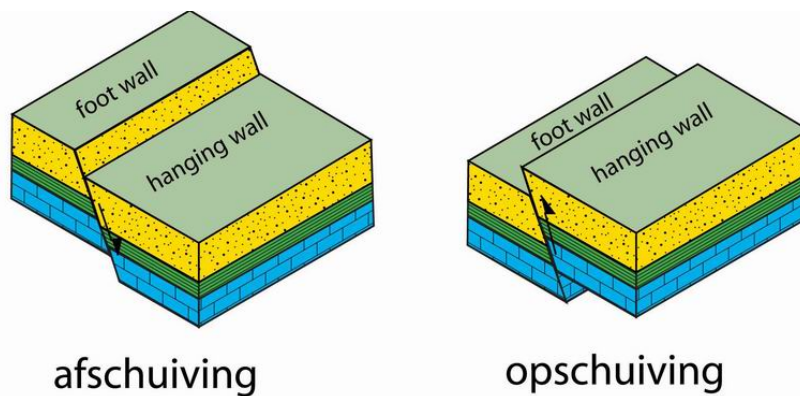
Figuur 9.3 Naamgeving van strike-slip breuken. Let op, de tekening geeft het kaartbeeld/bovenaanzicht. Onder: Dextrale breuk in de omgeving van Las Vegas; rechts: sinistrale breuk in Guatemala.

Strike slip breuken kunnen voorkomen als relatief kleine breuken, maar kunnen ook enorme grote, langlevende structuren vormen. Een bekend voorbeeld van een grote dextrale strike-slip breuk is de San Andreas Fault in Californië, waarbij San Francisco precies op deze breuk ligt. De Great Glen Fault in Schotland (te herkennen aan de rechte lijn van het NE naar het ZW die dwars door Schotland loopt, fig. 9.4), is een ander goed voorbeeld van een grote strike-slip breuk. Deze breuk is in zijn bestaan actief geweest als sinistrale breuk in het Siluur en Devoon, en als dextrale breuk in het Carboon. Loch Ness ligt precies op deze breuk. Andere voorbeelden van grote strike slip breuken zijn o.a. te vinden in Nieuw Zeeland (Alpine fault) en in de vallei van de Jordaan/ Golf van Akaba, tussen Israël en Jordanie.



Figuur 9.4, De Great Glen Fault in Schotland, een fraai voorbeeld van een grote strike slip breuk.

Voor de onderverdeling van **dip-slip** breuken wordt gekeken naar de relatieve beweging van de hanging wall (bovenblok) en deels naar de oriëntatie van het breukvlak (fig.9.5).

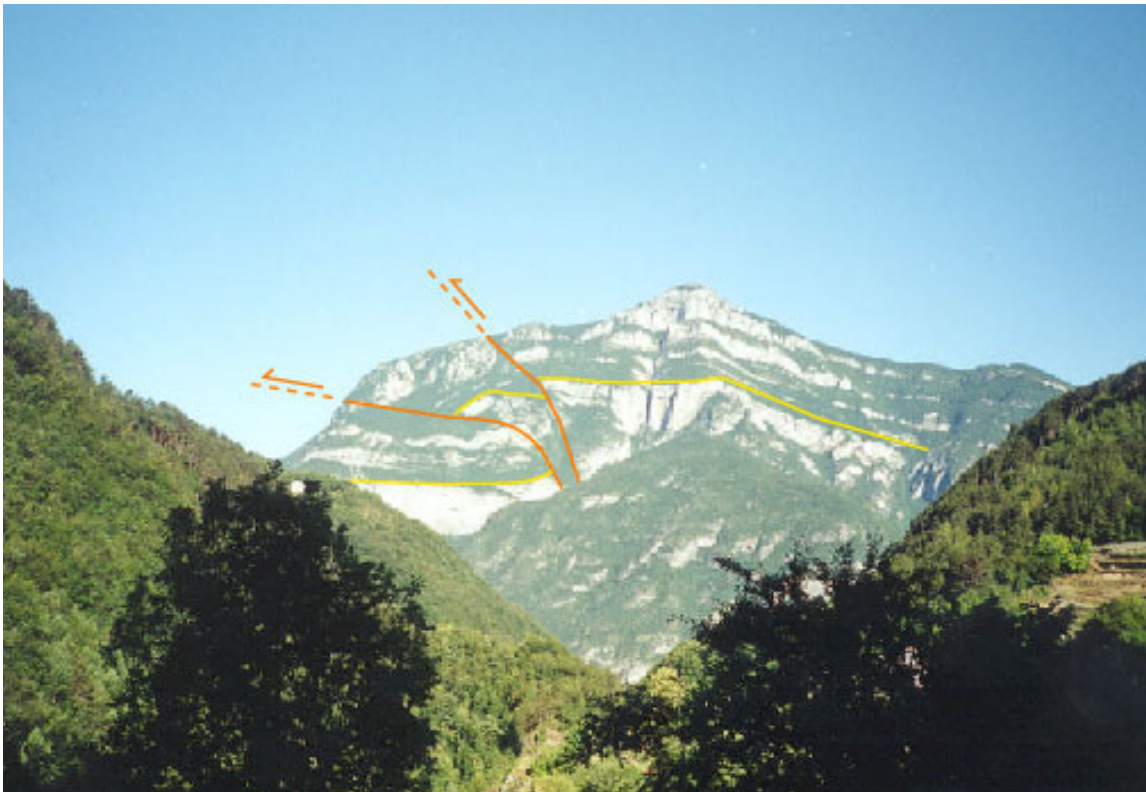


Figuur 9.5 Naamgeving dip slip breuken: hanging wall omhoog: op- of overschuiving (reverse fault); hanging wall omlaag: afschuiving (normal fault)

- afschuiving Hanging wall naar beneden (Eng: normal fault)
- opschuiving Hanging wall omhoog, breukvlak steiler dan 40°. (Eng: reverse fault)
- overschuiving Hanging wall omhoog, breukvlak minder steil dan 40°. (Eng: thrust fault)

In de praktijk zijn zowel op- als afschuivingen vrij steil (45-75°), terwijl overschuivingen doorgaans vrijwel horizontaal tot licht hellend zijn.

Het goed om je te realiseren dat bij een afschuiving het pakket gesteente langer wordt, terwijl het bij een op/overschuiving korter wordt (zie ook fig.9.6). Op deze manier verwachten we afschuivingen in een extensief tektonisch milieu en op/overschuivingen in een compressief tektonisch milieu.



Figuur 9.6 Op- en overschuivingen in kalkstenen in het dal van de Adige, Trentino, Italië

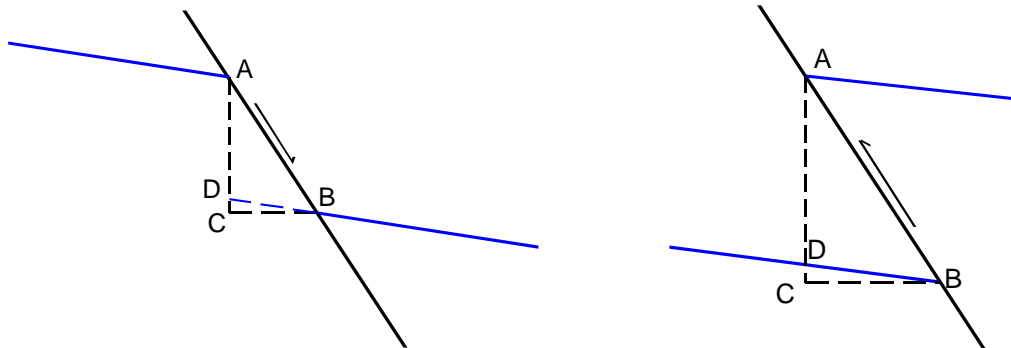
9.3 Beweging langs het breukvlak.

Het is natuurlijk zeer belangrijk om de hoeveelheid beweging die heeft plaatsgevonden langs een breuk goed te beschrijven. Een profiel van een breuk (fig.9.7) laat de terminologie zien die wordt gebruikt om deze beweging te beschrijven. Het profiel is loodrecht op de strekking van de breuk getekend.

Tijdens dit practicum zal er alleen gewerkt worden met de verticale afstand (Vertical Separation of VS) van een breuk. Deze VS (niet verwarren met de verticale dikte van een laag) geeft de verticale afstand tussen twee ten opzichte van elkaar verschoven delen van een laagvlak aan. Let erop dat het twee dezelfde delen van hetzelfde laagvlak zijn (dus niet b.v. de bovenkant van een laag met de onderkant vergelijken!).

Dit begrip heeft een grote waarde aangezien de grootte van de VS niet verandert met de richting van het profiel. Het is een constante waarde die aanwezig is in ieder profiel, ook in een verticale put of diamond drill boorgat. De andere waarden zoals de verticale stap en de gaping veranderen als een profiel met een andere oriëntatie wordt gekozen.

De waarde van de VS is op te meten in het profiel, maar is bovendien vrij eenvoudig te bepalen uit de structuurkaart van een breuk.



AB: Schijnbare verplaatsing

AC: Verticale stap of spronghoogte

AD: Verticale afstand

BC: W are gaping (afschuiving)

W are verdubbeling (opschuiving)

(dip separation)

(throw / vertical throw)

(vertical separation, VS)

(heave)

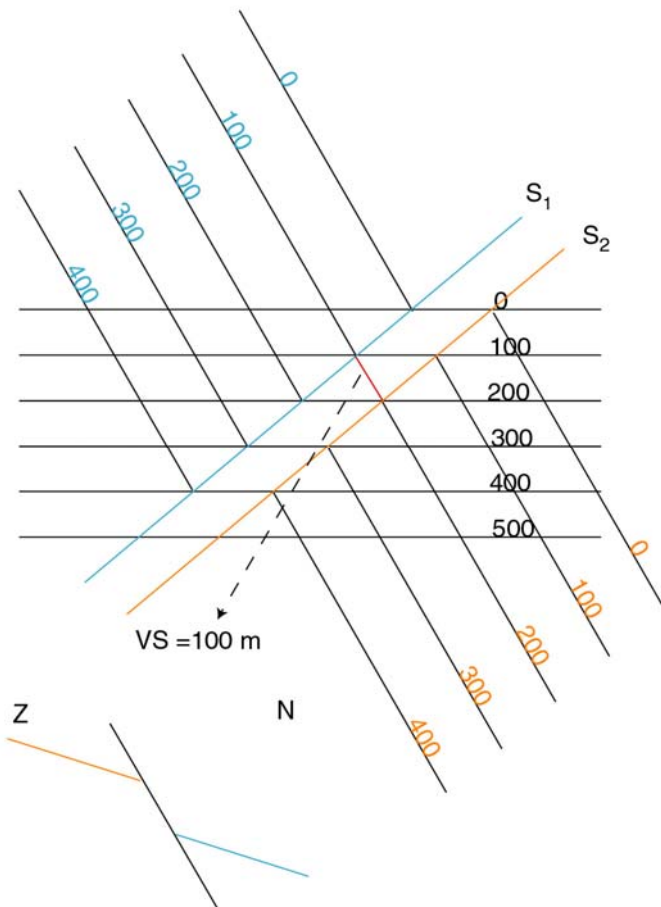
9.7 De naamgeving van de hoeveelheid verplaatsing langs een breuk.

Het beeld van de structuurkaart wordt uitgelegd aan de hand van een laagvlak dat naar het SW helt en dat wordt verzet door een breuk die naar het S helt (fig.9.8).

We zien de EW lopende structuurlijnen van de breuk, evenals de structuurlijnen van het laagvlak die NW-SE lopen. Het laagvlak ligt in het noorden hoger dan in het zuiden.

Het breukvlak helt naar het zuiden, wat betekent dat het zuidelijk blok de hanging wall vormt (ga dit voor jezelf na). Aangezien het S-blok (de hanging wall) lager ligt dan het N-blok, is deze breuk dus een afschuiving (zie §9.2).

De structuurlijnen van het laagvlak ten noorden van de breuk lopen dood op de structuurlijnen van het vlak met dezelfde waarden. Door deze snijpunten is een lijn te trekken, S_1 . Dit is de snijlijn van het breukvlak met het laagvlak in de foot wall. Ook voor de hanging wall is zo'n snijlijn te tekenen en dit levert de snijlijn S_2 . Het snijden van één laagvlak met een breuk levert dus twee snijlijnen op. Zoals valt af te leiden uit de structuurkaart is tussen de beide snijlijnen het laagvlak niet aanwezig, het is als geheel dus langer geworden.



Figuur 9.8 Structuurkaart van een afschuiving. En de bepaling van de verticale afstand. Structuurlijnen van de breuk zijn aangegeven met zwarte cijfers. Een laag wordt verzet (zie ook profiel onderaan tekening), dit levert twee snijlijnen op, S_1 en S_2 . Zie verder tekst voor uitleg.

laagvlak aan weerszijden van de breuk met elkaar te vergelijken. Dit vergelijken gebeurt in elkaars verlengde.

In de praktijk komt het erop neer dat structuurlijnen worden "doorgetrokken" naar de andere kant van de breuk en daar worden vergeleken met de structuurlijnen van het andere blok die op dezelfde plaats lopen.

In figuur 9.6 is de VS, als naar de -200 lijn van het hoge blok (footwall) en de -100 lijn van het lage blok (hanging wall) wordt gekeken: $-200 - (-100) = 100$ m.

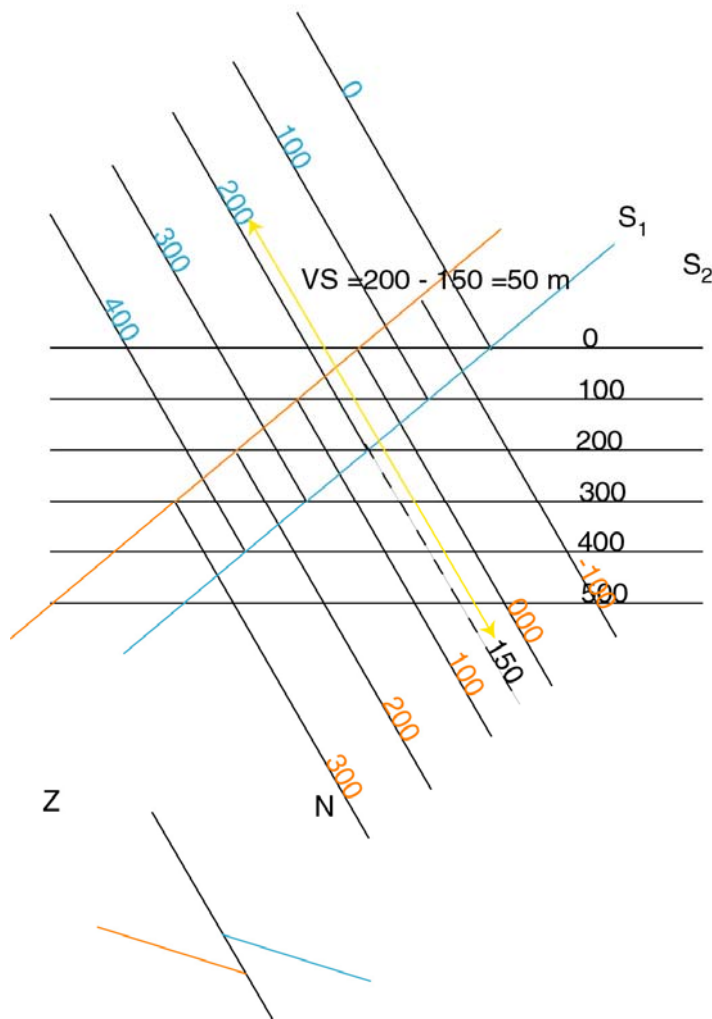
Wanneer de structuurlijnen van het hoge en het lage blok niet precies samenvallen, moet er geïnterpoleerd worden, m.a.w. er moet geschat worden welke structuurlijn (met een minder ronde waarde er in het verlengde zou lopen).

De verticale afstand (VS) van deze breuk is nu te bepalen door de structuurlijnen van het

9.5 Structuurkaart van een opschuiving.

Een opschuiving levert op het eerste gezicht een veel ingewikkelder structuurbeeld op (fig.9.9). De constructiemethode is echter precies hetzelfde als bij een afschuiving.

We zien weer EW lopende structuurlijnen van een S hellend breukvlak. Ook nu weer loopt het SW hellende laagvlak dood op het breukvlak en ook hier levert dat twee snijlijnen, S_1 en S_2 . In het gebied tussen de snijlijnen echter lopen de structuurlijnen boven elkaar. In tegenstelling tot bij een afschuiving, waar het laagvlak tussen de snijlijnen niet aanwezig was, wordt het laagvlak hier dus twee keer aangetroffen.

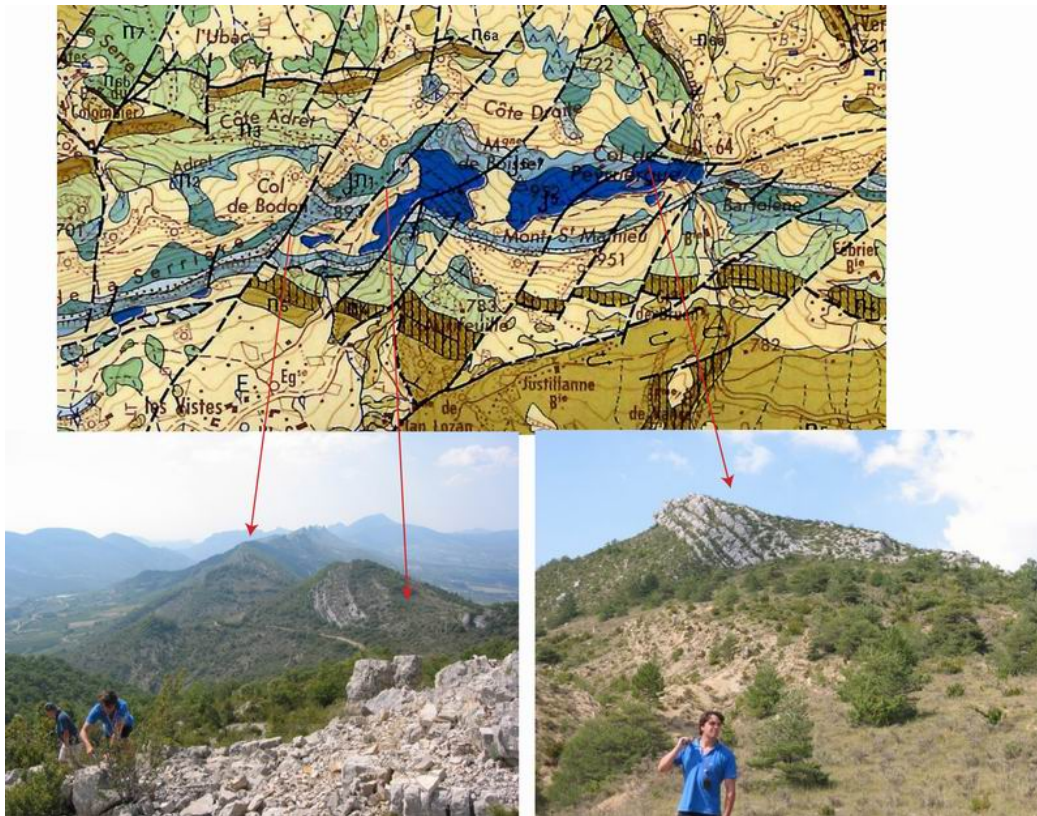


Ook het bepalen van de VS gaat volgens hetzelfde principe: Een structuurlijn van het ene blok vergelijken met een structuurlijn van het andere blok die op dezelfde plaats ligt. Hoeveel bedraagt de VS hier?

Figuur 9.9 Structuurkaart van een opschuiving. Merk op dat in het gebied tussen de snijlijnen de laag nu 2x boven elkaar voor komt

9.6 Herkenning breuk op geologische kaart.

Op een geologische kaart is een breuk te herkennen als een doorgaans vrij rechte lijn (de meeste breuken zijn tamelijk steil, alleen overschuivingen hebben vaak een zeer kleine helling, en kunnen dus een zeer grillig verloop hebben op de kaart), waar dagzomen op doodlopen of door verzet worden. Bovendien kunnen aan weerszijden van een breuk gesteenten van een verschillende ouderdom ontsloten zijn. (Fig.9.10)

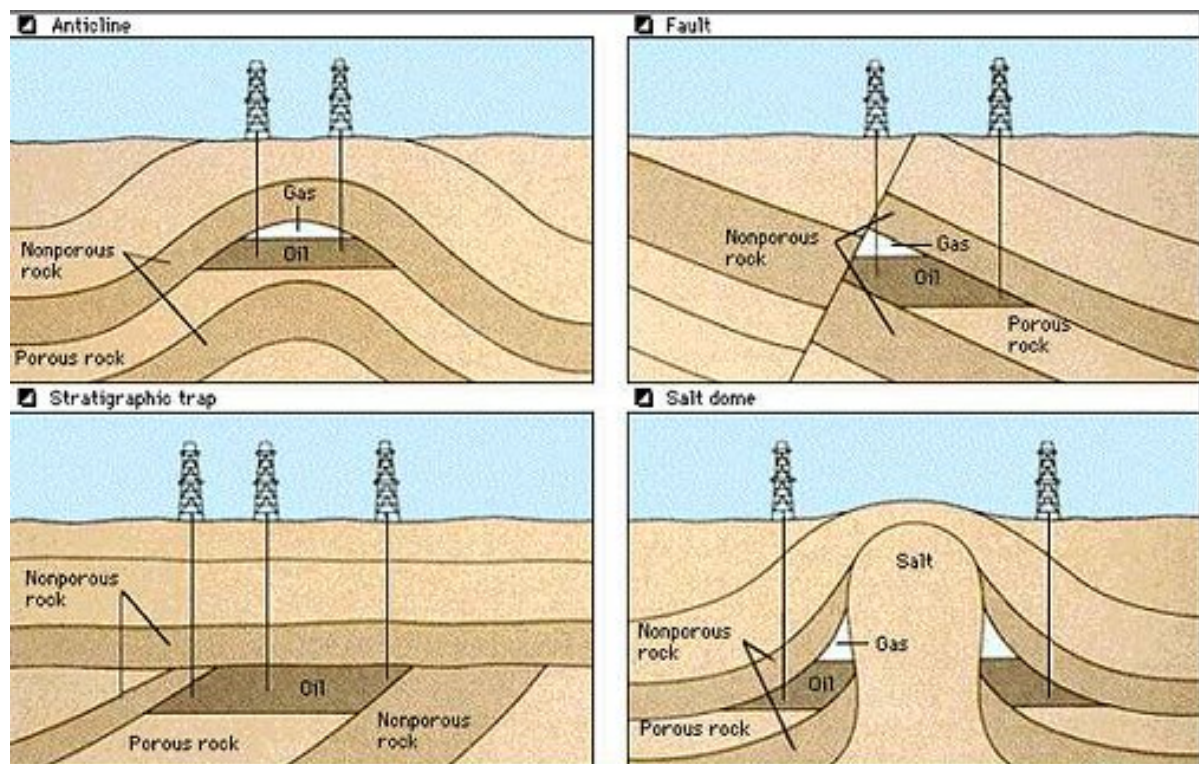


Figuur 9.10 Een deel van de geologische kaart van Nyons (uitgave BRGM) met daaronder de situatie in het veld. We zien een groot aantal breuken de dagzomen van de verschillende gesteenten verzetten. In het veld zien we een aantal harde ruggen van kalksteen steeds ophouden en elders weer verder gaan. Deze komen overeen met de lichtblauwe kleur op de kaart, het Tithonique (boven Jura).

Tot slot nog een opmerking over de relatieve ouderdom van breuken. Breuken zijn per definitie jonger dan de gesteenten waar zij doorheen gaan. Wanneer twee breuken elkaar snijden is de breuk die verzet wordt in principe de oudste, tenzij er sprake is van twee breuken die tegelijk ontstonden, waarbij er dan doorgaans sprake is van een hoofdbreuk met een (kleinere) zijbreuk.

10 OLIE / GAS RESERVOIRS

Olie en gas, twee belangrijke fossiele brandstoffen, worden in de ondergrond aangetroffen in reservoirs. Deze reservoirs bestaan uit een poreus gesteente, waarbij de olie of het gas in de pore-ruimte tussen de korrels zit. Dit gesteente wordt het reservoirgesteente genoemd. Aangezien olie en gas lichter in gewicht zijn dan het water dat normaal in deze pore-ruimte zit, zullen beiden proberen om naar boven te migreren. Wil de olie of het gas bewaard blijven in de ondergrond, om daar later door o.a. mijnbouwers ontdekt te kunnen worden, dan zal het vastgehouden moeten worden door de structuur van het gesteente. Deze zogenaamde "traps" kunnen een veelheid aan vormen en ontstaanswijzen hebben (fig.10.1).

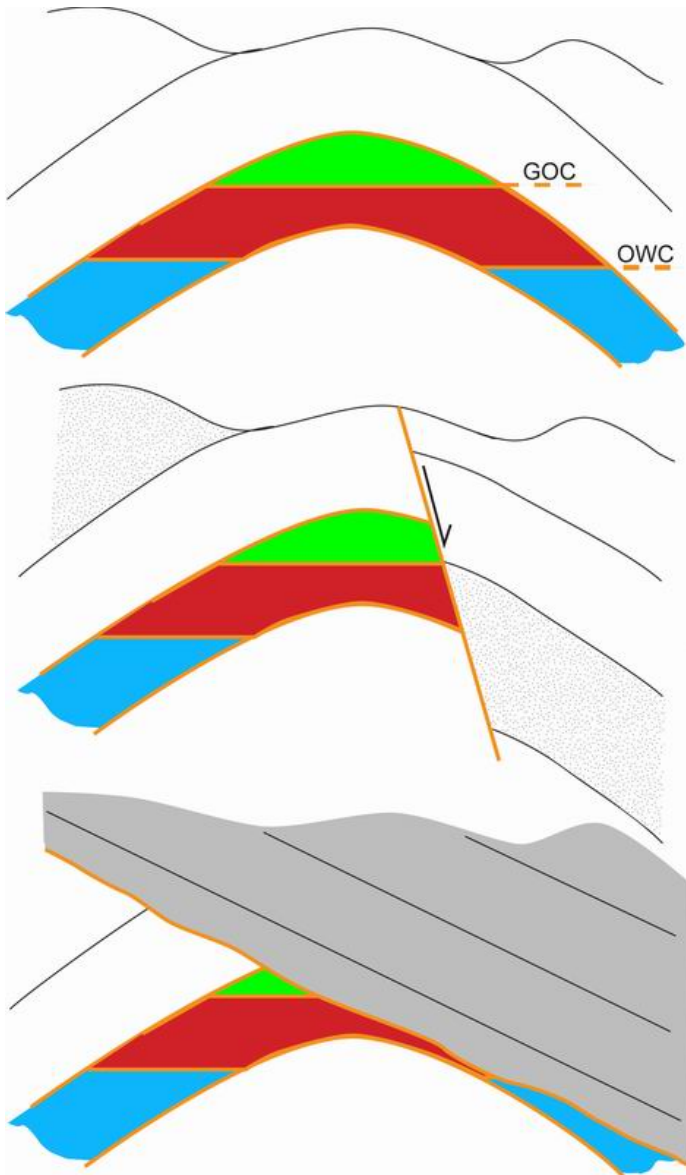


Figuur 10 Verschillende soorten van 'traps': anticlines, breuken, stratigrafisch, en rond zoutkoepels.

Om olie- of gasreservoirs goed te kunnen beschrijven, moet er nader gekeken worden waardoor een reservoir begrensd kan worden. Dit blijkt beperkt te blijven tot 6 verschillende soorten afsluitende vlakken (fig.10.2):

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1) OWC Olie-Water-Contact | 4) Onderkant reservoir gesteente |
| 2) GOC Gas-Olie-Contact | 5) Discordantievlak |
| 3) Bovenkant reservoirgesteente | 6) Breuk |

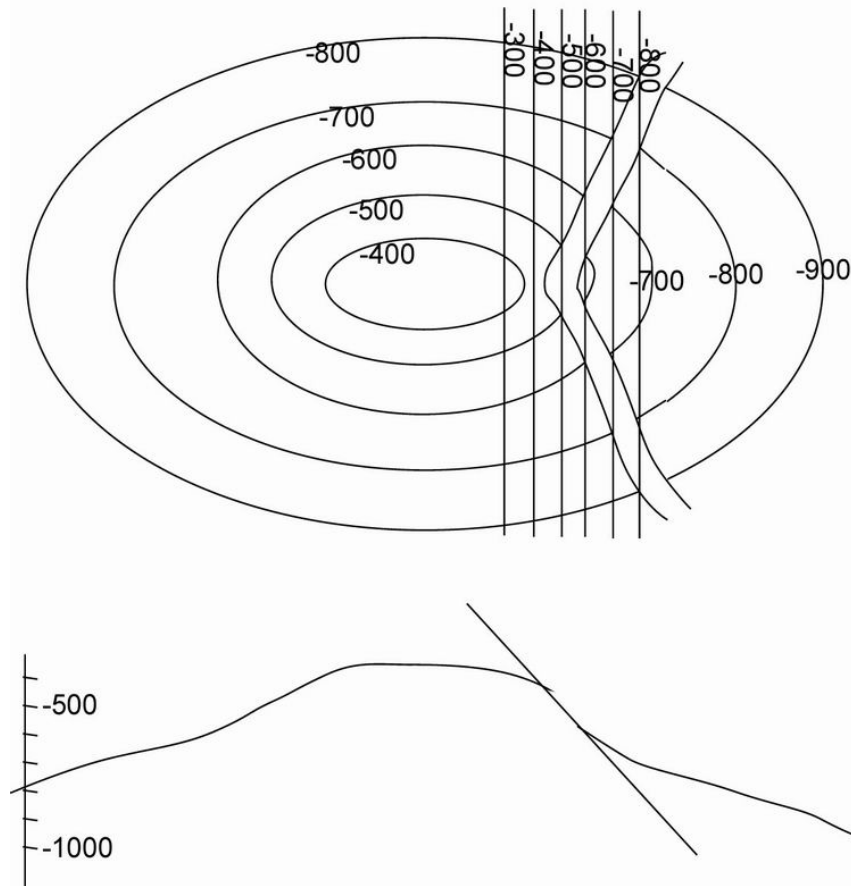
Tijdens dit practicum zullen we aannemen dat zowel het OWC als het GOC discrete, horizontale vlakken zijn.



Figuur 10.2. De verschillende grensvlakken van een koolwaterstofreservoir.

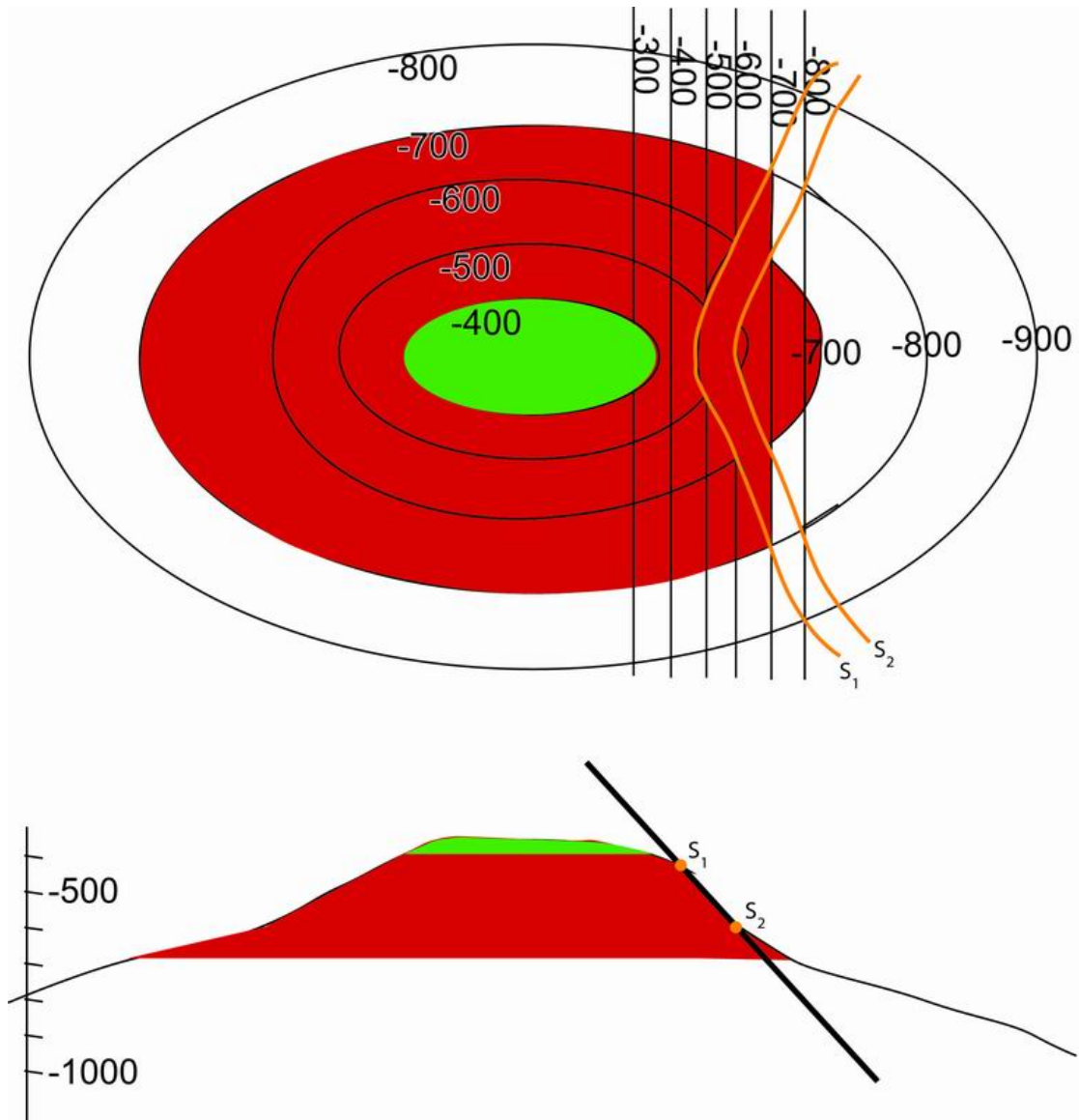
Een gebied waar olie en/of gas voorkomt is nu af te bakenen door te kijken waar het reservoirgesteente begrensd wordt door elk van de bovenstaande vlakken, voor zover aanwezig. Dit kan met behulp van de structuurlijnen van die vlakken.

Een voorbeeld laat de methode zien. In figuur 10.3 zien we de structuurkaart van een 'dome', een dubbele anticline, die gedeeltelijk wordt verzet door een afschuiving. Onder de structuurkaart is een doorsnede door de dome te zien.



Figuur 10.3 Structuurkaart en profiel door een koepel ('dome') in de ondergrond.

Indien we er van uitgaan dat de gesteentelaag waarop de structuurkaart van fig.10.3 betrekking heeft, de bovenkant betreft van een zeer dik pakket zandsteen met zeer goede reservoir eigenschappen, dan is deze structuur natuurlijk bij uitstek geschikt als reservoir. Gaan we er vervolgens van uit dat er zich inderdaad koolwaterstoffen in dit reservoir hebben verzameld, met een GOC op -400 meter en een OWC op -700 meter, dan krijgen we de situatie van figuur 10.4.



Figuur 10.4 De koepel van figuur 10.3, maar nu gevuld met olie en gas (OWC - 700, GOC -400)

Het probleem is nu om de gegevens over het GOC en OWC ook weer te geven in de structuurkaart, zodat we niet alleen weten op welke dieptes ze zich bevinden, maar dat we ook weten waar ze zich bevinden in het kaartbeeld, zodat er op de juiste plaats bv. Productieputten geboord kunnen worden.

Kijken we als eerste naar het GOC, dat op een diepte van -400 m zit, dan zien we dat dat dood loopt tegen de bovenkant van het reservoir, en wel juist op die plaats waar de bovenkant van het reservoir zich óók op -400 m bevindt. In het gebied buiten de dome vinden we geen gas, dus kennelijk vormt de plaats waar de bovenkant van het reservoir op -400 m komt de grens van het gasvoorkomen. Dit gegeven komt precies overeen met de structuurlijn van -400 m van de bovenkant van het reservoirgesteente. We kunnen dus het

GOC in de kaart aangeven als de structuurlijn van -400 meter (figuur 10.4). Het OWC ligt op -700 m, en daar waar er een -700 structuurlijn van de top van het reservoirgesteente aanwezig is, zal deze ook dienen als OWC in het kaartbeeld. Bij de breuk hebben we echter een klein probleem: de breuk is een afschuiving, en daardoor missen de structuurlijnen van de top-reservoir in het gebied tussen de snijlijnen S_1 en S_2 . In het profiel is duidelijk te zien dat in dit gebied de breuk dient als grensvlak van het reservoir, en dus zal de structuurlijn van de breuk van -700m dienen als OWC in het gebied tussen de snijlijnen (zie fig. 10.4).

Op deze wijze kunnen structuurkaarten van alle reservoirs getekend worden, van simpel tot zeer complex.

11 GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS

Een vaak verwaarloosd, maar wel zeer belangrijk aspect van een juiste interpretatie van geologische kaarten, is het opstellen van de geologische geschiedenis van het gebied van de kaart. Dit houdt in dat alle geologische fenomenen en processen die hebben geleid tot het ontstaan van het betreffende gebied, in de juiste volgorde van oud naar jong worden opgeschreven.

Op deze volgorde zijn een paar basisregels van toepassing:

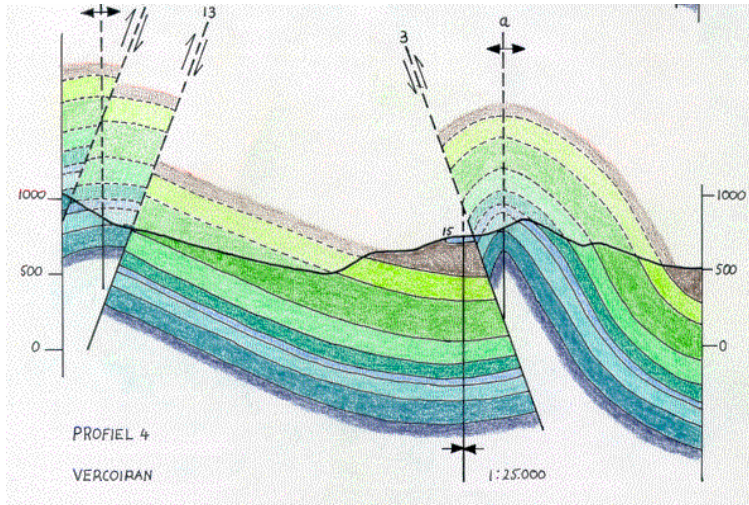
1. Superpositie : Dit wil zeggen dat bij sedimenten, jongere lagen altijd op oudere lagen worden afgezet en dat dientengevolge de oudste zich altijd onderaan de sequentie bevinden. In de stratigrafische kolom, die doorgaans bij geologische kaarten zit, staan de verschillende gesteenten in de juiste volgorde vermeld.
2. Fauna opeenvolging : Met behulp van de fossielen van dieren die zich in de tijd ontwikkelen is de opeenvolging en dus de relatieve ouderdom van de gesteenten te bepalen.
3. Doorsnijding : Een structuur die gesteentelagen doorsnijdt, bv. een breuk of een gang, maar indirect ook een plooï, is altijd jonger dan de gesteenten die hij doorsnijdt.
4. Inclusie : Indien in een stollingsgesteente inclusies of fragmenten van een ander (neven-)gesteente worden aangetroffen, betekent dit dat het stollingsgesteente jonger is dan de inclusies.

Met behulp van deze basisregels, en met behulp van ruimtelijk inzicht in de aanwezige structuren, verkregen met behulp van structuurkaarten en geologische profielen, is de geologische geschiedenis te beschrijven.

Een aantal belangrijke fenomenen waar bij dit beschrijven op gelet dient te worden zijn:

- daling van een gebied, meestal gekoppeld met
- afzetting van sedimentgesteenten;
- opheffing van een gebied, meestal samengaand met
- erosie, indien het gebied boven water komt;
- hiaten, periodes waarin geen afzetting heeft plaatsgevonden;
- plooïing van het gesteente door compressie;
- breukvorming, in het geval van extensie: afschuivingen;
compressie : op- en overschuivingen;
- in- of extrusie van stollingsgesteenten;
- metamorfose, bv. bij een intrusief lichaam;

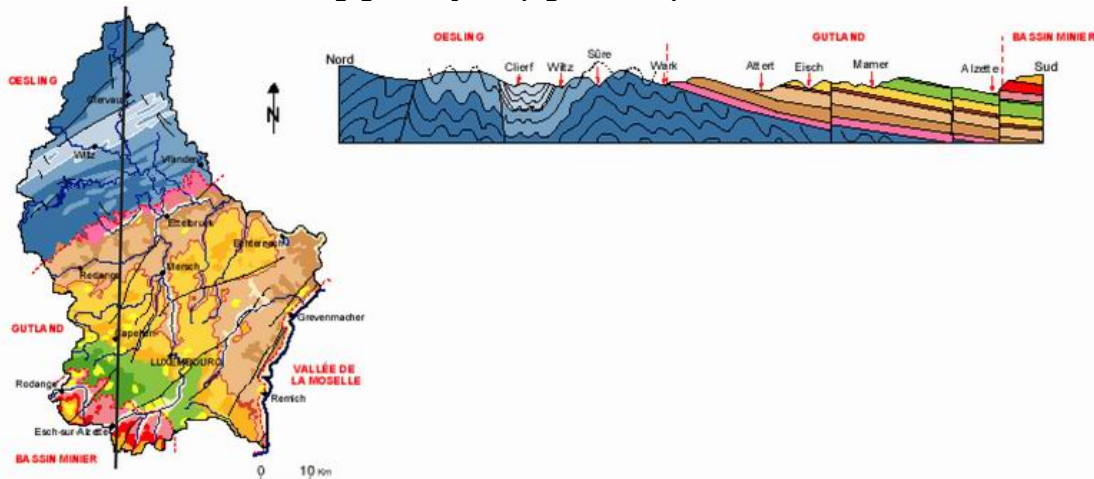
Al deze fenomenen kunnen hebben bijgedragen aan de vorming van het gebied zoals het nu te zien is. Bovendien kunnen bepaalde gebeurtenissen een aantal maal hebben plaatsgevonden (breuken kunnen bv. verschillende malen actief zijn geweest, of een gebied kan twee keer zijn geplooid enz.). Het is dus van belang om slechts die gebeurtenissen die in het betreffende gebied actief zijn geweest in de juiste volgorde, dus van oud naar jong op te schrijven.



Figuur 11.1 Profiel uit de veldwerkgebieden in Frankrijk. De geologische geschiedenis van dit profiel is als volgt:

- afzetting gesteentelagen
- plooiing
- breuken in plooibuigingen
- tegelijkertijd opheffing en erosie tot huidig niveau

In figuur 11.1 zien we een aantal geplooid en gebroken lagen waarvan de geologische geschiedenis relatief simpel is. Het wordt al ingewikkelder indien we naar de geologische geschiedenis van Luxemburg gaan kijken (figuur 11.2).



Figuur 11.2 Geologische kaart en N-Z profiel van Luxemburg

We zien hier een geplooid en gebroken basement, dat discordant bedekt wordt door een scheefstaande cover, waar ook breuken doorheen lopen. Op basis van deze kaart en dit profiel kunnen we tot de volgende geologische geschiedenis komen:

- daling en afzettingen van sedimenten (onderste lagen);
- plooiing (en evt breuken);

- opheffing en erosie;
- daling en hernieuwde afzetting van sedimenten
- scheefstelling van alle lagen, breukvorming
- opheffing en erosie tot huidige topografie.

Het erosievlak tussen de onderste en bovenste gesteente lagen wordt ook wel een discordantievlak genoemd. Hiervan bestaan een aantal verschillende soorten:

- discordantie (disconformity)
- parallelle discordantie (parallel unconformity)
- discordantie op kristallijn (nonconformity)
- hoekdiscordantie (angular unconformity)

Een discordantie is een vlak waarbij er twee lagen op elkaar liggen die qua tijdopvolging niet op elkaar horen te liggen, er mist een stuk van de geschiedenis.

Bij een parallelle discordantie liggen de lagen boven en onder het discordantievlak evenwijdig aan elkaar. Er heeft dan een periode geen afzetting plaatsgevonden, of de tussenliggende gesteenten zijn in de tussentijd geërodeerd.

Bij een discordantie op kristallijn zijn de onderste lagen stollings- of metamorfe gesteenten, die na erosie aan de oppervlakte zijn gekomen en waar vervolgens afzettingsgesteente op is afgezet (fig.11.3).

Bij een hoekdiscordantie zijn de onderliggende lagen geplooid alvorens geërodeerd te worden, waardoor er een hoekverschil is ontstaan tussen onder- en bovenliggende lagen (zie bv fig 11.2 en 11.4).



Figuur 11.3
Discordantie
op kristallijn:
horizontale
sedimenten,
afgezet op
graniet, Kaap
de Goede
Hoop, Zuid
Afrika



Figuur 11.4 Hoekdiscordantie: Horizontale zandsteen uit het Perm op steil staande schalies uit het Devoon, Thuringia, Duitsland.



Figuur 11.5 De hoekdiscordantie bij Siccar Point, UK, door James Hutton als eerste als zodanig herkend in 1788. Hij zag hierin het bewijs voor zijn theorie over de geologische evolutie.