

Geologi i Nordspanien



- tubiditter så det basker

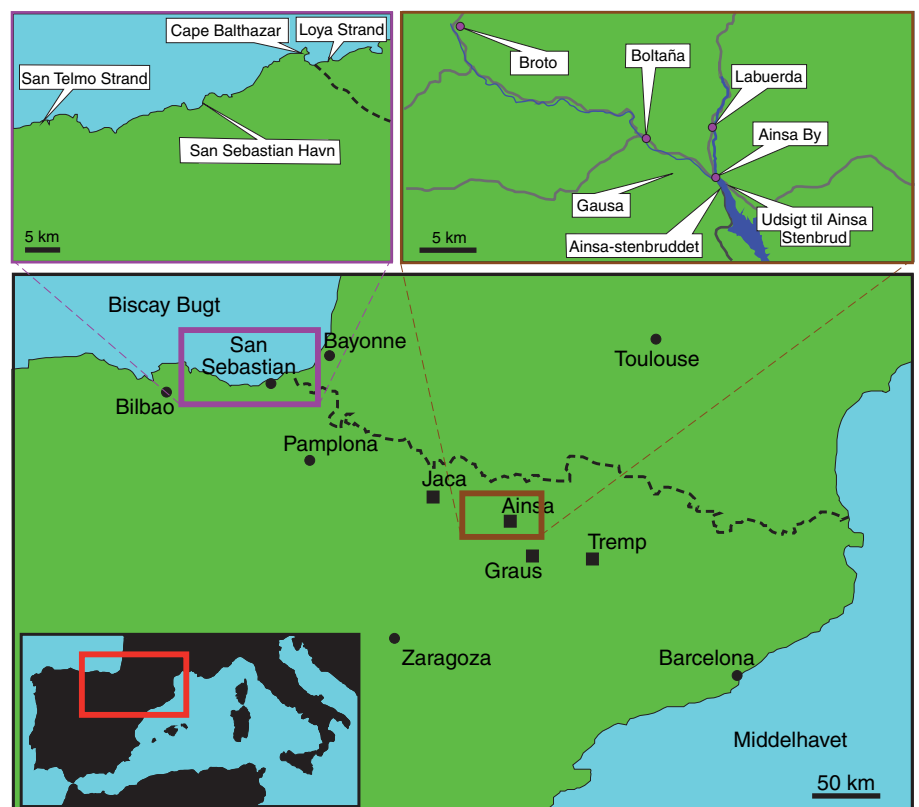
Panoramaudsigt ved Gausa. Fra dette udsigtspunkt kan hele Ainsa-området overskues. I baggrunden ses de sneklædte Pyrenæer. (Foto: Forfatteren)

Af geolog Johan Byskov Svendsen, Siri Fairway Asset, Noreco

Området mellem Barcelona og Pamplona i det nordlige Spanien byder på et sandt overflødheds-horn af spektakulær geologi. Hvad enten man ønsker at studere den generelle sedimentologi, feltanaloger til producerende felter i den danske Nordsø, den strukturelle udvikling af Pyrenæerne – eller blot vil nyde den fantastiske natur – så er området klart anbefalelsesværdigt.

Denne artikel prøver at løfte bare en lille flig af, hvad dette skatkammer gemmer på – vamos a geología.

Oversigtskort over Nordspanien. De geologiske lokaliteter, der er beskrevet i artiklen, kan findes på de forskellige kort. (Grafik: Forfatteren)



Formål

Pyrenæerne er et af de bedste steder at studere turbiditaflejringer, hvad enten det drejer sig om klassiske Bouma Sekvenser (boksen om turbiditter nedenfor) eller komplicerede turbiditfane-komplekser (figuren øverst på side 13). Denne artikel beskriver

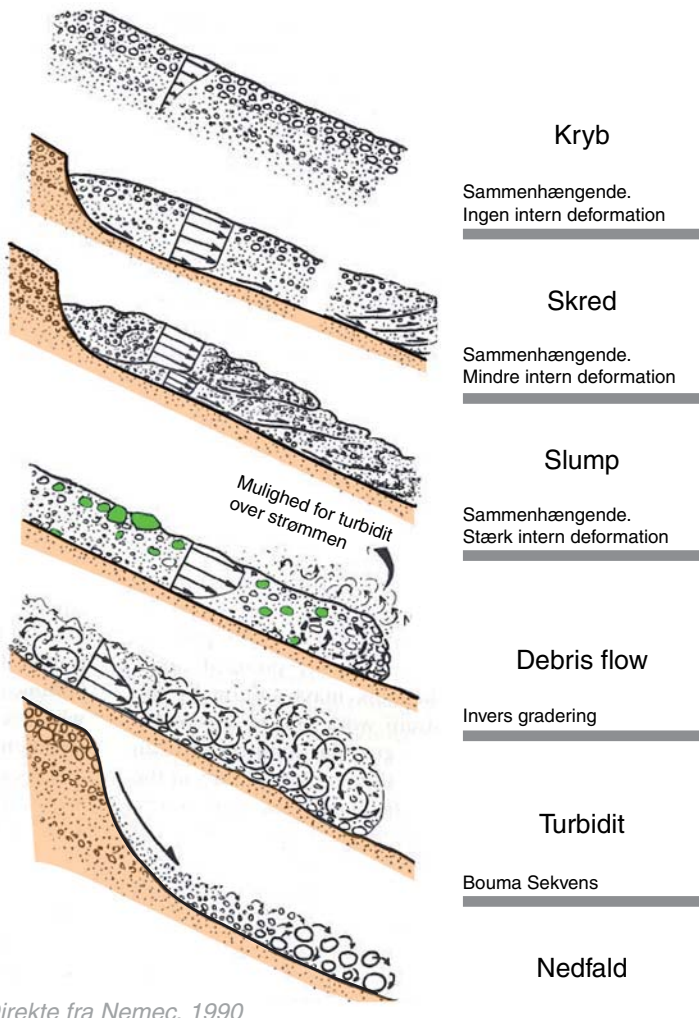
forskellige aflejringer i det nordøstlige Spanien samt prøver at sætte disse i et dynamisk palæogeografisk perspektiv og endelig sammenligne dem med de producerende felter i Siri Strøget (Se boksen nederst på næste side). Idéen præsenteret her er alene forfatterens.

Pyrenæerne

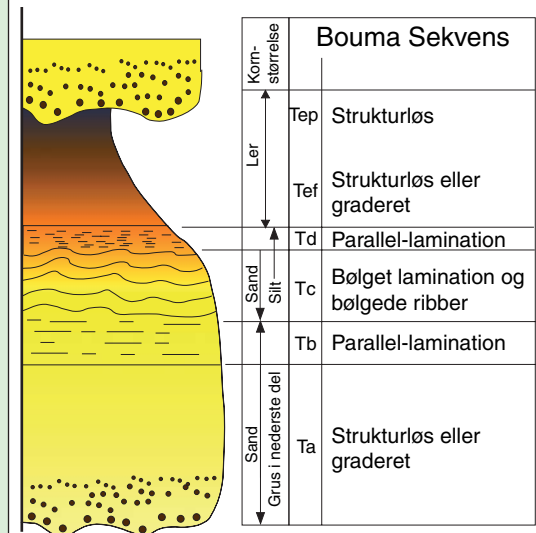
Dannelsen af Pyrenæerne hører ikke til blandt de lettest forståelige, og involverer strike-slip-forkastninger, subduktion, thrustring og det, der er værre. Dannelsen af Pyrenæerne begyndte i Kridt (Albian-Aptian altså cirka 130 mio. år siden), primært

Turbiditter

Tyngdekraftkontrolleret sedimenttransport



Klassisk turbidit-inddeling

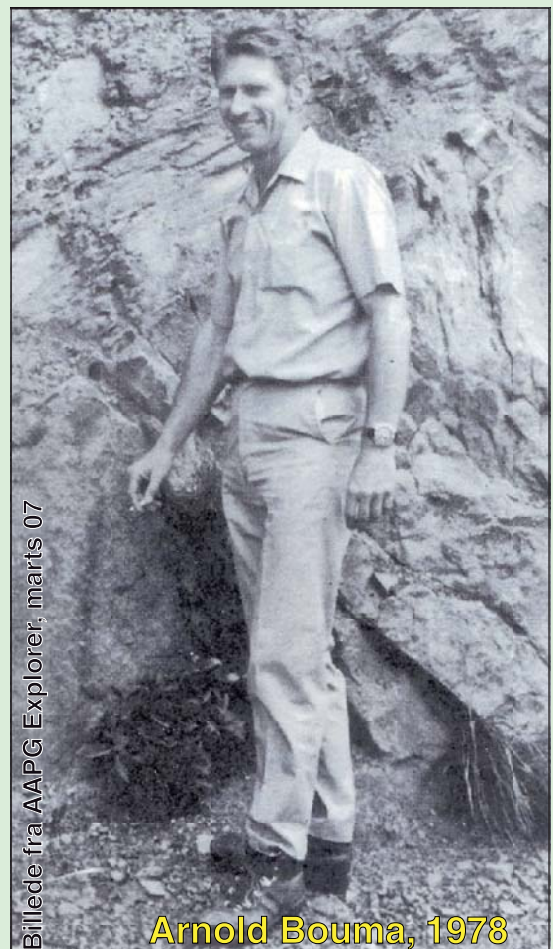


Et udtryk, der hænger ved

Turbiditter er et af de få sedimentologiske udtryk, der hænger fast hos de fleste, der har lært eller læst om geologi. Dette skyldes primært tre ting:

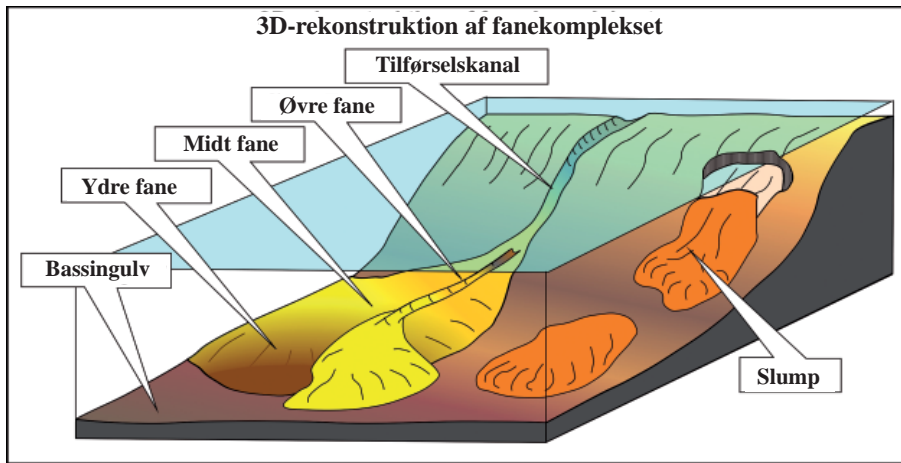
- 1) Deres kaotiske skabelse ved jordskælv og delta-kollaps
- 2) Deres forudsigelige opbygning og udvikling når de først er sat i gang
- 3) Deres spektakulære udseende i felten

Og så udgør turbiditter en af de mest betydningsfulde olie-reservoirtyper i verden. Men vigtigst af alt er det nok, at inddelingen af en turbidit har et fængende navn – Bouma Sekvensen.



Billede fra AAPG Explorer, marts 07

Arnold Bouma, 1978

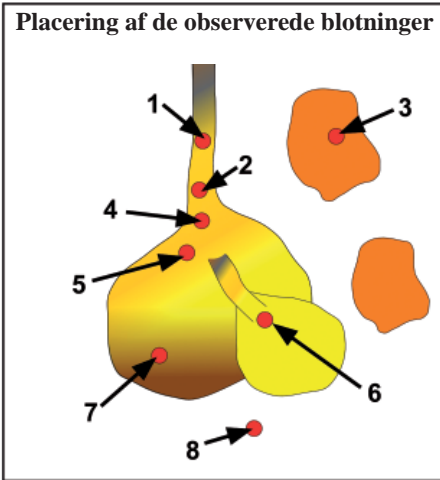
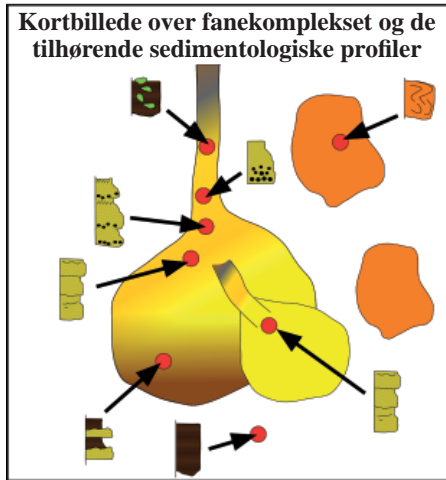


med strike-slip-bevægelse. I Palæogenet blev de styrende kræfter mere kompressive, med opløftede bjergrygge, der hurtigt blev eroderet ned og aflejret i små bassiner inde i bjergkæden (se boksen på side 21). I Neogenet blev bevægelserne rent kompressive, og de aflejrte sedimenter blev foldet i en række synklinaler og antyklinaler.

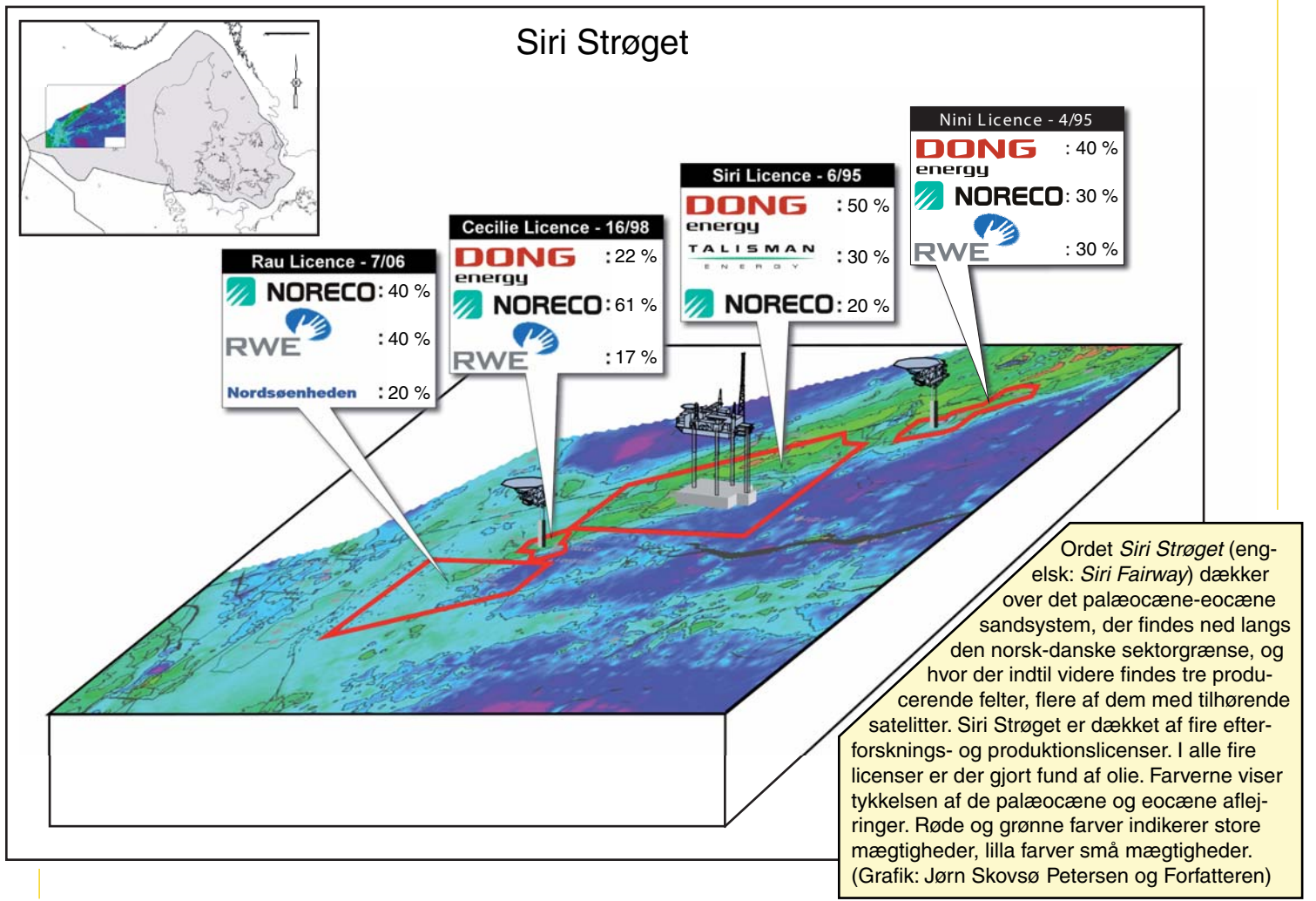
Geologiske Data

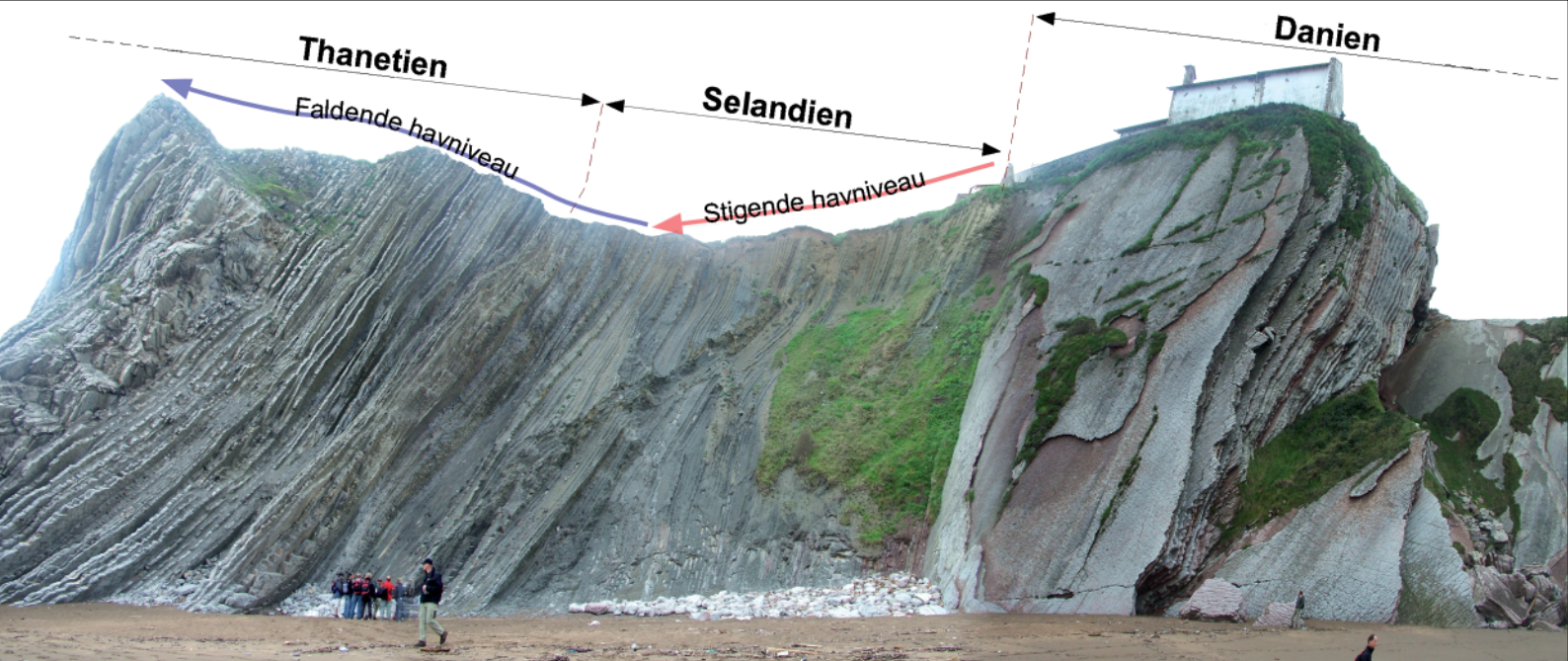
I olieeftersforskning og -produktion findes der typisk to former for geologiske data:

- Seismiske data, der gør det muligt at forstå den rummelige fordeling af bjergarter i undergrunden. Seismiske data findes i enten



Konceptuel figur over submarine fanekomplekser. Dels i 3D, i kortbillede, dels med anvisning af hvor de forskellige lokaliteter i artiklen passer ind i den overordnede setting: 1) Nedre del af Ainsa Stenbrud (figuren øverst på side 18 C & D); 2) Ainsa Stenbrud; 3) Loya-strand-konglomerater (figur øverst til højre side 17); 4) Ainsa Stenbrud (figuren øverst på side 18 A & B); 5) San Sebastian Havn (figuren øverst side 19); 6) Cape Balthazar; 7) San Telmo-stranden i Ypresien (figur nederst på side 19); 8) San Telmo-stranden i Selandien-Thonetien (figur nederst på side 14). (Grafik: Forfatteren)





Overgangen fra de kalkholdige sedimenter i Danien, til de siliciklastiske sedimenter fra Thanetien-Ypresien. Dette skift falder sammen med en voldsom havniveauanstigning (cirka 70 meter), hvor enorme blotlagte kyst- og shelfområder med evaporitdannelse, blev oversvømmet. (Foto: Forfatteren)

2D eller 3D, men er blot afledte data, som derfor ikke giver direkte oplysning om de faktiske bjergarter i undergrunden.

- Boringer, der giver enten afledte (logs) eller direkte (kerner) oplysninger om undergrunden, men kun i 1D

I kerner kan detaljer ned til millimeter-skala erkendes, men da kernerne sjældent er mere end 10 cm brede, har de reelt ingen udstrækning. I seismiske data kan man se former ned til 3-5 meter, men ikke med sikkerhed sige, hvilken geologi der er tale om, idet de seismiske data reelt kun afspejler variation i massefylde og hastighed. I forsøget på at benytte de direkte data fra 1D-brønde til at fordele egenskaber og geologi i tre dimensioner, som set på seismik, er forståelsen af de geologiske/sedimentologiske processer af afgørende betydning. Og det er her, at feltgeologi bliver en vigtig brik – for i blotninger kan de sedimentologiske enheder (facies) og deres indbyrdes relationer undersøges i mindst 2D.

Ved undersøgelse af flere blotninger kan den overordnede 3D-sedimentfordeling belyses, hvilket giver en enestående mulighed for at koble kerne-observationer med de seismiske observationer. Dette er af største vigtighed for både olieeftersforskning og olieproduktion. Fire af de undersøgte blotninger i Nordspanien (kortet på side 11) kan bruges som gode analoger til de producerende felter i Siri Strøget (boksen på foregående side).

1. San Telmo-stranden

Regional Geologi

Selv det ikke-geologiske øje må bukke sig for den enestående geologi ved Playa de San Telmo (San Telmo-stranden). Den fantastiske kystblotning består af næsten vertikale sedimenter fra Øvre Kridt til Eocæn (figuren til højre). Lagene ved hele den nordøstspan-

ske kyst er en serie af antiklinaler og synklinaler, hvilket er et resultat af den kompressive tektonisme i Neogenet, der dannede Pyrenæerne.

Sedimentologi

Sedimenterne er overordnet finkornede ler- og kalksten, der repræsenterer aflejring i et dybt bassin uden megen sediment-input fra floder og kystzoner. Sedimenterne fra Maastrictien og Danien udgøres af kalksten, mens sedimenterne fra Selandien til Ypre-

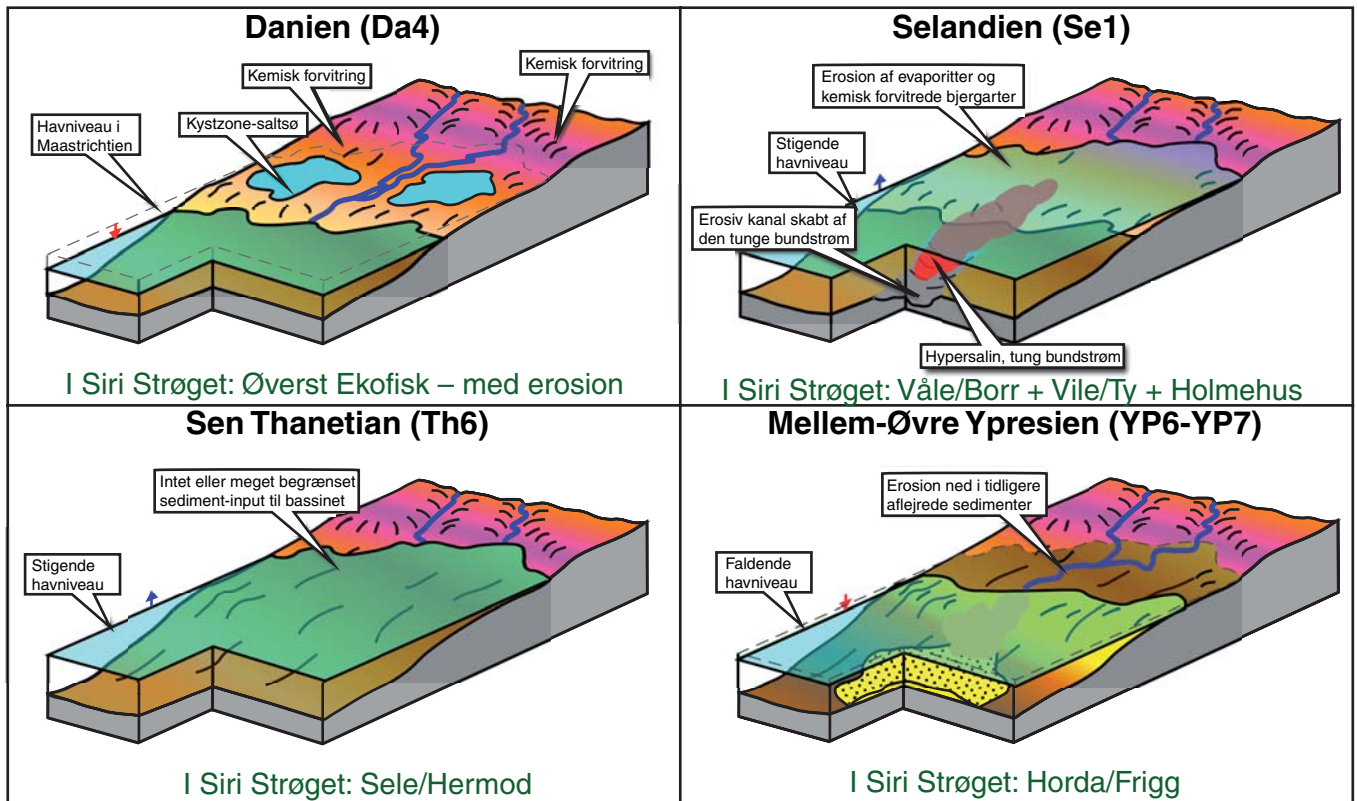
sien overordnet er lersten med indslag af kalksten og tynde sandsten (foto ovenfor).

Aflejringsmodel

En nærmere besigtigelse af sedimenterne gør det muligt at genkende adskillige havniveau-svingninger i de spektakulære sedimenter og dermed at genskabe bassinet, som det så ud gennem perioden fra Øvre Kridt til Eocæn (figur på næste side). Sedimenterne gør det muligt at inddele kystsektionen i 2., 3. og 4. ordens sekvenser.



Oversigt over de nedre kanozoiske sedimenter fra Danien til Ypresien. De røde sedimenter i forgrunden udgør den allerøverste del af kalkstenspakken fra Danien. I baggrunden ses de siliciklastiske sedimenter. Den tydelige forskel i nedbrydningsgrad skyldes mængden af sandstensindslag. Jo mere lerholdigt sedimentet er, des mindre modstandsdygtig. De overordnede havniveau-svingninger kan således aflæses i formen på kystblotningen, idet de lerede intervaller repræsenterer perioder med høj vandstand og minimalt sediment-input til bassinet, se også figuren øverst på siden. (Foto: Forfatteren)



Blokdiagram der viser udviklingen fra Danien til Ypresien på San Telmo-stranden. På hvert blokdiagram er vist den tilsvarende periode i Siri Strøget. (Grafik: Forfatteren)

Sammenligning med Siri Strøget

Sammenligner man den sedimentologiske udvikling med den, man ser i Siri Strøget, er der en overvældende lighed både mellem de faktiske sedimenttyper og de observerede havniveau-svingninger. Hele kystsektionen giver således en enestående mulighed for at se en analog til hele lerstenssektionen i Siri Strøget. De havniveau-svingninger, der kan observeres begge steder, giver endvidere mulighed for at forklare dannelsen af Siri Strøget. For eksempel har det markante havniveau-fald i øvre Danien (Da4) i Nordspagnien blotlagt store kystsletter, i hvilke der er dannet salt (evaporitter). Ved havniveau-stigningen i nedre Selandien (Se1) er disse evaporitter blevet oversvømmet, hvilket har skabt kystzoner med hypersalint vand. Når dette tunge vand er strømmet ud i bassinet, har det eroderet i den bløde havbund. Den samme mekanisme kan tænkes at have dannet den erosion i kalken, som definerer Siri Strøget. Mange af reservoirerne i Siri Strøget findes i nedskårne kanaler, disse kan være dannet af tilsvarende tunge bundstrømme (figuren til højre)

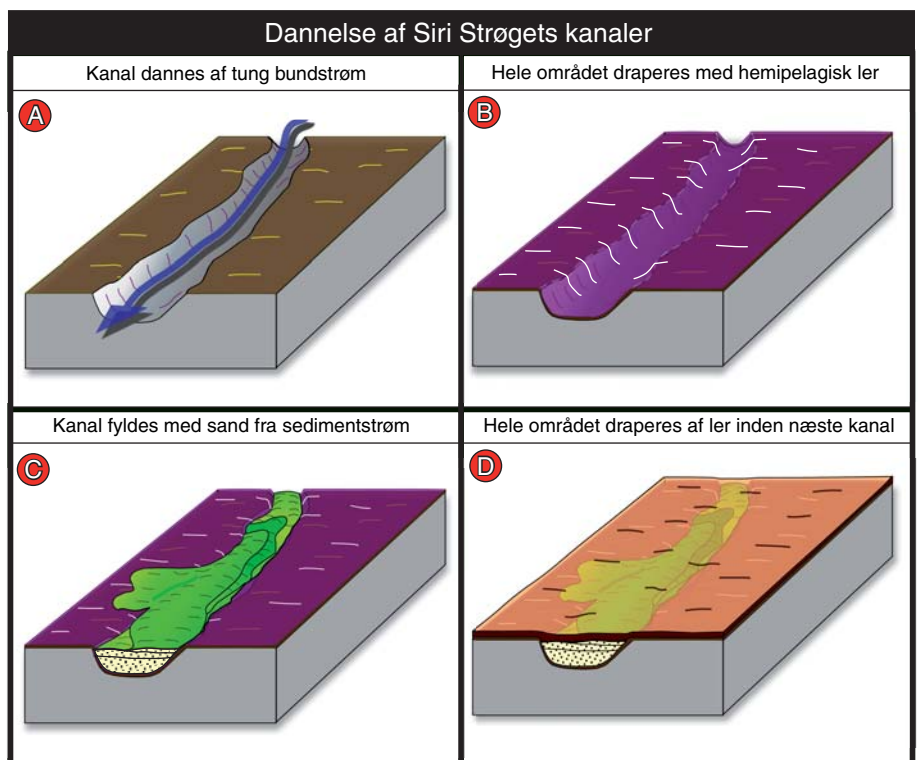
2. Loya Beach

Regional Geologi

Den overordnede sedimentologi ved Loya-stranden er laminerede finkornede lersten med enkelte bænke af kalksten (figuren øverst på side 16). Disse sedimenter er aflejret på dybt vand (flere hundrede meters dybde), hvilket blandt andet kan ses ud fra sporfossiler (zoophycos, figuren nederst

til venstre side 16), og der er ingen tegn på sediment-input fra kysterne. Mellemleret i disse finkornede sedimenter findes et fuldstændigt andet sediment. Ekstremt grovkornede konglomerater med klaster på flere

meters størrelse (figuren øverst og nederst til højre på side 16). Mens de finkornede sedimenter er aflejret fra suspension i et aflangt bassin, hvor sedimenterne er kommet fra enderne, er de grovkornede konglo-



Sammenligning mellem stratigrafi, sedimentologi og havniveau-svingninger for området ved San Telmo-stranden og i Siri Strøget. Trods det faktum, at der var mere end 1.000 kilometer mellem de to områder, er der en forbløffende lighed mellem udviklingerne. Den blå pil på illustration (A) repræsenterer den tunge, hypersaline bundstrøm. (Grafik: Forfatteren)



Stemmingsbillede fra Loya-stranden i det allersydligste Frankrig. Hele strandsektionen udgøres af spektakulære stejltstillede sedimentter fra Øvre Kridt. Mellemlajret i de finkornede skifre ses tykke konglomerater (markeret med gult) med store blokke (hvid markering). Disse klaster kan i enkelte tilfælde veje op mod 50 tons. (Foto: Forfatteren)

merater kommet ind i bassinet ved kollaps og skred på flankerne af bassinet (figuren øverst på side 17).

Sedimentologi

De finkornede sedimentter har ikke mange interessante sedimentologiske karakteristika og "udmærker sig" mest ved deres monotone natur. Det modsatte kan siges om konglomeraterne, idet disse består af en umådeligt dårligt sorteret blanding af ler, sand, grus, sten og blokke – de største på størrelse med biler. Stenene og blokkene er skarpkantede og har en meget forskelligartet sammensætning (figuren øverst til højre på næste side). Stedvis kan en delvis lamination erkendes i konglomeraterne, og denne består af 5-40 cm enheder af opadvendte enheder (figuren midtfor til højre på side 17).

Aflejringsmodel

Den opadvendte natur (invers grade-ring) af konglomeraterne vidner om, at den sedimentære strøm, der har aflejret dem, har været domineret af laminar strømning i modsætning til en turbulent strøm (se boksen side 12). Disse laminære strømme skabes, når skred og kollaps sender store mængder usorteret sediment ud i bassinet. Selvom det er de skarpkantede blokke, der gør sedimentet seværdigt, er det faktisk leret i den oprindelige sedimentstrøm, der giver strømmen dens laminære/plastiske egenskaber, hvilket gør, at blokke på flere tons kan flyde i og på strømmen. (Se skitsen af debris flow i boksen side 12)

Sammenligning med Siri Strøget

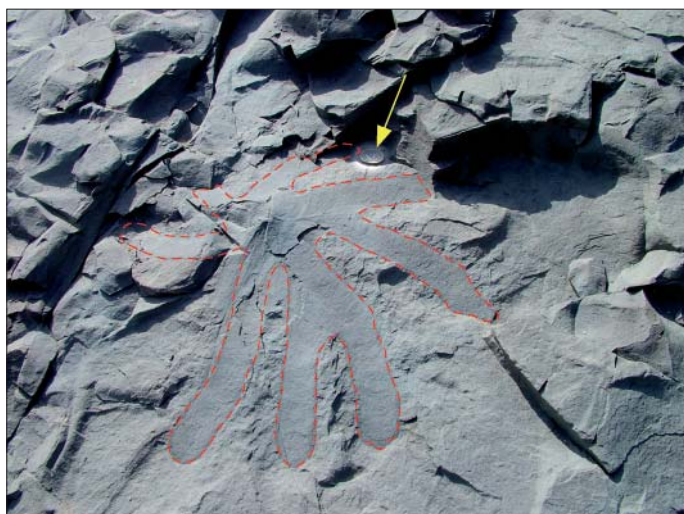
Sedimentterne ved Loya-stranden stammer

alle fra Øvre Kridt, og der er derfor ingen direkte aldersmæssig korrelation med Siri Strøget. Men sedimentterne ved Loya-stranden har en slående sedimentologisk lighed med Siri Strøget. Det ses ved, at der – mellemlajret i de finkornede lersten – ligger et sediment, der kommer fra et helt andet sted, har et helt andet udseende og en hel anden aflejringshistorie. I Siri Strøget findes der – mellemlajret i den ellers monotone lerstenspakke – stedvist grønt glauconitholdigt sand, som kan spores tilbage til Stavanger Platformen i Sydnorge, og flere steder i dette sand ses også invers grade-ring.

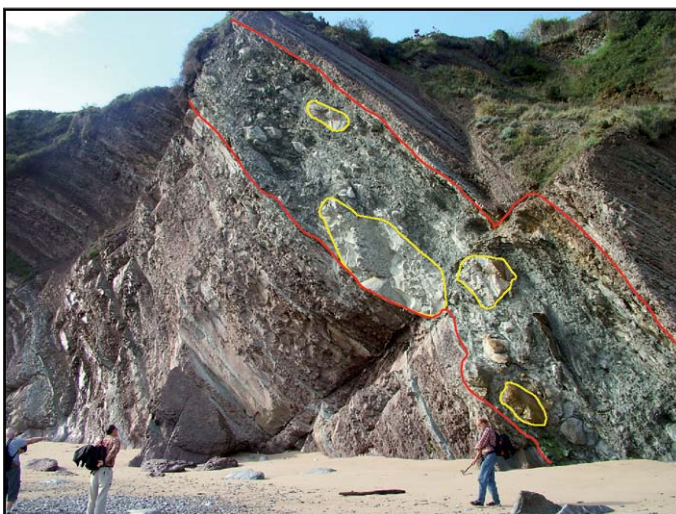
3. Ainsa-området

Regional Geologi

Det nu opløftede Tremp-Graus-Ainsa-Jaca

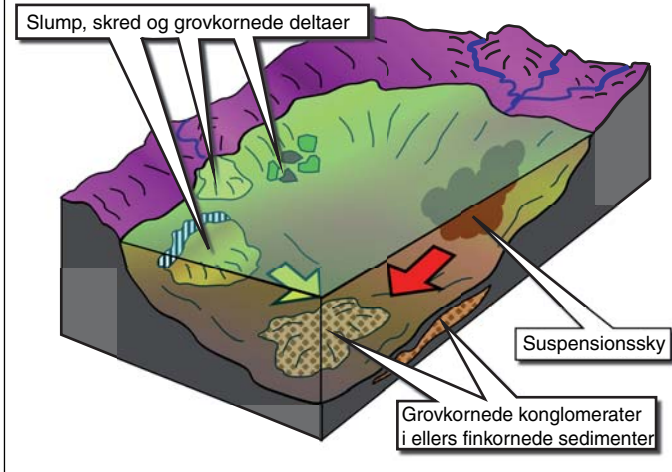


Fantastisk velbevaret sporfossil efter Zoophychos. Dyret har gravet rundt i det lerede sediment for at finde føde. Når en "gren" var spist op, fortsatte dyret videre til en ny gren. Mønten som skala (gul pil) er en 1-Euro. (Foto: Forfatteren)



Eksempel på de meget store klaster (markeret med gult), der findes spredt rundt i konglomeraterne. (Foto: Forfatteren)

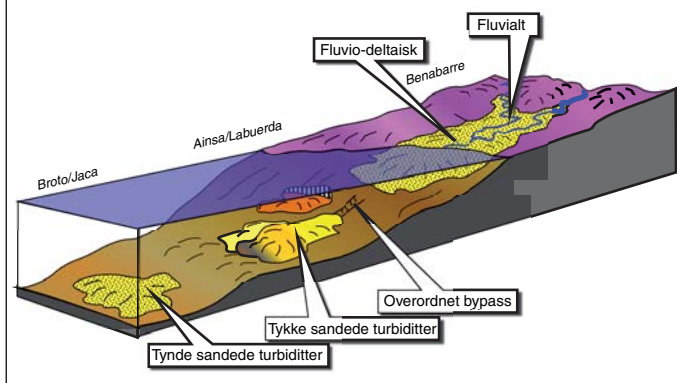
Palæogeografien i Øvre Kridt fra Loya-strandområdet



Eksempel på den svagt udviklede opadgrovende udvikling, som skyldes den ekstreme sedimentmængde i den oprindelige strøm. Hånden til venstre som skala. (Foto: Forfatteren)

Skematisk gengivelse af palæogeografien i Øvre Kridt fra Loya-strandområdet. De to forskellige kilder medfører, at to meget uensartede sedimenter kan findes ved siden af hinanden, uden at de på nogen måde har noget med hinanden at gøre. (Grafik: Forfatteren)

Ainsa og tilstødende områders udseende i Eocæn?

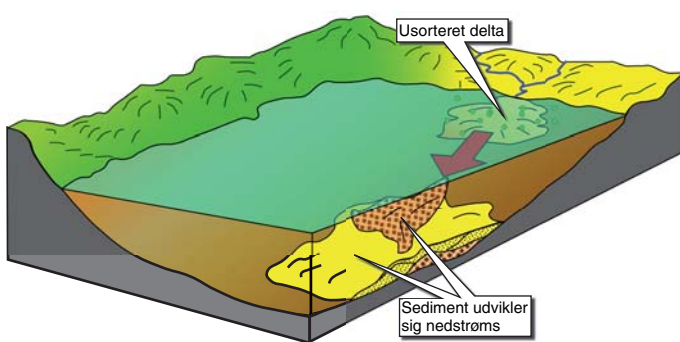


Skematisk bud på hvordan der så ud i Ainsa og tilstødende områder i Eocæn. De nu opløftede sedimenter og den gode blotningsgrad gør det muligt at besigtige hele udviklingen fra de fluviale og deltaiske sedimenter i Benabarre over sub-marine faner i Ainsa og Labuërda til finkornede klassiske turbiditter i Broto og Jaca. (Grafik: Forfatteren)

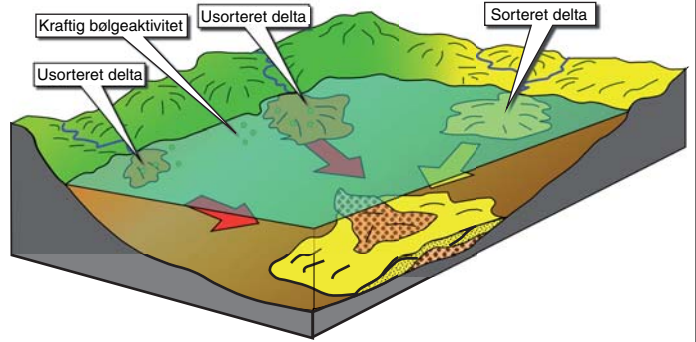


Nærbillede af et af konglomeratlagene. Ikke alene er sedimentet utroligt dårligt sorteret, klasterne er også meget forskelligartede og meget skarpkantede. Hammer som skala. (Foto: Forfatteren)

A) Rekonstruktion af observerede sedimenter i Ainsa-stenbruddet



B) Rekonstruktion af observerede sedimenter i Ainsa-stenbruddet



To mulige palæogeografiske rekonstruktioner, der begge kan forklare de observerede sedimenter i Ainsa-stenbruddet. (A) viser hvordan de meget lerede konglomerater nedstrøms udvikles til de rene sandenheder. (B) viser to vidt forskellige kyster, der hver især sender to forskellige sedimenttyper ud i bassinet (sammenligneligt med den miksede setting ved Loya-stranden). (Grafik: Forfatteren)

Eksempler på sedimenterne i Ainsa-stenbruddet. Til venstre ses eksempler på de sandede enheder. Disse udgøres af op til 3 meter tykke sandstensbænke. Selvom den samlede sedimentpakke er meget sandrig, så ses tynde, men lateralt kontinuerte lerlag på toppen af mange af sandstensbænkene. Til højre ses de konglomeratiske enheder, der viser en udpræget todelt kornstørrelse, med ler-silt og en masse brostensstore afrundede sten. Ud fra en visuel betragtning, er det svært at se, hvordan disse konglomerater kan udvikle sig til de rent sandede enheder umiddelbart ovenover. Reservoir-ingeniøren på nedre venstre billede er omtrent 1,88 meter i udstrakt tilstand. (Fotos: Forfatteren)



Bassin Komplex giver en enestående mulighed for at se udviklingen fra alluviale og fluviale aflejringer til proximale og distale turbiditfaner (figuren midtfor til venstre på side 17). I området omkring Ainsa, Labuerda og Boltaña ses en serie af marine turbiditter, der som regel ses som relativt tykke sandenheder (op til 3 meter) og grovkornede, usorterede konglomerater oftest med begrænsede laterale udstrækninger (10-100 m). I området omkring Jaca og Broto domineres sedimenterne af tyndere (2-20

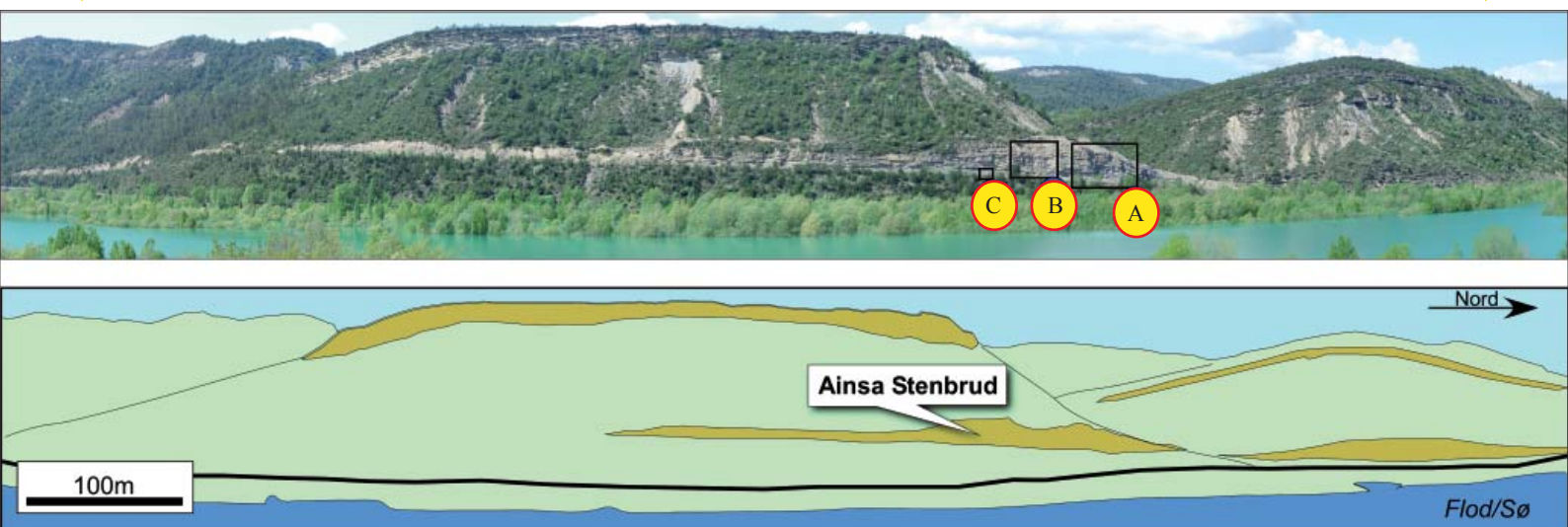
cm) sandede turbiditter med store laterale udstrækninger (200-2.000 m). Området omkring Ainsa har størst lighed med de producerende felter i Siri Strøget, og fokus i denne del af artiklen vil derfor være på disse sediment

Sedimentologien

Baseret på adskillige blotninger i området omkring Ainsa, kan fire overordnede sedimentologiske enheder (facies) defineres:

- 1) Grovkornede matrix-understøttede

konglomerater med en udtalt todelt (bimodal) kornstørrelsesfordeling. Den finkornede matrix består af ler og silt med en smule sand, mens klusterne består af op til 20 cm store afrundede sten af varierende type (figuren ovenfor C og D). De afrundede sten er ikke sorteret i sedimentet trods deres åbenbare større masse, og det er klart, at den sedimentstrøm, der har aflejret disse sediment, ikke har haft mulighed for at sortere det materiale, den transporterede (debris flow skitseret i den første boks).



Ainsa-stenbruddet set fra den østlige side af floden. På denne afstand kan den overordnede geometri bedre erkendes. Sandpakken har en relativt begrænset udstrækning, og der ses en meget hurtig udtyndning i den nordlige ende af blotningen. På figuren er vist, hvor 3 af de 4 fotos på figuren øverst på denne side er taget. (Foto/Grafik: Forfatteren)

2) Tykke grovkornede sandede enheder med nogen intern sortering (figuren øverst på forrige side A og B). Noget af dette sand er erosivt, mens andet er aflejret uden nogen former for erosion og ses som kontinuerne bænke af sand. Sandet er aflejret af turbulente strømme, hvor en vis sortering finder sted. Disse strømme har løbet langs havbunden, og sandet er aflejret, når strømmen ikke længere har kunnet holde sandet i bevægelse. Stedvis findes der tynde lerlag på et par få centimeters tykkelse mellem sandstensbænkene.

3) Vekslende enheder af ler og fint sand. Leret er typisk lamineret, mens sandet er relativt velsorteret og kan følges over store afstande.

4) Mergel (kalkholdig ler) oftest med lidt eller kun ganske fint sand. Flere steder er disse finkornede sedimenter stærkt slumpepede (kort forklaring).

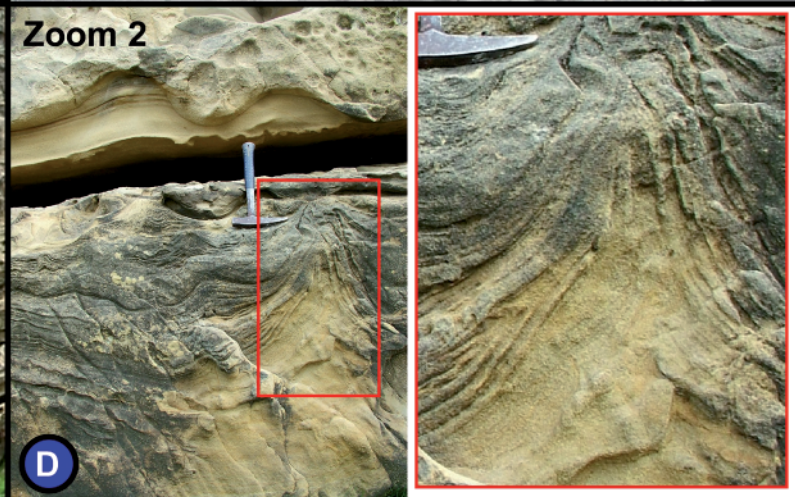
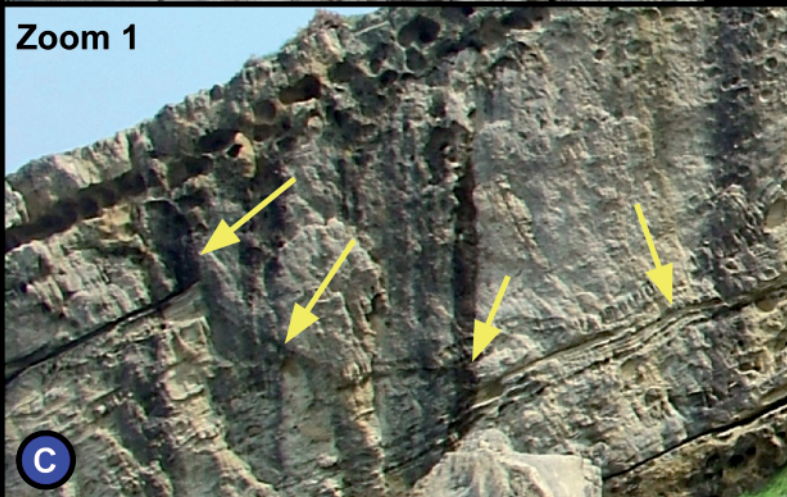
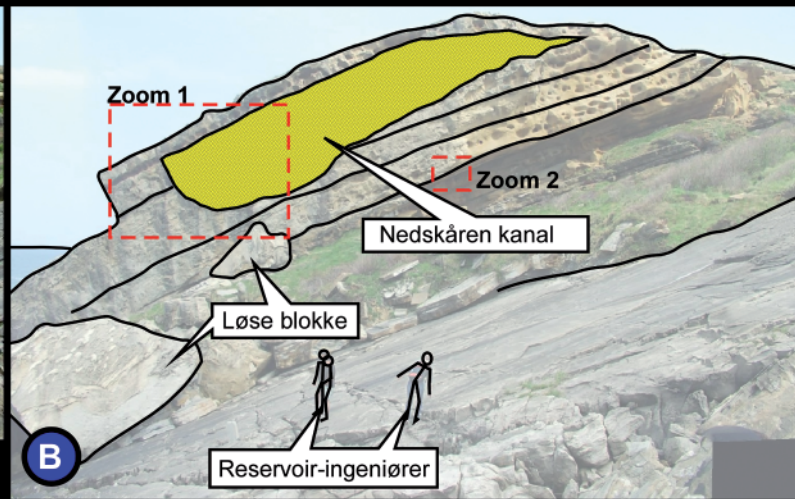
Aflejringsmodel

Figuren nederst på side 17 viser to eksempler på, hvordan Ainsa-området kan have set

Eksempel på de opadgrovende enheder ved San Sebastian Havn. Denne opbygning er typisk for prograde-ring på den øvre del af en submarin fane. (Foto: Forfatteren)



Den alleryderste del af de submarine fanesystemer set i San Sebastian Havn udgøres af tynde turbiditter med klassiske Bouma-sekvenser, som her ses på San Telmo-stranden. (Fotos: Forfatteren)



Op til 25 meter tykke sandenheder ved Cape Balthazar. Mens San Telmo-stranden er distal i forhold til San Sebastian Havn, er sedimenterne som vist her meget mere proksimale. Det er massivt sand med dybe kanalnedskæringer. Reservoir-ingeniører som skala. (Fotos: Forfatteren)

ud, da de forskellige enheder blev aflejret. En af de mere vanskelige ting at forstå er, hvordan de rene sandede enheder og de meget usorterede konglomerater kan findes i samme blotning, til tider næsten mellemliggende hinanden. Enten er de usorterede konglomerater dannet som skred fra et flod-delta (sub-aqueos alluvial fan) (figuren nederst på side 17 A), som så længere ude i bassinet sorteres og bliver til de sandede

enheder. En anden mulighed er, at konglomeraterne og de sandede enheder er aflejret samme sted, men at deres kilder er forskellige, idet konglomerataerne kommer fra et floddelta (sub-aqueos alluvial fan) med stor bølgeenergi, mens det mere rene sand kommer fra en mere "normal" kystzone, hvor materialet er meget mere sandet (figuren nederst på side 17 B).

I Ainsa-stenbruddet ses nok den bedste blotning af disse sedimenter (de to figurer på side 18), hvor de sandede enheder overlapper de usorterede konglomerater (figuren øverst på side 18). De sandede sedimenter i Ainsa-stenbruddet er aflejret på den øvre-midterste del af en submarin fane, mens konglomeraterne kan tænkes at være aflejret i tilførselskanalen (figuren øverst på side 13). Den samlede blotning er 500 meter bred, og der sker en meget hurtig uddynding fra stenbruddets tykkeste sandpakke (cirka 25-30 meter), til sandet ikke er mere end 2-3 meter tykt.

Sammenligning med Siri Strøget

Sedimenterne i Ainsa-stenbruddet minder meget om de paleocæne reservoirer i Siri Strøget, idet sandet i Siri Strøget også viser en hurtig uddynding fra de tykke centrale dele til de tyndere kanter. Reservoirerne i Siri Strøget er cirka dobbelt så tykke og har lidt større udstrækning, men er stadig aflejret i afgrænsede kanaler (se diskussion

ovenfor). Stenbruddet i Ainsa giver fantastiske muligheder for at forstå opbygningen af Siri Strøgets reservoirer og forstå den tre-dimensionelle fordeling af sand i undergrunden.

4. San Sebastian Havn

Regional Geologi

Sedimenterne i San Sebastian Havn er stejltstillede sedimenter af eocæn alder. Lagene er blevet foldet under den neogene kompressive fase af Pyrenæernes dannelse og kan overordnet inddeles i en række opadgrovende enheder (figur øverst på forrige side). Disse sedimenter repræsenterer sedimenter fra den øvre del af den sub-marine fane (figuren øverst på side 13). I området omkring San Sebastian Havn findes flere blotninger af disse sub-marine faner fra Ypresien. Ved San Telmo-stranden udgøres faneaflejringerne af tynde turbiditter (figur nederst på side 19) i den ellers lerede baggrundssedimentation, mens aflejringerne ved Cape Baltazar er massive sandpakker op til 25 meter tykke med kraftige nedskæringer (figuren ovenfor).

Sedimentologi

Selve indsejningen til San Sebastian Havn er dannet af de mest sandede sedimenter af en af de opadgrovende enheder. Sedimenterne går fra at være lerede til enkelte sands-

Også vandværkerne har brug for at lade idéerne gro

Gode idéer der udspringer af erfaring og ekspertise fører frem til frugtbare løsninger. Vand-Schmidt har specialiseret viden inden for:

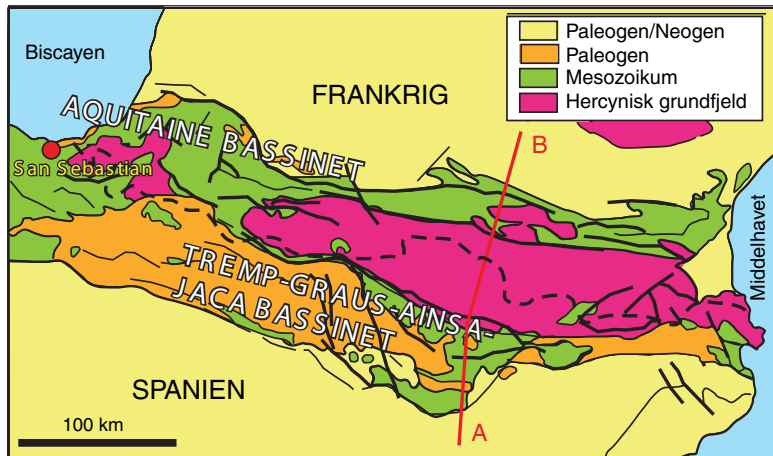
- Vandforsyningsanlæg
- Brøndboring
- Ledningsanlæg
- Projektering/rådgivning
- Service

- ring og få gode råd og uforbindende tilbud

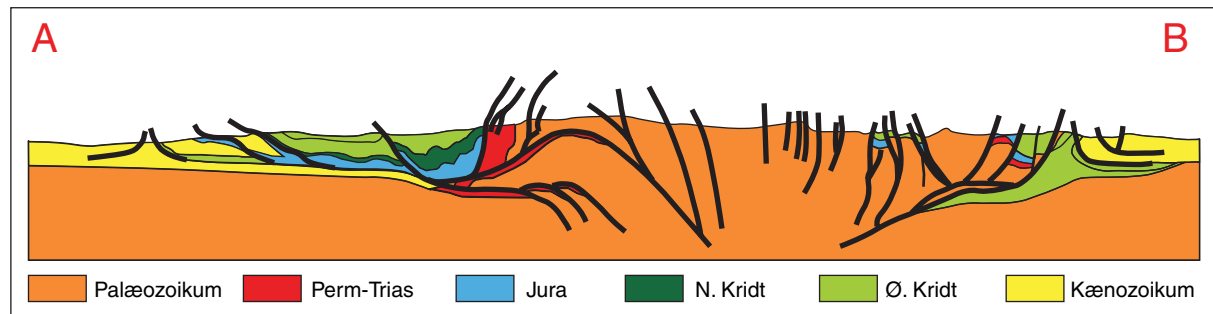


Vand-Schmidt a/s
Jernbanegade 5 • 6070 Christiansfeld
Tlf. 74 56 11 11 • Fax. 74 56 32 69

Pyrenæerne



Ovenfor: Geologisk kort over Pyrenæerne. Nedenfor: Tværsnit som vist ovenfor med A-B-linie. Selv det utrænede øje ser straks, at geologien er meget kompleks. Til højre: Eksempel på de stejltstillede lag, som ses ved den spanske Biscay-kyst. (Foto/grafik: Forfatteren)



Pyrenæerne er en øst-vestgående bjergkæde, der danner den naturlige grænse mellem Frankrig og Spanien. Dannelsen af Pyrenæerne er kompleks, men kan overordnet tilskrives bevægelse og rotation af den Iberiske Plade i forhold til den Eurasiske Plade. I Jura-Nedre Kridt eksisterede der normale marine forhold i området mellem de to plader. Men da de to plader i Aptien-Albien blev presset tættere sammen, blev der dannet et mere smalt forkastningsbetinget bassin, og marginskred blev mere almindelige. I Palæocæn blev de to plader bragt helt sammen, og der dannedes to forlandsbassiner: Temp-Graus-Ainsa-Jaca Bassinet i Spanien og Aquitaine Bassinet i Frankrig. I disse bassiner blev der gennem Palæocænet aflejret store mængtigheder af sedimenter. I Neogenet blev den uundgåelige kollision en konsekvens, og de mesozoiske og tidlige kænozoiske sedimenter blev foldet op i en serie af antiklinaler og synklinaler. Dette betyder, at sedimenterne nu både findes opløftede og stærkt foldede i den centrale del af Pyrenæerne samt stærkt foldede ved Biscayen.



Eksempler på de stejltstillede lag, som ses ved den franske Biscay-kyst. (Fotos: Forfatteren)

stenslag, og ud imod indsejlingen kommer der flere sandlag, og på de sidste 40 meter bliver der mere og mere sand (figur øverst side 19). Sandet er stedvis meget groft og usorteret, hvilket indikerer, at sandet er aflejret hurtigt og i sedimentmættede strømme. Sandet indeholder fragmenter af andre sedimentter (intraformationelle klaster), som viser, at der er sket erosion i tidligere sedimentter. Sedimentterne ved San Telmo-stranden er klassiske Bouma-sekvens-turbiditter (figur nederst på side 19). Ved Cape Balthazar ses en sandpakke med vandundervigelsesstrukturer, over hvilke der ses en imponerende nedskåret kanal (figuren øverst på side 20).

Aflejringsmodel

De sandede enheder i San Sebastian Havn viser en helt klassisk opbygning og vidner om en aflejring på den midterste til øvre del af et prograderende fanesystem (figur øverst på side 13). Aflejringerne ved San Telmo-stranden er aflejret på den alleryderste del af fanesystemet (figur øverst på side 13). Det massive sand med vandundvigelses og store nedskæringer er typisk for aflejring på den

øvre del af fanerne (figur øverst på side 13).

Sammenligning med Siri Strøget

I Siri Strøget ses der en bemærkelsesværdig ændring fra de paleocæne aflejringer, hvor sandet er meget begrænset i udstrækning (aflejret i kanaler) til det eocæne sand, hvor der er tale om mere klassiske bassingulvsaflejringer (basin floor fans). Sandet i San Sebastian Havn giver en god indsigt i, hvordan det eocæne sand i Siri Strøget ser ud. Den nedskårne kanal ved Cape Baltazar viser, hvor store laterale variationer der kan finde sted inden for ganske få meter. Endvidere ses det, hvor stejle vægge der kan opretholdes i en submarin kanal.

Øjnene der ser

Formålet med turen til Pyrenæerne var ikke kun at se på den spektakulære geologi. Det var også en felttur for alle selskabers licenser i Siri Strøget (arrangeret af DONG Energy) med deltagelse af såvel geologer, geofysikere og ingeniører. Mens geologer ser krydslejringer, og geofysikerne diskuterer, hvor meget af dette der kan ses på seismik, diskuterer ingeniørerne hvilke lag, der vil

vanskelliggøre strømning af olie i reservoirt under produktion. Men det er netop denne variation i betragtningen af en blotning, der er vigtig for at få den fulde forståelse af en reservoiranalog. Geologien er ikke interessant, hvis ikke olien kan flyde fra sedimentet, og uden geologien kan geofysikerne ikke forudsige sedimenternes rummelige fordeling, som de ser den på seismikken.

Afrunding

Som billedet materialet i denne artikel antyder, er der en enestående natur i Nordspagnien. Men området giver også en fantastisk indsigt i turbiditter og sandede bassingulvsaflejringer. Endvidere er området et helt fantastisk område til at forstå de paleocæne og eocæne sandsystemer i Nordsøen. Men vigtigst af alt er det, at området har nogle enestående blotninger, hvor alle faggrupper kan diskutere den geologi, man ser. Og det er, når alle faggrupper bidrager, at man får den bedste forståelse af et reservoir, og dermed har de bedste muligheder for at udvinde den olie, der er i sedimenterne.

En stor tak til Lars og Michael. ■

Kort nyt

Gammastråler fra tordenskyer

Under tordenvejr kan elektriske felter i atmosfæren blive tilstrækkeligt høje til at producere udladninger af radiobølger samt Røntgen og gammastråling. Disse udladninger er adskilt fra selve lynene både i tid og ofte også sted. Røntgenstrålingen kan vare op imod et minut, mens radiobølgerne og gammastrålingen forekommer i udladninger på mikro- og millisekunds skala.

Fra et tordenvejr over det Japanske Hav målte et hold japanske forskere i januar 2007, 40 sekunder med gammastråling efterfulgt af et lyn 70 sekunder senere. Energien af gammafotonerne nåede over 10 MeV. De japanske forskere foreslår, at gammastrålingen skyldes, at elektroner dannet af den kosmiske strålings vekselvirkning med molekyler i atmosfæren bliver accelereret i de kraftige elektriske felter omkring tordenskyer og efterfølgende danner laviner af elektroner, som igen bliver opbremset under udsendelse af høj-energetisk bremsestråling.

Physics Today/JT

www.ramboll.dk



Geologi er ikke alene smukt,
- det er uundværligt--

I Rambøll har vi ekspertisen og udstyret til at rådgive inden for:
Boringer, geofysik, geologi, geoteknik, hydrogeologi og råstoffer.

RAMBOLL