

C7943

# EEN OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE NAVIGATIE-INSTRUMENTEN TOT AAN DE CHRONOMETER

DOOR

Koenraad VAN CLEEMPOEL

Dit essay geeft een overzicht van de belangrijkste navigatieinstrumenten die zeelui gebruikt hebben in het controleren van hun koers. In de maritieme geschiedenis is het mogelijk om drie fundamentele etappes, of fases te onderscheiden. In de eerste was de Middellandse zee het hoofdtoneel, en beperkte het probleem zicht tot het vinden van de juiste richting en het inschatten van de af te leggen route. De tweede en derde etappe volgen elkaar snel op omdat veiligere schepen toelieten de oceanen te bezeilen. In een tweede etappe zien we hoe de Portugezen en de Spanjaarden diep doordringen in de Atlantische Oceaan. Het louter inschatten van de af te leggen was dan niet meer voldoende en het kunnen meten van de breedtegraad werd noodzakelijk. Om dit op te lossen deed men astronomische waarnemingen waarvoor observatieinstrumenten werden ontwikkeld. De derde etappe startte op het einde van de vijftiende eeuw toen Columbus Amerika ontdekte. Vanaf dan was de Oost-West beperking voorgoed opgeheven en de zoektocht naar een betrouwbare methode om de lengtelijn te bepalen werd noodzakelijk : niet alleen om tijdig zijn bestemming te bereiken maar ook om het hoge aantal schipbreuken te verminderen. Die zoektocht naar de lengtelijn op zee veranderde de navigatie meer en meer in een wiskundige activiteit.

In wat volgt bespreken we de verschillende navigatie-instrumenten die tijdens de voornoemde etappes gebruikt werden. Het is uiteraard niet mogelijk ieder instrument uitvoerig te bespreken ; een tekortkoming die via de bibliografie enigszins wordt opgevangen.

## – Empirische kennis

Reeds van in de Oudheid zeilde men op de Middellandse zee : de geschiedenis van de eerste zeevarenden volkeren zoals de Phoeniciërs of Chartagenen is genoegzaam bekend. De kwaliteit van hun zeemannschap en navigatiekunst was grotendeels gebaseerd op ervaring en mondelinge kennisoverdracht. De Middel-

landse zee stelde bovendien geen onoverkomelijke problemen voor de vroege zeelui, zelfs zonder gebruik van het kompas, dat pas rond 1200 in Europa bekend raakte. Een groot aantal eilanden, zowel aan de noord- als aan de zuidkant zorgde ervoor dat men nooit langer dan enkele dagen uit de kust kon zeilen. De winden zijn er ook vrij stabiel : afwisselend van NO naar NW afhankelijk van de plaats. De heersende waterstromen waren ook constant en, net zoals de windrichtingen, konden ze de opvarenden helpen bij het vinden van de route. De winden werden genoemd naar de streek van waaruit ze waaiden, en die namen werden synoniem van de windrichting. Zo ziet men soms op oude kaarten, kompassen of wetenschappelijke instrumenten dat enkel het initiaal van de winden gebruikt wordt om een richting aan te duiden, en niet de nu gebruikte N-O-Z-W-tekens. Vandaar dat men nog steeds spreekt over een windroos. De horizon werd ook onderverdeeld in winden, in plaats van in 360°.

Het belangrijkste hulpmiddel voor de oriëntatie in open zee was ongetwijfeld de hemel : overdag de schijnbare beweging van de zon, en 's nachts de schijnbare beweging van de sterrenhemel. De zeelieden uit de oudheid kenden zeer goed de loop van de hemellichamen doorheen het jaar. Men wist, bijvoorbeeld, dat de dag en de nacht slechts tweemaal per jaar juist even lang duren, en dat de zon op die dag 's middags in het solstitium staat ; hetzij dat van de winter of dat van de zomer. Op een heldere nacht was de sterrenhemel echter de duidelijkste manier om een positie te bepalen. Voor een geoefend oog was het zelfs mogelijk om via de constellatie van de sterren een breedtegraad af te leiden. We kunnen ons moeilijk voorstellen hoe goed de zeelui uit het verleden de sterren konden lezen zonder daarvoor een hemelkaart, of meetinstrumenten te gebruiken. Hun parate kennis van de sterren en hun positie, die via mythen en verhalen van generatie op generatie overgeleverd werden, was voor hen voldoende om te navigeren op de open zee.

Van groot belang was ook de kennis van het profiel en de ondieptes van de kustlijn. Zulke informatie werd verzameld in de zogenaamde 'periplos'. Er is een 'periplos' bewaard van 5000 VC waarin bijzonderheden langsheen de mediterrane kustlijn beschreven staan, alsook de afstanden in zeildagen uitgedrukt tussen de verschillende havens. Als aanvulling op dit geheel van empirische kennis maakten de zeelui uit het verre verleden ook gebruik van een peillood. Hiermee konden ze bij mistig weer onderzoeken of het schip de kust benaderde.

De uitvinding van het kompas wordt traditioneel aan de Chinezen toegeschreven. Maar het is voorlopig nog onduidelijk op welke manier het Westen ermee in contact kwam : via reizigers uit het Oosten, of werd het ook ergens in Europa uitgevonden. Deze laatste hypothese is mogelijk omdat de bijzondere eigenschap van een laadsteen, waarover men wrijft met een metaal object, reeds vroeger bekend was. Het was enkel een kwestie om een fijn metaal object na contact met de steen los te laten draaien rond zijn middelpunt om zo het wonderlijk effect op te merken : namelijk dat het uiteinde steeds in dezelfde richting

wijst. De zeelui noemden de richting *Stella Maris*, de ster van Maria. Het oudste wetenschappelijk traktaat waarin men spreekt van een kompas is het *Epistola de magnete* uit 1269 van Pierre de Maricourt. De auteur belicht de eigenschappen van de laadsteen en de toepassing ervan in de bouw van een kompas. Hij onderscheidt reeds een 'droog' en een 'nat' kompas en verdeelt de omtrek van de cirkel in 360°. Maricourt schrijft nergens over de voordelen van een kompas op zee, enkel over de voordelen bij het opmeten van land. We mogen er desalniettemin van uitgaan dat het op zee gebruikt werd. Al snel werd de naald vervangen door twee 'geladen' pinnetjes die een cirkelvormige windroos ondersteunen. Door de eigenschappen van het steunvlak plaatste de windroos zich telkens in dezelfde positie. Op de windroos stonden de 8, 16 of 32 belangrijkste windrichtingen aangeduid.

Tijdens de tweede helft van de 13de eeuw komt de eeuwenoude empirische kennis samen met de nieuwe ervaringen van het kompas. Het resultaat van deze gelukkig combinatie zijn de zogenaamde portulaankaarten. Ze tonen met vrij grote nauwkeurigheid het profiel van de kustlijn, en geven daarbij nuttige en praktische informatie voor de opvarenden. Dit gaat van plaatsnamen naar wetenswaardigheden zoals dieptes en stromingen. Maar de belangrijkste nieuwigheid tegenover de vorige kaarten zijn de lijnen die er kriskras overheen lopen. Die tonen de vaste koers en worden gebruikt in combinatie met een kompas. Wanneer men het kompas juist oriënteert tegenover de kaart, en het nadien op het centrum van de 'kompaslijnen' plaatst, kan men op een eenvoudige manier de gewenste koersrichting vinden. De lijnen liggen dan in het verlengde van de 8, 16 of 32 kompaspunten. Na enige tijd zien we dan ook dat de kunstenaar op het kruispunt een windroos tekent met 32 punten. Het kleurengebruik is standaard, en de acht belangrijkste 'kompaslijnen' —die dan overeenkomen met de acht belangrijkste windrichtingen —werden bijna altijd in het zwart getekend. Daartussen lopen dan groene en rode lijnen die de verdere opdeling van het kompas volgen. De 'kompaslijnen' komen niet tot stand via een projectie, maar zijn het resultaat van een eeuwenlange nautische ervaring. De portulaankaarten zijn wel de voorlopers van de zogenaamde 'loxodromen' die Mercator in 1541 voor het eerst toepast op een globe. In tegenstelling tot de lijnen op de portulaankaarten, bekomt men de loxodromen wel via een projectie.

Over de oorsprong van de portulaankaarten is niets bekend. Zo weten we zelfs niet waar en wanneer de eerste kaart getekend werd. De vroegst bekend kaart is de zogenaamde 'carta Pisana', maar die vermoedelijk in Genua gemaakt werd rond 1275. De Italiaanse kaarten zijn over het algemeen soberder dan de Spaanse kaarten. Hierdoor spreekt men van de 'Italiaanse stijl' en de 'Catalaanse stijl'. Deze laatste worden gekenmerkt door een genereus kleurengebruik en de toevoeging van allerhande nautische en geografische informatie.

Een correct gebruik van de portulaankaart is niet altijd mogelijk omwille van de weersomstandigheden : men moest de koers van het schip voortdurend

aanpassen door het effect van wind en stroming. Bovendien kwam het zelden voor dat de gewenste koers perfect overeenkwam met de rechte lijn van een kompaslijn. Hierdoor zigzagt het schip steeds in de buurt van de optimale kompaslijn, maar blijft er zelden evenwijdig aan. Het is daarom nodig om steeds opnieuw te berekenen hoever men afwijkt van de optimale koers. Tijdens de Middeleeuwen waren zeelui geen wiskundigen, en de bestaande wiskunde was trouwens ontoereikend om dit probleem op te lossen. In de plaats daarvan gebruikte men het systeem van de 'raxon de marteloio'. Dit diende om een oplossing te vinden voor het volgende probleem : als men op de portulaankaart van A naar B wil zeilen, maar de elementen verplichten om naar C te zeilen hoe kan men dan uiteindelijk toch in B geraken. Via een toepassing van de regel van drie kon men deze omweg verrekenen en op de kaart overbrengen. Hiervoor had men twee instrumenten nodig : een steekpasser om op de kaart mee te werken, en een zandloper om de tijd te meten op de 'verkeerde' route, om die nadien te verrekenen tegenover de 'juiste' route.

### **- De Atlantische Oceaan**

Dankzij beter uitgeruste schepen begonnen de Portugezen reeds vroeg in de 15de eeuw zuidelijker langs de Afrikaanse kusten te zeilen. Ze waren op zoek naar goud, slaven en het mythische rijk van Priester Jan. Als vorst van Portugal steunde Hendrik de Zeevaarder deze sterke expansiedrang ; niet in het minst omdat hij hiermee de gunst bekwam van een rijke burgerij die nieuwe handelsgronden zochten. Dit culmineerde in 1488 wanneer Bartolomé Díaz Kaap de Goede Hoop rondt ; dit opende de weg naar India, waar Vasco da Gamma in 1497 voet aan wal zette. Ook Spanje ging de uitdaging aan met de oceaan, zij het dan in westelijke richting. De drijfveer achter deze dure expedities is dezelfde als bij de Portugezen : een zoektocht naar nieuwe grondstoffen.

Wanneer Columbus Amerika ontdekt in 1492 is dat als bij toeval. Dit betekent eigenlijk dat de bestaande nautische instrumenten en kaarten ontoereikend waren voor navigatie op de oceaan. Inderdaad, op de Middellandse zee kon men zijn fouten snel verbeteren omdat het schip nooit langer dan enkele dagen uit het zicht van de kust verwijderd was, terwijl dit op de oceaan al snel enkel weken wordt. Hierdoor stapelden mogelijk fouten zich snel op. In de reisverslagen van de Portugezen lezen we hoe ze de Afrikaanse kusten afzeilden door overdag de kustlijn als referentiepunt te gebruiken. De stroming en de windrichting lieten hen toe om dit traject te volgen. Het probleem stelde zich pas op de terugweg : men moest diep de oceaan inzeilen om gunstige stromingen en winden op te zoeken. Al snel ontdekte men dat een kompas hiervoor onvoldoende was. Het kompas was immers in zijn gebruik beperkt als men niet weet op welke breedte men zich bevond. De observatie van de sterrenhemel bleek een meer betrouwbare hulp. Om de fenomenen van de sterrenhemel beter te begrijpen grijpt men terug naar dé twee klassieke pre-Renaissance traktaten over

astronomie : *De Geographia* van Ptolomaeus (herontdekt rond 1410) en de *Libros del saber de astronomía* en *Tablas Alfonsies* van de Spaanse vorst Alfonso X, de Wijze (1262-1272).

De eerste methode die men gebruikte voor het bepalen van de breedtegraad, was via observatie van de hoogte van de poolster boven de horizon (in het Portugees : altura). Hiervoor gebruikte men een kwadrant, hetwelk bestaat uit vier essentiële onderdelen : (1) een kwartcirkel waarvan de boog een schaal van  $90^\circ$  draagt ; (2) een ophangingring ; (3) twee vizieren die op de zijkant van het kwadrant gemonteerd staan ; (4) over de schaal beweegt een touw met schietlood dat in het hoekpunt bevestigd is. Aanvankelijk berekende men niet de eigenlijke breedtegraad, maar wel de hoogte tegenover de horizon van bepaalde sterren. Deze werkwijze was te willekeurig en al snel drong een meer nauwkeurige methode zich op. Men stelde tabellen op met dubbele meetresultaten gemeten vanop een vaste plaats, bijvoorbeeld Lissabon. Die twee metingen waren de hoogte van de poolster doorheen het jaar en de afstand in hoogte tussen de poolster en de Grote Beer en/of Kleine Beer. Die tabellen dienden dan als referentiepunt wanneer men op zee metingen uitvoerde. Door het juist interpreteren van de marge tussen metingen op zee en op land kon men ongeveer inschatten op welke hoogte men zeilde. Bij deze berekeningen diende men ook rekening te houden met de circumpolaire beweging van de poolster.

Dankzij de belangstelling voor de poolster, en de positie ervan tegenover de Grote Beer komt er op het einde van de vijftiende eeuw een observatie instrument bij dat dient voor tijdmeting : het nocturlabium. Het ziet eruit als een pingpong palet met in het midden een opening. Op de voorzijde zijn er verschillende schalen aangebracht waarboven een lange arm beweegt die op zijn beurt bevestigd is aan een roteerbare schijf. Men houdt het instrument in de richting van de poolster zodat men haar kan zien doorheen de opening. Vervolgens beweegt men de arm totdat de onderkant de voet van de Grote Beer raakt. Het instrument vertelt dan de tijd.

Rond 1470 had men de Evenaar bereikt waar de poolster niet meer zichtbaar is. Koning Joan II van Portugal richtte in 1484 een commissie op om dit probleem te onderzoeken. De oplossing bestond erin om de hoogte van de zon te meten op het moment dat ze de meridiaan kruist ; dat wil zeggen wanneer ze op haar hoogste punt staat. Vervolgens vergeleek men de bekomen resultaten met tabellen waarin de declinatie van de zon stond opgeschreven voor de verschillende plaatsen op het land, doorheen het jaar. De *Almanach perpetuum* van Abraham Zacuto (Venetië, 1502) was zo'n populaire tabel. Deze astronomische jaarboeken of tafels worden ook efemeriden genoemd.

Zowel overdag als 's nachts had de zeeman dus een instrument nodig dat zo nauwkeurig mogelijk de hoogte van het hemellichaam boven de horizon mat. Aanvankelijk maakte hij hiervoor gebruik van het reeds eerder genoemde kwadrant. Het instrument was echter gebruiksonvriendelijk op het dek van een rol-

lend schip waardoor men genoodzaakt was om aan land te gaan metingen uit te voeren. Wanneer dat niet kon waren de metingen onbetrouwbaar.

Om die redenen ontstond tegen het einde van de 15de eeuw het marine astrolabium. Het was een afgeleide van het veel oudere, en meer ingewikkelde, planisferisch astrolabium. Met een planisferisch astrolabium kan men vrij nauwkeurig — tot op één graad — hoogtes meten, maar niet op het dek van een rollend schip. Het is bovendien een vol instrument zodat men het moeilijk kan stilhouden in de wind. Het marine astrolabium is daarom hol gemaakt, net zoals een wiel met spaken, en is het onderaan ook voorzien van een extra gewicht. Het instrument bestaat uit drie essentiële onderdelen : (1) een ophangingring waaraan (2) een gegradeerde cirkel hangt ; (3) waarboven een liniaal kan roteren rond een vast middelpunt, en met op de uiteindes van het liniaal een vizier. Om niet verblind te worden bij het meten van de zon houdt men het instrument voor zich uit en roteert men het liniaal totdat een zonnestraal doorheen de opening op de twee vizieren schiet. 's Nachts houdt men het vizierliniaal voor de ogen en mikt men zo op de sterren.

De vroegste verwijzing naar het gebruik ervan is gedurende een reis in 1481 door Diego d'Azambuja langsheen de westkust van Afrika. Tijdens de wereldreis van Magelaan in 1519 was er één houten en zes metalen marine astrolabia aan boord. Rond 1500 was de productie van marine-astrolabia gestandaardiseerd, en zien we lokale ateliers in Spanje en Portugal ontstaan. De vroegste illustratie van een zeeman in actie met een astrolabium komt uit Pedro de Medina's *Arte de Navegar* van 1545, maar op de Mapamundi van Diego Ribiero van 1529 staat er al een tekening van een marine-astrolabium. De eerste gedrukte beschrijving is die van Martin Cortes *Breve Compendio de la esfera y de la arte de navegar* van 1551, maar die reeds geschreven was in 1545. Het marine-astrolabium was zeer populair en het principe bleef tot in de 18de eeuw in gebruik, zij het dan wel in een aangepaste vorm. Zo ont deden de Nederlanders het instrumenten van zijn onderste helft zodat het een halfcirkel werd, en de schaalverdeling werd ook fijner.

Een ander instrument voor het meten van de declinatie van de zon was de nautische ring, of 'anillo náutico'. Het is een brede ring die men vasthoudt aan een ophangingsring. Aan één kant is er een klein gaatje gemaakt waar een zonnestraal doorheen kan priemen. Die straal valt op een schaalverdeling op de tegenoverliggende zijde die van 0° tot 90° loopt, en geeft de declinatie van de zon aan. Het was lang niet zo populair als het marine-astrolabium doordat het niet zeer gebruiksvriendelijk was.

Al de voornoemde instrumenten gaan terug op het principe van een gegradeerde cirkel waarboven men een liniaal, of touw, laat bewegen. Tijdens de 15de eeuw ontstaat er ook een ander type instrument dat eigenlijk nauwkeuriger bleek te zijn : de zogenaamde Jakobsstaf.

Aanvankelijk werd de Jakobsstaf enkel voor topografische, en soms ook astronomische doeleinden gebruikt. Het siert omwille van zijn eenvoud : het bestaat uit een gegradueerde stok — 'radio' genoemd met een vierkante sectie, waarover een kortere dwarslat kan bewegen. Voor een toepassing als nautisch instrument veranderde men wel de schaal op de ratio, opdat ze meer geschikt zou zijn voor hoekmetingen over grote afstanden. Men maakte het instrument ook kleiner, ongeveer een meter lang, zodat het gebruiksvriendelijker werd op schepen. Om de declinatie van een hemellichaam te meten houdt men de radio voor zich uit, en schuift men vervolgens de dwarslat over de schaal totdat de bovenste tip van de dwarslat raakt aan het hemellichaam, en de onderste tip aan de horizon. De declinatie leest men vervolgens af op de schaal ter hoogte van de dwarslat. Een vroege beschrijving van het instrument, zowel voor wat betreft de constructie als astronomische toepassingen, is de commentaar van Johann Werner op de Geografie van Ptolomaeus van 1514. Voor de nautische toepassing is Pedro de Medina's invloedrijke traktaat *Arte de navegar* van 1545 een belangrijk werk, hoewel er reeds een vroegere beschrijving bestaat in manuscript van Alonso de Chaves, opgenomen in zijn *Quatri partitu*, tussen 1520 en 1538.

In een verdere ontwikkelingsfase van het instrument voegde men twee dwarslatten toe van verschillende grote. Michiel Coignet beschrijft in 1581 in zijn *Instruction nouvelle des points plus excellents & necessaires touchant l'art de naviguer* een Jakobsstaf met drie dwarslatten met als naam 15°, 30° en 60°. Ze danken die naamgeving aan het gebruik : de kleinste dwarslat dient voor het meten van hoeken tot 15°, de tweede tot 30°, enz. Door die opdeling bekwam men een nauwkeuriger meetresultaat. Voor hoeken groter dan 60° was de Jakobsstaf moeilijk voor gebruik en greep men terug naar het astrolabium. De Jakobsstaf bleef niettemin populairder dan het astrolabium of de nautische ring, en bleef daarom ook langer in gebruik.

De oorsprong van de Jakobsstaf komt mogelijk uit het Oosten. Om te navigeren op de Indische oceaan, en de Rode Zee gebruikten de plaatselijke zee-lui een instrument dat uit drie plaatjes bestond met een touw : de zogenaamde 'kamāl'. De rechthoekige plaatjes hadden alledrie verschillende hoogtes, met in het midden een opening om het touw in te bevestigen. Voor gebruik kiest men één van de drie plaatjes en plaatst het voor zich zodat de bovenzijde aan het gekozen hemellichaam raakt en de onderzijde aan de horizon. Tegelijkertijd houdt men het touwtje, dat gemarkeerd is met knopen op geijkte afstanden, in de mond. De knoop op het touwtje die het dichtste bij de mond van de waarnemer ligt duidt de breedtegraad aan. 'Kamāls' worden vernoemd in vroeg 16de eeuwse Portugese nautische traktaten.

### – De 16de eeuw als scharnierperiode

Tijdens de 16de eeuw zijn er drie belangrijke ontwikkelingen die de navigatie blijvend zullen beïnvloeden : de oprichting van zeevaartscholen ; een juist

gebruik van het kompas in combinatie met meer nauwkeurige meetinstrumenten, en de ontwikkeling van goede nautische kaarten door de Mercator-projectie.

De opeenvolgende reizen van Spanjaarden en Portugezen stelden een grote wetenschappelijke uitdaging op verschillende terreinen : het was nodig om de nieuw ontdekte territoria in kaart te brengen ; en om er de snelste en veiligste route naartoe vast te leggen. Men moest ook al de informatie en kennis die men tijdens de vele reizen had opgedaan op systematische wijze ordenen en doorgeven aan nieuwe generaties zeelui. Om die redenen richtten zowel de Spanjaarden als de Portugezen nautische instituten op die zich uitsluitend met die problematiek zullen bezighouden : het 'Casa del Mina' in Lissabon, en het 'Casa de Contratación' in Sevilla. Het laatste wordt de administratieve zetel voor al de relaties met de Nieuwe Wereld, ook voor wat betreft de handel. Men installeerde er ook verscheidene leerstoelen om er toekomstige kapiteins op te leiden, bijvoorbeeld in 1552 voor kosmografie en de 'arte de navegar'. Maar reeds in 1523 bestond er een atelier voor het maken van navigatie-instrumenten en nautische kaarten. Over de werking van het 'Casa del Mina' is weinig bekend omdat haar archieven verloren gingen in de aardbeving van Lissabon van 1755. Wel weten we dat één van de belangrijkste handboeken voor de opleiding van kapiteins van Portugese oorsprong is ; het is een vertaling van Sacrobosco's *Sphaera Mundi* met twee toevoegingen : *Tratado sobre certas duvidas da navegacao* en *Tratado em defensam da carta de marear*. Ook de Spanjaarden publiceerden tijdens de eerste helft van de 16de eeuw een groot aantal cosmografische en nautische traktaten. De twee belangrijkste komen wellicht van Pedro de Medina en Martín Cortés, allebei professoren aan het 'Casa de Contratación'. Ze schreven respectievelijk : *Arte de Navegar* (1545) en *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar* (1551). De Medina's boek werd vertaald naar het Frans, het Italiaans, het Engels en het Nederlands, en ook Cortés' boek had veel invloed, voornamelijk in Engeland.

Na het einde van de 16de eeuw beginnen Engeland en Nederland zich te ontwikkelen tot belangrijke zeevarende naties, ze nemen de fakkel over van Spanje en Portugal. Geconfronteerd met dezelfde obstakels bij het navigeren op de open oceaan als de Spanjaarden en Portugezen, produceerden de Britten ook een reeks traktaten waarin navigatie-instrumenten beschreven staan. In 1590 publiceerde Thomas Hood *The Use of two Mathematicall Instrumentes, the Crosse Staffe*. De auteur beschrijft de constructie en het gebruik van een nieuw type van instrument om hoogtes te meten. Het bestaat uit twee haaks op elkaar geplaatste gegradueerde latten. De transversale lat kan in twee richtingen bewegen tegenover de opstaande lat : verticaal en horizontaal. Het gebruik ervan was vrij lastig, totdat John Davis het enkele jaren later op punt stelde en erover schreef in zijn *The Seamans Secrets*. Het instrument verwierf onder zijn naam bekendheid, en bleef zeer populair tot in de 18de eeuw : het Davis-kwadrant, of ook wel 'Engels kwadrant' genoemd. Het instrument bestaat uit een horizontale



lat, de transversaal, waarop twee gradenbogen gemonteerd staan : één bevindt zich vooraan — het dichtste bij het oog van de waarnemer — en onderaan de transversaal ; de ander achteraan en bovenop de transversaal. Op het uiteinde van de transversaal is er een vast vizier waardoor men het instrument richt op de horizon. We noemen dit het 'horizonpunt'. Op elk van de twee gradenbogen was er een beweegbaar vizier gemonteerd. Eén gradenboog is onderverdeeld in  $60^\circ$ , de andere  $30^\circ$ , of  $25^\circ$ . De kleinste gradenboog bevindt zich vooraan, dat wil zeggen, het dichtst bij het oog van de waarnemer. Voor een correct gebruik keert de waarnemer zich met de rug naar de zon (vandaar de Engelse naam 'back-staff') en houdt hij het instrument voor zich uit zodat hij doorheen het vizier dat op de transversaal staat de horizon kan zien. Hij schuift het vizier op de kortste boog totdat de schaduw ervan juist op het horizonpunt valt. Vervolgens schuift hij het vizier op de grotere boog totdat het in lijn komt met het horizonpunt en de schaduw van de zon. Naast de twee vizieren leest men dan de graden af ; de som ervan geeft de breedtegraad aan. Het Davis-kwadrant was veruit het belangrijkste navigatie instrument tijdens de 17de en een groot deel van de 18de eeuw. De voordelen tegenover de Jakobsstaf waren legio ; dat de waarnemer niet meer direct in de zon hoefde te kijken was bijvoorbeeld aantrekkelijk. Bovendien liet de gradenboog een relatief hoge nauwkeurigheid toe. Zo zijn er veel instrumenten met een transversale schaalverdeling bewaard gebleven. En kort na de ontdekking van het principe van de Vernierschaal werd deze ook toegepast.

Nog een doorbraak in de 16de eeuw was de ontwikkeling van een nieuw soort kompas. Reeds ten tijde van Columbus wist men dat er een afwijking zat op het bestaande kompas. Deze afwijking — weten we nu — was van tweeërlei aard : dat de richting van het kompasnaald niet samenvalt met het geografische noorden, en dat deze afwijking verandert met de positie van de waarnemer. Men stelde dit vast door de richting van het kompasnaald te vergelijken met de richting van de Poolster op het moment dat ze meridiaan kruist. De afwijking die de kompasnaald dan aangeeft tegenover de Poolster is de magnetische declinatie op die bepaalde plaats. Tijdens de 16de eeuw werden er verschillende voorstellen geformuleerd om deze afwijking of variatie te begrijpen en te verbeteren. De Spanjaard Pedro Nuñez stelde in 1535 een oplossing voor door gebruik te maken van een 'schaduwinstrument' (Instrumento de sombras). Indien men het verschil kent tussen de meridiaan die het kompas aanwijst en die van de zon, kan men zo de variatie berekenen. Om dit te meten maakte hij gebruik van volgend instrument : een cirkelvormige basis met een schaalverdeling in  $360^\circ$  op de rand, draagt op de bovenzijde een kompas, en in het centrum een gnomon die lang genoeg is om een schaduw te werpen tot aan de zijkant. Dit geheel wordt opgehangen in banden zodat het vrij kan bewegen en steeds horizontaal hangt. De gnomon in het centrum werpt een schaduw op de rand en deze wordt symmetrisch afgelezen voor de voor- en namiddag, zodat men juist de meridiaan van de zon kan vaststellen. Met deze gegevens kan men de variatie van het kompas bere-

kenen. Al snel werd Nuñez's 'schaduw instrument' vervangen door het 'azimut-kompas'. Zo'n kompas is gevat in een brede band met een schaalverdeling waarboven een liniaal met opstaand vizier kan bewegen. Aan het vizier is er ook een gnomon verbonden zodat men opnieuw de variatie tussen de meridiaan van de zon en die van het kompas kan zoeken.

De kroon op de nautische ontwikkelingen tijdens de 16de eeuw was de bijdrage van Gerard Mercator. Tevergeefs hadden Spaanse en Portugese wiskundigen gezocht naar een projectie die toeliet om het netwerk van loxodromen correct neer te slaan op een nautische kaart. Een loxodroom, of kompaslijn is een kromme lijn die alle meridianen onder een gelijke hoek snijdt, waardoor men de af te leggen weg op zee eenvoudiger kan berekenen. De uitdaging bestond erin om de loxodroom van de globe over te hevelen op kaart, om het zo gebruiksvriendelijker te maken voor de navigator. In 1541 was Gerard Mercator de eerste die loxodromen correct weergaf op zijn aardglobe. Maar het duurde tot in 1569 vooraleer hij erin slaagde om het geheel ook op een kaart toe te passen. Hij deed dit door de afstand tussen de parallellen met een vaste ratio te laten groeien. Omdat er nog steeds geen geschriften van Mercator teruggevonden zijn waarin hij zijn principes uitlegt, blijft het vooralsnog een raadsel welke formule hij toepaste voor de 'Mercator-projectie'. Daarom publiceerde Edward Wright in 1599 wel de onderliggende principes in zijn *Certaine Errors in Navigation Detected and Corrected*.

Mede door de systematische toepassing van de Mercator-projectie werd de kunst van het navigeren tijdens 17de eeuw meer en meer een wiskundige aangelegenheid. Al de voornoemde instrumenten dienden om via geometrische formules de gevonden hoek om te zetten naar het gezochte getal. Men maakte daarbij ook gebruik van allerhande tabellen. Om die verschillende stappen van omzetting overbodig te maken ontwikkelde men een nieuw soort van instrument dat bovendien kon gebruikt worden op nautische kaarten met een Mercatorprojectie. Dit was de sector, voor het eerst beschreven door Edmund Gunter in 1623 : *De Sectore & Radio*. Het instrument bestaat uit twee gegraduateerde latten die kunnen scharnieren rond één gemeenschappelijk punt. De schalen laten toe om op een eenvoudige manier, via de regel van drie, nautische vraagstukken op te lossen. De sector werd zeer populair, en vele honderden exemplaren, in verschillende maten, zijn bewaard gebleven. Gunter ontwikkelde ook een 'vervolg' op de sector. Na de uitvinding van de logaritmes door Napier in 1614, paste Gunter dit principe toe op een rechte lat — of 'Gunter-schaal' — die eruit ziet als een opengeplooid sector van 180°. Het werd tezamen met een passer gebruikt. Tot diep in de 19de eeuw gebruikte zeelui de Gunter-schaal voor het oplossen van allerlei aritmetische berekeningen.

Uit de beschrijvingen van bovenstaande ontwikkelingen zou de lezer verkeerdelijk kunnen afleiden dat zeelui reeds voor 1650 voldoende controle over de fenomenen hadden om zorgeloos de oceaan te bevaren. Niets is minder waar.

De opeenvolgende doorbraken in de zestiende eeuw waren enkel de aanzet om het moeilijkste nautische vraagstuk op te lossen ; het bepalen van de lengtelijn op zee.

### **– De queeste voor de lengtegraad**

Het bepalen van de lengtelijn op zee kon pas definitief opgelost worden dankzij de uitvinding van de chronometer door John Harrison tussen 1729 en 1735. Het was de kroon op het werk van vele geleerden die sinds circa 1550 oplossingen zochten voor het probleem. De verschillende voorstellen tijdens die tweehonderd jaar zijn van een zeer uiteenlopende aard : van een zeer wetenschappelijke benadering tot de meer fantasierijke. De motivatie om een afdoende methode te vinden voor het vastleggen van de lengte was groot ; niet in het minst omdat reeds in 1598 koning Felipe III van Spanje een forse geldprijs uitschreef voor de succesvolle uitvinder. Het Engelse parlement herhaalde deze wedstrijd in 1714. Frankrijk en Nederland namen ook initiatieven in die richting. De bemoeizucht van de overheid voor een op het eerste gezicht zuiver maritiem probleem verklaart zich als volgt : zonder de kennis van de lengtegraad was het onmogelijk om de nieuw ontdekte gebieden te beschrijven op een zeekaart. Hierdoor was het moeilijk om vast te leggen welk eiland aan welke staat toebehoorde. Een gevolg van deze onvolledige zeekaarten was het hoge aantal schipbreuken. Zulke verliezen lieten zich uiteraard voelen op economisch gebied, zodat de overheid verplicht was om acties te ondernemen.

Men kende wel een oplossing om op land de lengtelijn te bepalen. De astronomen uit de oudheid hadden hiervoor reeds een methode ontwikkeld : eenzelfde hemelfenomeen (bv. een komeet, of eclips van maan of zon) wordt op twee verschillende plaatsen met eenzelfde breedtegraad gemeten, de gekende afstand tussen de twee plaatsen, alsook het gekende verschil in tijd tussen de observaties is wat men nodig heeft om de lengte te berekenen. Een afgeleide van deze methode bleek ook de oplossing te bieden voor het probleem op zee. De Leuvense wiskundige — en leermeester van Gerard Mercator — Gemma Frisius stelde dit voor rond 1540 : indien men op zee de plaatselijke tijd kan vergelijken met de tijd van de haven van vertrek, kan men via het verschil tussen de twee de lengtegraad berekenen. Zoals eerder vermeld, duurde het tot in de 18de eeuw vooraleer men een reisklok kon maken die in haar werking niet beïnvloed werd door de beweging van het schip of grote klimatologische verschillen. De methode van Gemma Frisius kende dus geen onmiddellijke opvolging. In de plaats daarvan trachtte men met het bestaande arsenaal van instrumenten zo ver mogelijk door te dringen in het mysterie van de lengte. De twee belangrijkste pistes waren het kompas en meer verfijnde declinatie-instrumenten, of 'reflectie-instrumenten'.

Men stelde vast dat de afwijking van de kompasnaald tegenover het ware noorden niet constant was : ze veranderde afhankelijk van de positie op de Oost-

West as. Zodoende trachtte men een net van 'magnetische meridianen' op te tekenen. De kompassen die toen in gebruik bleken lang niet nauwkeurig genoeg om deze afwijking systematisch te noteren. Bovendien zijn de verschillen in afwijking lang niet van de orde dat ze zouden toelaten om er een plaatsbepaling uit af te leiden.

Een volgende, meer wetenschappelijke methode werd ontwikkeld dankzij de doorbraak van de telescoop rond het begin van de 17de eeuw. Men stelde vast dat de beweging van de planeten, en van de manen rond de planeten volgens een vast patroon verliep. Door dit patroon in tabellen te gieten werd de hemel eigenlijk één grote klok. Immers, indien men via een nauwkeurig meetinstrument de positie van een maan tegenover haar planeet, of tegenover een ander referentiepunt kon vastleggen en vervolgens dit meetresultaat vergeleek met de periodieke tabellen, kon men de tijd berekenen. Galileo Galilei observeerde een terugkerend patroon in de beweging van de manen rond Jupiter, wat hij dan ook vastlegde in tabellen. Hiermee dacht hij, tevergeefs, een oplossing te bieden voor het lengtelijn-probleem. Door de ontwikkeling van de telescoop, en de oprichting van nationale observatoria (Greenwich in 1675) konden er systematisch metingen van sterren uitgevoerd worden. Men kreeg ook een veel duidelijker beeld van het verloop van de maan. Hiervoor was het bijvoorbeeld eerst nodig om de wetten van Newton met betrekking tot de zwaartekracht toe te passen op de maanbeweging. Die resultaten werden gepubliceerd en vormden een rijk arsenaal aan informatie die nuttig bleek voor de op één na belangrijkste methode voor het bepalen van de lengtelijn : de methode van de 'lunaire afstanden'.

De Duitse astronoom Tobias Mayer stelde tabellen op met de veranderende afstanden, uitgedrukt in graden, tussen de maan en een reeks sterren, waaronder de zon. Het kwam er dus op aan om de meetresultaten op zee te vergelijken met de tabellen, zodat men een plaatsbepaling kon afleiden.

Om deze methode goed toe te passen was het nodig om met een nauwkeurigheid van 1 minuut te meten. Dit was niet mogelijk met het Davis-kwadrant, en daarom werden de zogenaamde 'reflectie-instrumenten' ontwikkeld. In 1731 stelde John Hadley de octant voor ; hetwelk een synthese was van een reflectie instrument dat reeds generaties voordien door Robert Hooke en Isaac Newton werd ontwikkeld. Het bestaat uit een gebogen schaal van  $90^\circ$  waarover een arm loopt. Deze arm roteert rond een vast punt en draagt op het scharnierpunt een spiegel ; wanneer de arm over de schaal beweegt, verandert aldus ook de hoek van de spiegel. Dan is er een tweede, vaste spiegel, geplaatst aan de zijkant van het instrument. De spiegels staan enkel parallel tegenover elkaar wanneer de index-arm op  $0^\circ$  staat. Tegenover die vaste spiegel is er een vizier. Wanneer men nu een hemellichaam observeert, richt men het instrument via het vizier op de horizon. Dan kijkt men naar de vaste spiegel en roteert zachtjes de index-arm totdat het gezochte hemellichaam zichtbaar wordt. Wat men dus eigenlijk doet is het hemellichaam 'neerslaan' op de horizon. Wanneer

men de zon als referentiepunt neemt, kan men filters tussen de twee spiegeltjes schuiven om verblinding te vermijden. De octant had voordelen tegenover het Davis-kwadrant : veel gebruiksvriendelijker en nauwkeuriger. De schaal zelf was meestal onderverdeeld tot 20 minuten, maar door op de index-arm een Vernier-schaal aan te brengen was het zelfs mogelijk om een nauwkeurigheid van 1 minuut per graad te bekomen.

De octant voldeed aan vele verwachtingen, maar toch werd het één generatie later al vervangen door de sextant. John Campbell was het die in 1769 voorstelde om in plaats van  $90^\circ$  ( $2 \times 45^\circ$ ), een schaal van  $120^\circ$  ( $2 \times 60^\circ$ ) op de boog te zetten. Zodoende kreeg het instrument een ruimer bereik. Het materiaal van het instrument veranderde ook : messing in plaats van hout. Hierdoor werden de instrumenten steviger. De sextant werd al snel een populair maritiem instrument, dat aan boord van de schepen gebruikt werd in combinatie met de *Nautical Almanac* die de Britse Admiraliteit vanaf 1768 publiceerde.

Het belangrijkste — en moeilijkste om te maken — onderdeel van de sextant was de schaalverdeling op de boog. Reeds bij de ontwikkeling van de octant zocht men naar methodes om dit op een systematische en hoogst nauwkeurige basis te doen. Een belangrijke doorbraak hierin was de uitvinding in 1770 van de 'circular dividing engine' door Jesse Ramsden. Met dit toestel was het mogelijk om een hele fijne schaalverdeling te graveren op de boog van een sextant.

Parallel aan deze instrumenten werd een derde reflectie instrument ontwikkeld : de zogenaamde Borda-cirkel, of de 'reflectie-cirkel'. De uitvinder ervan is de reeds eerder genoemde Tobias Mayer in 1754, maar de Fransman Charles Borda maakte ze zo nauwkeurig dat het instrument zijn naam is gaan dragen. Het verschil van de sextant is dat de schaal een volledige cirkel beslaat. Hierdoor was het mogelijk om hoeken te meten tot  $180^\circ$ .

De methode van de 'lunaire afstanden' kwam de zeeman, die zijn sextant en *nautical almanac* goed wist te gebruiken, goed van pas. Een belangrijk obstakel bleef evenwel de afhankelijkheid van het weer : bij een bewolkte hemel was het immers onmogelijk metingen uit te voeren. Daarom werd er ook veel energie gestoken in de ontwikkeling van een reisklok om de voornoemde methode van Gemma Frisius te kunnen toepassen. Het bleek echter niet eenvoudig om een uurwerk/chronometer te bouwen die haar nauwkeurigheid behield op zee ; de deining bracht telkens het pendulum-ontsnappingsysteem in de war, en de grote klimatologische verschillen bleken ook een nefast effect op de delicate chronometers te hebben. John Harrison was de eerste die beide obstakels kon neutraliseren. In 1735 stelde hij aan het Engelse parlement zijn chronometer 'Nummer 1' voor. De chronometer werd het jaar nadien getest tijdens een reis naar Portugal, en de resultaten waren schitterend. Daarom kreeg Harrison een uitkering om het instrument nog te verbeteren. Er volgden dan drie andere chronometers, telkens compacter in formaat : 'Nummer 2' (1739),

'Nummer 3' (1757) en tenslotte 'Nummer 4' (1758). De laatste werd getest tijdens een reis naar Jamaica in 1761-62. De reis duurde 81 dagen. Bij aankomst in Portsmouth bleek dat er slechts een verlies van vijf seconden was. Hiermee was de betrouwbaarheid van de Harrison-chronometer onomstootbaar bewezen. Het duurde echter tot in 1773 vooraleer de Engelse 'Board of Longitude' aan Harrison de prijs toekende. De oorzaak voor deze vertraging was een lang aanslepende polemiek met de aanhangers van de methode gebaseerd op 'lunaire afstanden'. De chronometers werden snel nadien standaard uitrusting op zeeschepen, en reeds op het einde van de 18de eeuw waren er gespecialiseerde klokmakers. De belangrijkste onder hen zijn John Arnold en Thomas Earnshaw in Londen, en Ferdinand Berthoud en Louis Breguet in Parijs.

Het gebruik van de chronometer voor plaatsbepaling verwierf burgerrecht tijdens de 18de eeuw: het bleek een betrouwbare en gebruiksvriendelijke methode. Een direct gevolg hiervan was de mogelijkheid om meer nauwkeurige kaarten te tekenen: het bleek immers mogelijk om de plaatsing van nieuw ontdekte gebieden beter te beschrijven en in kaart te brengen.

- BENNETT, J.A., *The Divided Circle. A History of Instruments for Astronomy, Navigation and Surveying*, Oxford, 1987.
- COTTER, Ch.H., *A History of Nautical Astronomy*, Londen, 1968.
- COTTER, Ch.H., *A History of the Navigator's Sextant*, Glasgow, 1983.
- DAUMAS, M., *Les instruments scientifiques aux XVII<sup>ème</sup> et XVIII<sup>ème</sup> siècles*, Parijs, 1953.
- GOULD, R.T., *The Marine Chronometer. Its History and Development*, Londen, 1925.
- HEWSON, J.B., *A History of the Practice of Navigation*, Glasgow, 1951.
- HOWSE, D. en Sanderson, M., *The Sea Chart. An Historical Survey based on the Collections in the National Maritime Museum*, Londen, 1983.
- HOWSE, D., *Greenwich Time and the Discovery of the Longitude*, Oxford, 1980.
- SELLÉS, M., *Instrumentos de Navegación del Mediterráneo al Pacífico*, s.l., s.d.
- TAYLOR, E.G.R., *The Haven-Finding Art: A History of Navigation from Odysseus to Captain Cook*, London, 1959.
- TAYLOR, E.G.R. en RICHEY, M.W., *The Geometrical Seaman. A Book of Early Nautical Instruments*, Londen, 1962.
- TURNER, A.J., *Early Scientific Instruments. Europe 1400-1800*, Londen, 1987.
- WATERS, D.W., *The Art of Navigation in Elizabethan and Early Stuart Times*, Londen, 1958.

## ABSTRACT

### **Survey of most important instruments of navigation until the chronometer being used.**

This essay presents a survey of the most important instruments for navigation. Up to the middle ages, only few instruments were used ; the empirical knowledge of winds, currents, stars and the shape of the coastline was sufficient for seamen. The compass makes its first appearance in Europe towards the end of the thirteenth century, almost together with the Portulan charts.

The real challenge occurred when, early in the 15th century, the Portuguese sailed southwards down the African coastline, and when the Spaniards crossed the Atlantic in 1492. The fact that Columbus assumed his point of arrival in India, clearly illustrates that the available instruments and maps were insufficient for crossing the oceans.

The instruments devised from then onwards share the same point of departure : to establish one's latitude by measuring the angle between a celestial body and the horizon. Subsequent instruments were the quadrant, nocturnal, mariner's astrolabe and the nautical ring. They are all designed with a graduated circle on top of which moves a lineal or string. Another type of instrument was the Jacob staff.

The sixteenth century is a moment of change because of the systematic foundation of navigation schools and a better usage of the compass in combination with increasingly improved sea maps. The Mercator projection further allowed the construction of accurate maps.

From then onwards navigation becomes a mathematical exercise, so that the sector was devised to simplify the many calculations.

The essay terminates with the finding of the longitude. In order to solve this enigma, two different avenues were explored, which both stimulated the emergence of new instruments. The so-called reflection instruments on one side (octant, sextant, Borda circle) and the marine chronometers on the other side.