

50 JAAR MAANLANDING



Vlaamse
overheid



VLAAMSE
VOLKSSTERRENWACHTEN

Inleiding

Een halve eeuw geleden zette Neil Armstrong voet op de maan. In totaal twaalf astronauten zouden op onze naaste buur rondwandelen. De eerste maanlanding hield heel de wereld aan het tv-toestel gekluisterd, de laatste vlucht kreeg nog amper aandacht.

Na vijftig jaar is het zeker de moeite om eens terug te kijken op het Apollo-programma. Amerika deed met ruimtevaartprogramma's zoals Mercury en Gemini ervaring op qua bemande ruimtevaart. Apollo zette de kers op de taart.

Over het Apollo-programma zijn al vele boeken geschreven en zullen er nog vele geschreven worden. Deze brochure is bedoeld als introductie op het hele verhaal, een kennismaking met raket en capsule, een gids langs het traject van de aarde naar de maan en terug. Maar ook een beknopte kennismaking met het onderzoek en de resultaten.

Vlaamse Volkssterrenwachten

We choose to go to the moon

"We choose to go to the moon". Het zijn de legendarische woorden die de Amerikaanse president Kennedy uitsprak in 1962. Zeven jaar later zette Neil Armstrong daadwerkelijk voet op de maan.

De woorden van Kennedy zijn dan ook niet zomaar een zoveelste oneliner of borstklopperij. Het zijn woorden die getuigen van een diep geloof in het menselijk vernuft. Het is de kracht om alles wat we ons kunnen verbeelden, ook écht te doen als we er hard genoeg in geloven, voor werken en blijven zoeken naar oplossingen.

Dat de maanlanding tot vandaag tot de verbeelding blijft spreken, hoeft geen verwondering. Het is zondermeer één van de strafste menselijke prestaties uit de geschiedenis: het verlaten van de eigen wereld en een vlag te planten op een hele nieuwe plek in het universum.

De maanreis heeft dan ook duizenden mensen geïnspireerd om te kiezen voor wetenschap en techniek en nog veel meer mensen laten dromen van nieuwe horizonten. Ze heeft generaties doordrongen van het geloof in menselijk kunnen.

"We kiezen ervoor om naar de maan te gaan, niet omdat dat gemakkelijk is, maar omdat het moeilijk is," zo besloot Kennedy. Het is ook vandaag nog een oproep aan ieder van ons: durf jezelf uitdagen, durf je grenzen verleggen.

Philippe Muyters

Vlaams minister van Werk,
Economie, Sport en Innovatie

Hilde Crevits

Vlaams minister
van Onderwijs



Saturnus V – Een gigantische raket

Dertien keer werd deze iconische raket gelanceerd.

De Saturnus V is nog altijd de grootste, de zwaarste en meest krachtige raket die ooit is gebruikt.

Een raket naar de ruimte

Hier op aarde kennen we heel wat toepassingen met verbrandingsmotoren. Denk maar aan een automotor. Deze verbrandt bijvoorbeeld benzine. Dat verbranden kan niet zonder zuurstof. Een brandende kaars waar je een omgekeerd glas over zet, stopt ook met branden van zodra de zuurstof in het glas is opgebruikt.

Vanaf een bepaalde hoogte (10 à 15 km) is er onvoldoende lucht om een verbrandingsmotor te laten werken. Wil je dus een raket naar de ruimte sturen, dan moet je niet alleen brandstof aan boord hebben, maar ook een verbrandingsmiddel. De eerste trap van een Saturnus V werkte op RP-1 (de ruimtevaartversie van kerosine) en vloeibare zuurstof. De tweede en derde trap werkten op vloeibare waterstof en vloeibare zuurstof.



De ontsnappingssnelheid

Om een voorwerp in de ruimte te brengen, moet je het een minimale snelheid meegeven. In geval van de aarde minstens 7,8 km/s. Vandaar dat het ISS met een snelheid van 28 000 km/h rond de aarde draait.

Om een voorwerp richting maan te sturen, moet het ontsnappen aan de zwaartekracht van de aarde. Op aarde is de ontsnappingssnelheid 11,2 km/s.

De ontsnappingssnelheid voor een hemellichaam is de minimale snelheid waarmee een niet-aangedreven voorwerp van dat hemellichaam wordt weggeschoten, zodat de afstand tot dat hemellichaam oneindig nadert en dus niet meer naar dat hemellichaam terugvalt. "Minimale snelheid" is de limiet waarop het voorwerp als snelheid nul heeft. Let wel, we gaan uit van ideale omstandigheden, zonder wrijving of andere invloeden.

Positie 1 is de startpositie op aarde en v_1 is de ontsnappingssnelheid. Positie 2 is oneindig ver waar de snelheid van het voorwerp nul is. Aangezien door behoud van energie de energie op beide posities dezelfde is, en energie gelijk is aan de som van de kinetische en potentiële energie, krijg je het volgende:

$$E_{\text{mech}} = \text{constant} \rightarrow E_{\text{mech},1} = E_{\text{mech},2}$$

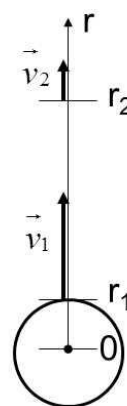
$$\Leftrightarrow E_{\text{kin},1} + E_{\text{grav,pot},1} = E_{\text{kin},2} + E_{\text{grav,pot},2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{GM_A m}{r_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{GM_A m}{r_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{GM_A m}{R_A} = 0 + 0 = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{GM_A m}{R_A}$$

$$\Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2GM_A}{R_A}} \approx 11,2 \text{ ms}^{-1} \approx 40\,320 \text{ km h}^{-1}$$



G is de gravitatieconstante: $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

De formule is ook van toepassing op andere hemellichamen (bv. de maan).

Spierballengerol of krachtige raket echt nodig?

Met Apollo moest de mens op de maan landen en er nadien weer opstijgen. Daarvoor was niet alleen een maanlander, maar ook voldoende brandstof nodig. Het ging natuurlijk om meer dan een lander alleen. Er moest ook allerlei materiaal en uiteraard een bemanning mee naar het oppervlak.

In het Apollo-programma zou men twee mannen op de maan laten landen, in de Russische plannen was slechts één man op de maan voorzien. De Amerikanen moesten zich dus vanzelfsprekend voorbereiden op extra massa die moest landen en weer opstijgen. Dit vereiste op zich dan weer een krachtigere raket en meer brandstof.

Verder had je tijdens de heen- en terugreis een grotere capsule nodig als verblijfplaats voor de astronauten. En die capsule (of een gedeelte daarvan) moest ook in staat zijn om de astronauten veilig te laten landen op aarde. De capsule moest voorzien worden van zuurstof, water, brandstof en voedsel en in staat zijn heel wat ander materiaal mee te voeren.

Alle massa die dit met zich meebracht, moest vervolgens vanuit een aardbaan richting maan gestuwd worden. Anders gezegd, het moest uit het zwaartekrachtsveld van de aarde geraken. En dus sneller gaan dan de ontsnappingssnelheid. Daar heb je een extra rakettrap voor nodig (motor én brandstof).

Alle bovengenoemde onderdelen moesten om te beginnen natuurlijk eerst in een baan om de aarde gebracht worden. Het spreekt voor zich dat er nood was aan een gigantische raket zoals de Saturnus V.

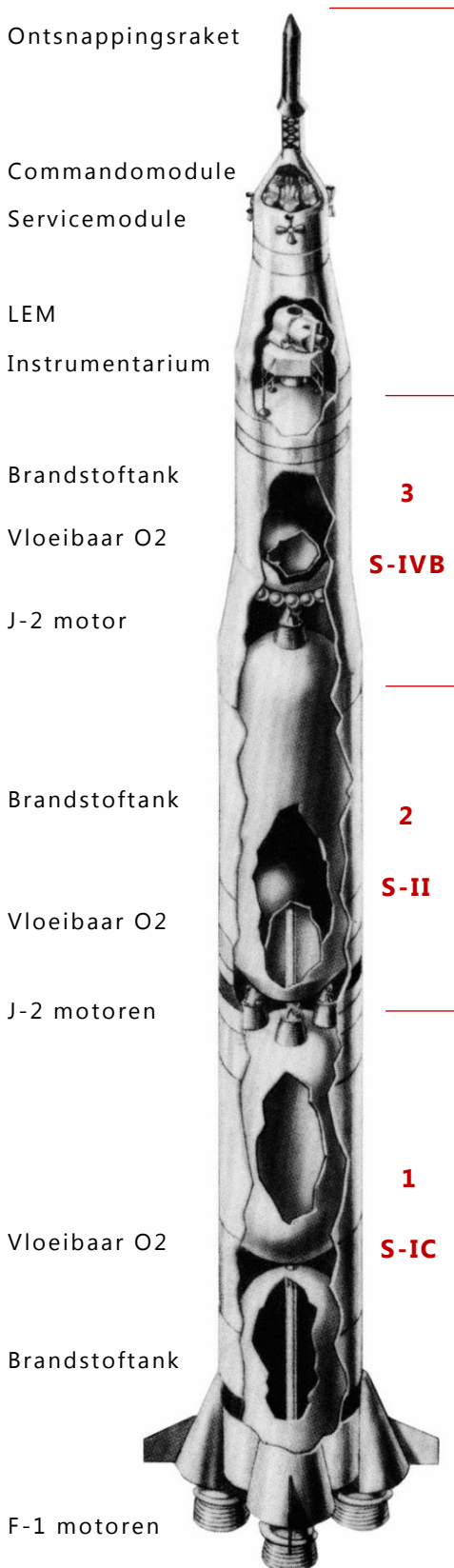
Saturnus V: technische fiche

De raket werd ontwikkeld door Wernher von Braun en zijn team, als opvolger van de Jupiter-raket. Aangezien de planeet Saturnus volgt op Jupiter was de naam snel gekozen. Oorspronkelijk zou er een hele reeks raketten ontwikkeld worden, maar uiteindelijk werden alleen de Saturnus I, Saturnus IB en Saturnus V weerhouden. NASA gaf in januari 1962 groen licht om de raket te ontwikkelen. Een jaar later zou de raket zijn officiële naam krijgen. De Saturnus V werd tegelijkertijd officieel bevestigd als raket voor het Apollo-programma.

“ *De Saturnus V kan bogen op enkele indrukwekkende cijfers:*

De raket had een maximale diameter van 10 meter en was 111 meter hoog. Ter vergelijking, de kathedraal van Antwerpen is 125 meter hoog. Volledig met brandstof gevuld woog het geheel 2 950 000 kg.

De raket was een klassieke drietrapsraket. Anders gezegd, de raket was een opeenstapeling van drie aparte raketten (of trappen). Als de brandstof in de eerste trap is opgebruikt, wordt bij een dergelijke raket de eerste trap afgegooid. Het heeft immers geen zin om al die nutteloze massa mee omhoog te zeulen. Na de eerste trap wordt de tweede trap geactiveerd. Is die op zijn beurt leeg, wordt ook deze afgegooid en de derde trap brengt vervolgens de nuttige lading in een baan om de aarde.



De derde en laatste trap (S-IVB) had slechts één motor, eveneens een J-2. De trap was 17,81 meter hoog en had een diameter van 6,6 meter. De lege trap woog 10 000 kg, gevuld was dat 119 000 kg. Het grote voordeel was dat de motor één keer herstart kon worden. Een eerste keer zorgde de motor er voor dat de derde trap samen met de capsule in een baan om de aarde terechtkwam. Op het juiste moment werd de motor een tweede keer ontstoken zodat de capsule mét maanlander richting maan gestuurd werd (en dus aan de zwaartekracht van de aarde ontsnapte).

De tweede trap (S-II) had eveneens vijf motoren, de J-2. De trap maakte gebruik van vloeibare waterstof en vloeibare zuurstof. De trap was 24,87 meter hoog, had een droog gewicht van 36 000 kg. Met brandstof was dat 480 900 kg.

De eerste trap (S-IC) maakte gebruik van vijf F-1 motoren. Als brandstof werd RP-1 gebruikt (RP – Rocket Propellant of Refined Petroleum), kortweg kerosine voor raketten. Als verbrandingsmiddel werd beroep gedaan op vloeibare zuurstof. De trap was 42 meter hoog, had een droog gewicht van 131 000 kg. Met brandstof was dat 2 280 000 kg

De astronauten van Apollo 11

Neil Armstrong, Michael Collins en Edwin "Buzz" Aldrin vormden de bemanning van Apollo 11. Collins was de Command Module Pilot. Dat betekende dat, bij aankomst rond de maan, hij in de Apollo-capsule moest achterblijven terwijl de twee anderen met de Lunar Module naar het maanoppervlak afdaalden. Lunar Module Pilot was Aldrin, commandant was Armstrong.

Deze bemanning was niet voorbestemd om de eerste maanlanding uit te voeren. Enkele astronauten stierven bij vliegtuigcrashes, en er was de brand geweest met de Apollo 1-capsule tijdens training. Hierbij kwamen de drie bemanningsleden om het leven. Sommige astronauten moesten operaties ondergaan waardoor ze in latere vluchten terechtkwamen. En soms werd de planning van de vluchten gewoon door elkaar gegooid. Het "toeval" heeft dus zeker bijgedragen tot de uiteindelijke selectie.



Neil Armstong (1930 – 2012)

De drie bemanningsleden behoorden niet tot de eerste groep astronauten, de zgn. Mercury 7. Armstrong maakte deel uit van de tweede groep, geselecteerd in 1962. Hij had niet zoveel vliegreuren als vele andere astronauten, maar hij had wel 7 vluchten uitgevoerd met de X-15, een raketvliegtuig uit het begin van de jaren 1960.

Zijn eerste ruimtevlucht was als commandant van Gemini 8 in maart 1966. Samen met astronaut David Scott koppelde hij zijn capsule aan een onbemande Agena, maar dat leek fout af te lopen toen de twee gekoppelde ruimtetuigen plots wild begonnen rond te draaien. Armstrong slaagde er in de Gemini-capsule weer te ontkoppelen en het ruimtetuig onder controle te krijgen.

Als trainingstoestel voor de maanlanding had men bij de NASA de LLRV ontwikkeld. De Lunar Landing Research Vehicle was een wat vreemd uitziend toestel met één astronaut aan boord waarmee op aarde onder gelijkaardige omstandigheden als op de maan de landing kon gesimuleerd worden. In mei 1968 liep het bij één van die testen fout en Armstrong moest zijn schietstoel

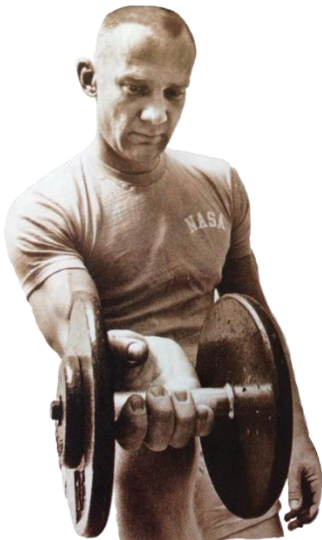
op 60 meter hoogte in werking stellen, waarbij hij ternauwernood aan de dood ontsnapte.

Na Apollo 11 zou Armstrong in 1971 ontslag nemen bij de NASA. De volgende jaren zou hij o.a. les geven op de University of Cincinnati. En hoewel hij veel gevraagd werd, probeerde hij toch zoveel als mogelijk uit de belangstelling te blijven.

Neil Armstrong stierf op 82 jarige leeftijd in augustus 2012.



Edwin “Buzz” Aldrin (°1930)



Aldrin maakte deel uit van de derde groep van astronauten, gekozen in oktober 1963. Hij was de eerste astronaut die een doctoraat haalde. Zijn thesis ging over rendez-vous technieken bij ruimteschepen. Het leverde hem de bijnaam “Dr. Rendezvous” op. Zijn eerste ruimtevlucht was aan boord van Gemini 12. Hij deed toen een ruimtewandeling van meer dan 5 uur.

Na Apollo 11 verliet hij NASA in 1971. Nadien worstelde hij enige tijd met depressies en alcoholisme. De voorbije jaren heeft hij zich vaak positief uitgelaten over bemande reizen naar Mars.

Michael Collins (°1930)



Collins (geboren in Italië) maakte net als Aldrin deel uit van de derde groep NASA-astronauten. Zijn eerste ruimtevlucht was de vlucht van Gemini 10. Tijdens die vlucht werd hij de eerste Amerikaan die twee ruimtewandelingen deed.

Hij verliet NASA in 1970. Hij werd o.a. directeur van het National Air and Space Museum. Later startte hij zijn eigen consultancyfirma.

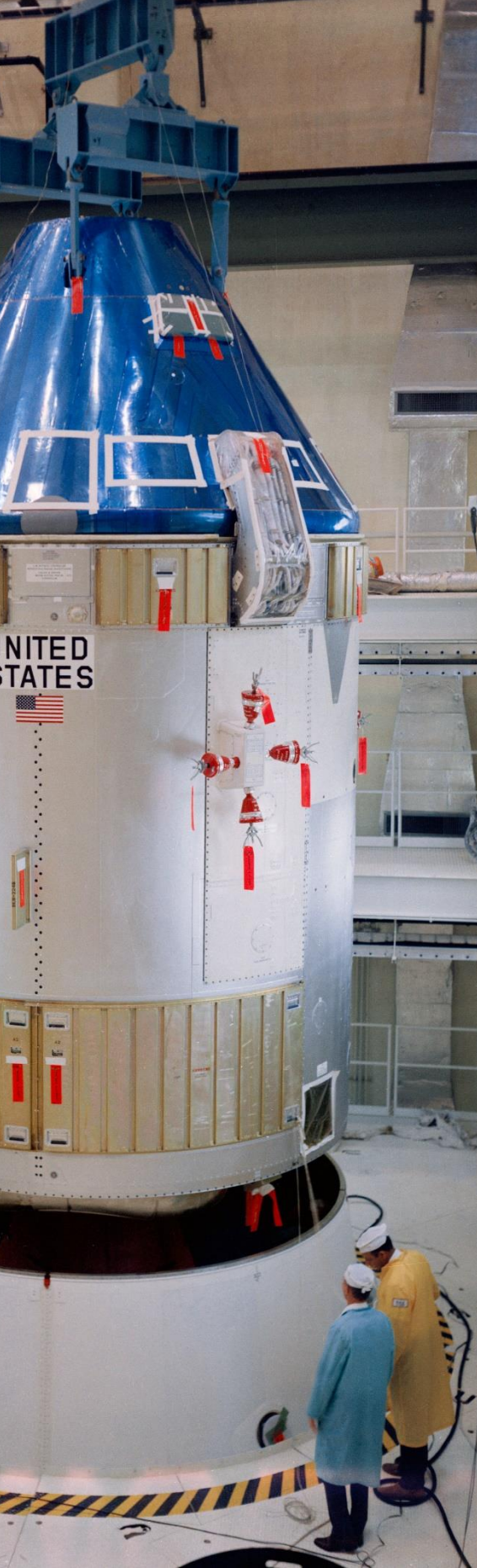
De Apollo-capsule en de lander

De Saturnus V bracht eigenlijk niet één maar twee ruimtetuigen in de ruimte: de eigenlijke Apollo-capsule en de maanlander. Apollo bestond uit twee delen: de Command Module (CM) en de Service Module (SM), samen CSM. De maanlander was de Lunar Module (LM). Oorspronkelijk was dat de Lunar Excursion Module (LEM). Maar bij de NASA vonden ze het woordje "excursie" een beetje te frivol klinken. LEM werd dus gewoon LM.

Command Module (CM)

De Command Module was het afgeknotte kegelvormige deel van de Apollo-capsule. Het was de verblijfplaats van de drie astronauten, zowel tijdens de lancering, de vlucht als de terugkeer naar de aarde. Onderaan de CM was het hitteschild terug te vinden om de bemanning tegen de wrijvingswarmte te beschermen bij de terugkeer in de dampkring. Met zijn 3,23 meter hoogte en de 3,91 meter in diameter leek de capsule niet echt groot, maar in vergelijking met Mercury en Gemini hadden de astronauten "zeeën" van ruimte. Tussen haakjes, dat was ook de reden dat vele Apollo-astronauten ruimteziek werden. Aangezien ze meer ruimte hadden, bewogen ze ook meer dan tijdens Mercury- en Gemini-vluchten. En in een gewichtloze omgeving raakt het menselijk evenwichtsorgaan sneller van slag. Met alle misselijke gevolgen van dien.





Service Module (SM)

De Service Module was het grote cilindervormige stuk achter de CM. Dit deel was 7,46 meter lang, met een diameter van 3,91 m.

Onderaan bevond zich de uitlaat van het Space Propulsion System (SPS). Centraal in de cilinder was er een tunnel voorzien (1,1 meter in diameter) met daarrond zes sectoren. In die sectoren bevonden zich o.a. de brandstof voor het SPS, maar ook dingen zoals zuurstof, water,

Het SPS diende om Apollo in een baan om de maan te brengen alsook om ze er weer uit te krijgen. Belangrijke koerscorrecties gebeurden ook met het SPS. Kleine baancorrecties en de standregeling werden uitgevoerd door het Reaction Control System (RCS). Dat bestond uit vier clusters van telkens vier kleinere raketjes.

De Service Module zou net voor de terugkeer in de dampkring door de Command Module afgestoten worden wegens niet meer nodig.

Lunar Module (LM)

De Lunar Module was een volledig apart ruimtetuig. Het was qua uitzicht een raar ding: gekke vormen, en helemaal niet aerodynamisch. Het was dan ook ontwikkeld om gebruikt te worden in het vacuüm van de ruimte en op de maan. De LM zat het grootste gedeelte van de reis vastgekoppeld aan de Apollo CSM.

Het bestond uit twee delen: onderaan de Descent Stage (de daaltrap) en daarboven de Ascent Stage (de stijgtrap). Dat laatste was ook het gedeelte waar de twee astronauten verbleven. Niet dat ze veel plaats hadden. Er was zelfs geen zetel aanwezig, enkel een soort harnas.

De Descent Stage zorgde er enerzijds voor dat de maanlander uit zijn maanbaan kwam. Naar het einde van de afdaling toe werd de motor gebruikt om de snelheid verder af te remmen en uiteindelijk zacht te landen. Na de maanwandeling(en) werd de Descent Stage achtergelaten op het maanoppervlak. Het deed dienst als lanceerplatform terwijl de Ascent Stage zijn motor ontstak om de twee ruimtevaarders weer terug in een baan om de maan te brengen, op weg naar de Apollo CSM.



Naar de maan – Stap voor stap

Een vlucht naar de maan staat bol van belangrijke momenten. Momenten ook waar er niets mag mislopen. Op basis van de vlucht van Apollo 11 maken we kennis met die verschillende stappen.

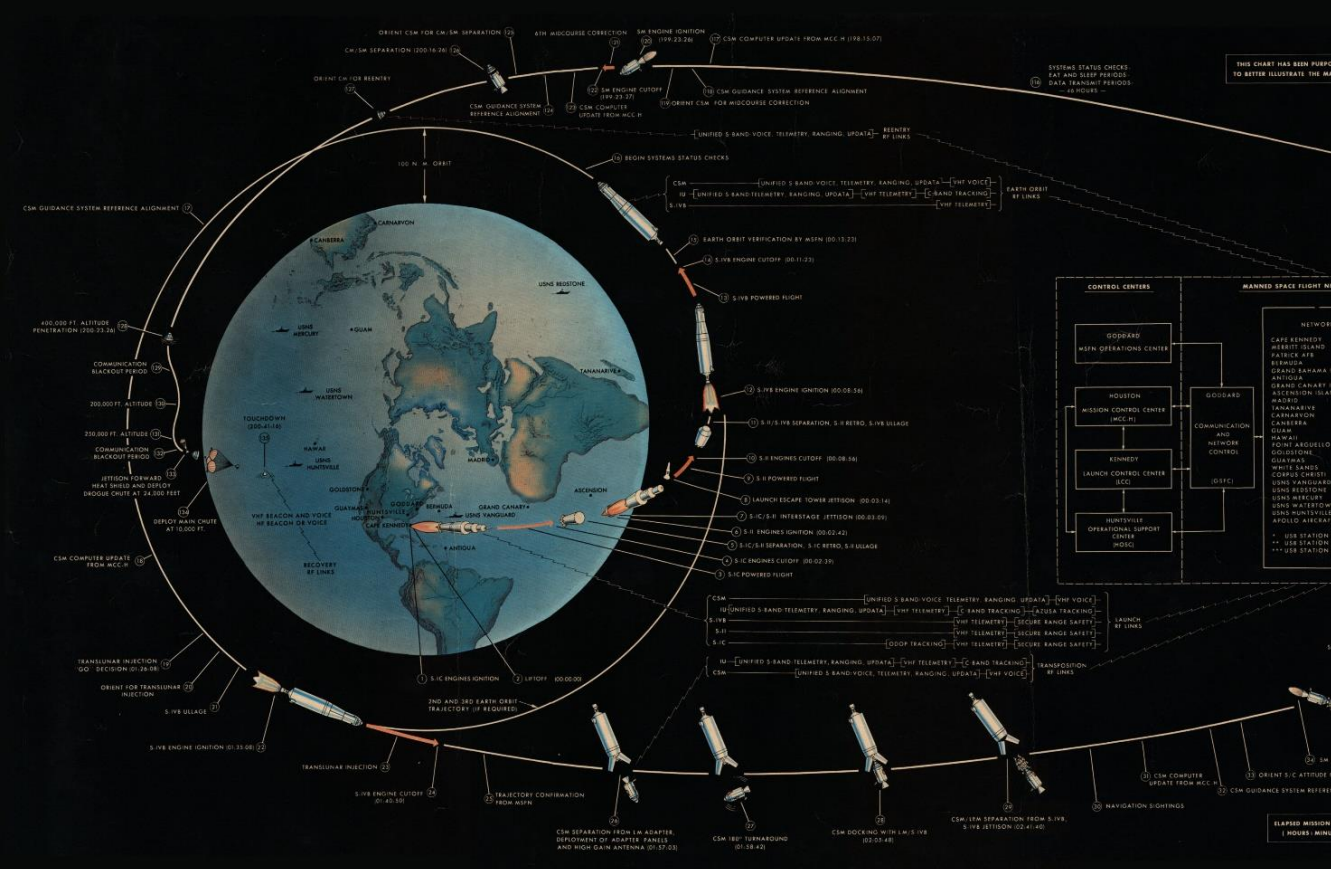
Lift-off

Wie er getuige van was, zal het zonder aarzelen beamen: de lancering van een Saturnus V was de meest indrukwekkende lancering die tot op vandaag te ervaren was. De traag opstijgende raket, de vuurgloed maar vooral het oorverdovende gebulder van de vijf motoren van die eerste trap. Voor de astronauten die zich honderd meter boven de motoren bevonden, was het evenzo een indrukwekkend gebeuren. Toen in december 1968 voor het eerst een bemanning met een Saturnus V werd gelanceerd (Apollo 8) dachten de astronauten al na enkele seconden dat het fout liep. Zelfs de ergste simulatie had hen niet voorbereid op de beproeving van getril, geschud en gedonder.

De astronauten van Apollo 11 waren dus wat beter voorbereid toen op 16 juli 1969 om 14u32 onze tijd de Saturnus V zich naar boven hees.

Al na 2m 41s was de brandstof in de eerste trap op en werden de motoren stilgelegd. De eerste trap scheidde zich af en de motoren van de tweede trap werden op hun beurt gestart.

Na 9m 8s was het de beurt aan die tweede trap om de motoren stil te leggen en zich af te scheiden van de derde trap. De S-IVB vervolgde de weg naar boven en na 7m 27s werd ook hier de motor stilgelegd.

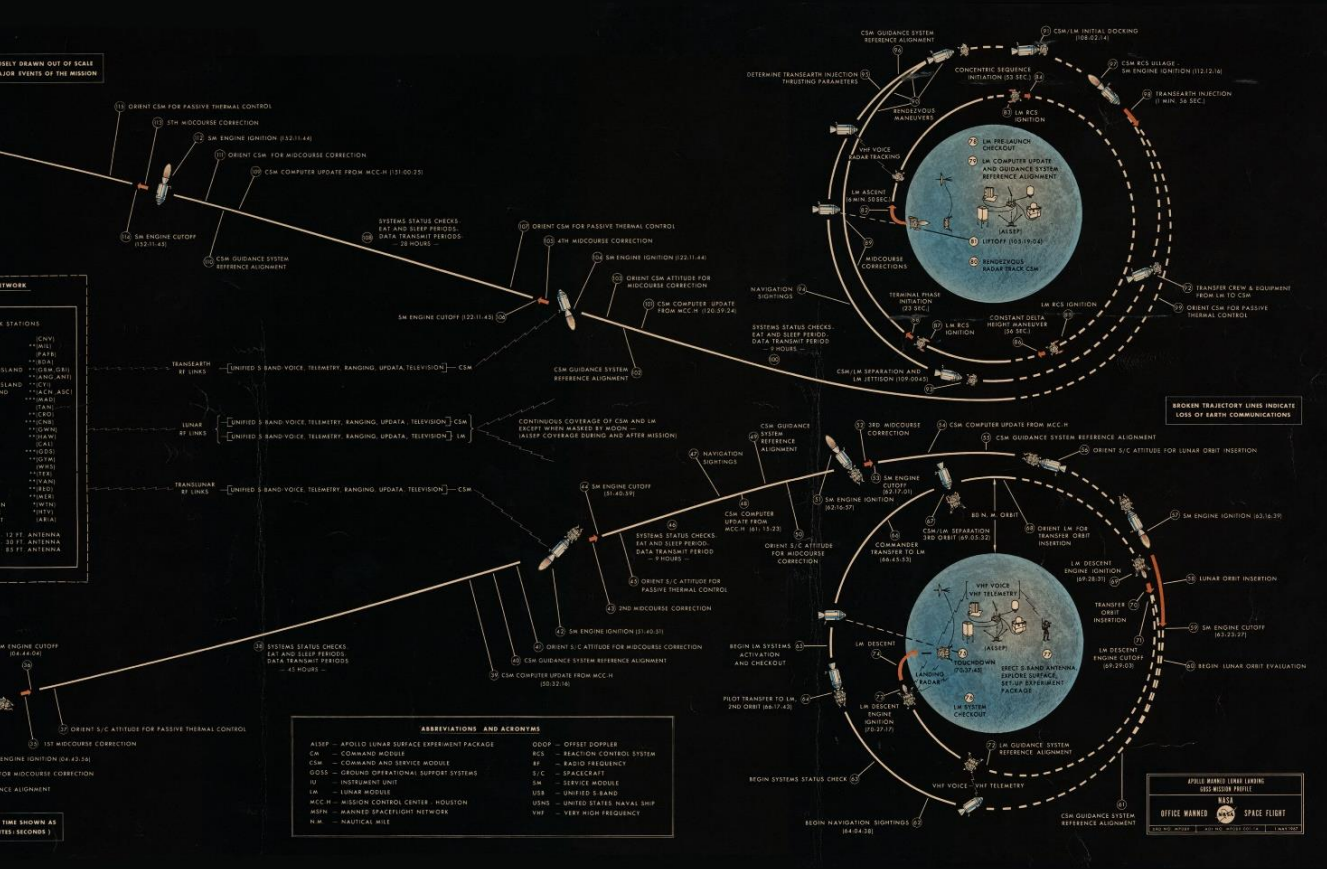


Earth Orbit Insertion – EOI

Nu brak een belangrijk moment aan. De vluchtleiding (het Mission Control Center in Houston) evalueerde de eerste baanparameters. De raket deed haar werk zo goed als perfect, de gewenste baan werd bereikt en de astronauten moesten de vlucht dus niet afbreken.

De bereikte baan was een lage ellipsvormige baan, met een apogeum (punt het verst van de aarde) van een 186 km, en een perigeum (punt het dichtst bij de aarde) van 182 km. De omlooptijd bedroeg 88,18 minuten.

De astronauten kregen ongeveer anderhalve omloop de tijd om na te gaan of alles in orde was met de capsule. Als dat effectief zo was, mochten ze naar de maan vertrekken.



Translunar Insertion - TLI

2u 44m na lift-off was het tijd om de derde trap een tweede keer te gebruiken.

De motor werd gestart en moest gedurende 347 seconden branden. Apollo moest snel genoeg gaan om aan de zwaartekracht van de aarde te ontsnappen. Mocht de motor vroegtijdig stilvallen, was de kans groot dat de reis naar de maan diende afgebroken te worden.

Maar alles verliep naar wens. Apollo 11 (nog steeds met de derde trap) was op weg naar de maan.

Translunar Coast

Maar de astronauten kregen nog geen rust. Na een vlucht van 3u 15m ontkoppelde de CSM zich van de derde trap. Door gebruik te maken van de stuurraketjes (het RCS) draaide de capsule zich 180 graden en bewoog ze langzaam terug in de richting van die derde trap waar de maanlander zich nog bevond. De CSM koppelde zich met de LM en trok deze laatste uit de derde trap (4u 17m in de vlucht). Opnieuw werd 180 graden gedraaid en met een kleine koerscorrectie nam men afscheid van de derde trap. Die kreeg de opdracht al zijn brandstof te dumpen.

De rakettrap zelf zou de maan ontwijken en in een baan om de zon terechtkomen. Bij latere vluchten zou men de derde trap op de maan laten crashen. De ondertussen geïnstalleerde seismometers op het maanoppervlak konden dan deze kunstmatige beving registreren.

Voor Apollo 11 verliep het traject richting maan vrijwel perfect. Onderweg werd dan ook maar één kleine baancorrectie uitgevoerd.

De capsule draaide ondertussen rond zijn lengteas wat ervoor zorgde dat de capsule gelijkmatig door de zon beschenen werd. Doet men dit niet, dan wordt de ene kant heel warm, de andere kant heel koud. De ontstane spanningen ten gevolge van die grote temperatuurverschillen kunnen de capsule ernstig beschadigen.

De tocht naar de maan duurde een drietal dagen. De astronauten controleerden regelmatig of het gevolgde traject nog juist was en dat alle systemen naar wens bleven werken. De verbinding met de maanlander werd geopend en er werd nagegaan of alle systemen in orde waren.

Tussendoor was er ook tijd voor enkele tv-uitzendingen. De kijkers op aarde konden live kennismaken met het leven aan boord, de capsule en de maanlander. Na 75u 50m werd het tijd voor het volgende belangrijke moment.

Lunar Orbit Insertion – LOI

LOI is het moment dat de motor van de Apollo-capsule, het SPS, ontstoken moest worden voor 357,53 seconden. De snelheid van de capsule werd dan zodanig verminderd dat de zwaartekracht van de maan Apollo in zijn zwaartekrachtveld kon invangen. Ook hier liep alles perfect en na een oversteek van 73u 5m van de aarde naar de maan draaiden Armstrong, Aldrin en Collins in een baan rond onze natuurlijke satelliet.

Lunar Orbit

Tijdens de tweede omloop rond de maan kregen de kijkers thuis een tweede rechtstreekse tv-uitzending in kleur, met spectaculaire zichten van het maanoppervlak in het algemeen en het landingsgebied in het bijzonder.

Kort daarna werd het SPS weer geactiveerd, deze keer voor slechts 17 seconden. De baan rond de maan werd nu van een ellipsvormige naar een zo goed als cirkelvormige baan aangepast. Armstrong en Collins verhuisden naar de LM voor een twee uur durende test van de maanlander. Enkele uren later verhuisden ze weer, dit keer voor een meer uitgebreide controle van alle systemen. De astronauten en de LM waren klaar voor het grote werk.

Descent Orbit Insertion – DOI

De vlucht was ondertussen 100u 12m bezig. De LM maakte zich los van het moederschip waar Collins alleen achter bleef. Collins voerde met het RCS een kleine correctie uit zodat de capsule zich wat verwijderde van de maanlander. Eén uur 24 minuten later werd de daalmotor van de maanlander een eerste keer gedurende 30 seconden ontstoken (DOI). Dat bracht de LM in een ellipsvormige baan met als laagste punt 14,4 km boven het maanoppervlak. Vanuit deze baan zou de maanlanding ingezet worden.





Powered Descent Initiation – PDI

Volgens plan werd op 102u 33m in de vlucht de motor van de daaltrap opnieuw ontstoken, deze keer voor een duurtijd van liefst 756 seconden (12m 36s). Dat gebeurde op het juiste tijdstip, maar de maanlander zat toen al 7,5 km te dicht bij het landingsgebied. Het gevolg was dat de landing niet op de gewenste plaats zou plaatshebben, maar 7,5 km verder.

Maar dat was uiteindelijk niet het grootste probleem. Want al na 5 minuten ging er voor het eerst een alarm af. De boordcomputer kon de informatie niet verwerken en gaf een data overload. Toch kon de afdaling verdergaan en gedurende de volgende vier minuten volgden nog 4 gelijkaardige alarmfases, allemaal zonder gevolg.

Het grootste gedeelte van de afdaling verliep automatisch, maar 2,5 minuten voor de landing nam Armstrong het roer in handen. Hij zag dat de maanlander op weg was naar het midden van een grote krater, waarvan de bodem bezaaid leek te zijn met grote rotsblokken. Uiteindelijk zette Armstrong de lander veilig neer, zo'n 6,9 km van het oorspronkelijk geplande landingspunt.

Dat ging niet zonder nog een extra alarm, 72 seconden voor die landing. Het was een indicatie dat de brandstof zo goed als op was. Volgens sommige bronnen zou er nog maar voor 7 seconden brandstof aanwezig geweest zijn, maar latere analyses van NASA lieten zien dat de motor nog zeker 45 seconden had kunnen werken.

Landing op de maan – De eerste stappen

Het was 20 juli 1969, 21u17m onze tijd. Apollo 11 stond veilig en wel op het maanoppervlak, in de Zee Der Stilte (Mare Tranquillitatis): "Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed". "Eagle" (arend) was de naam die de astronauten gekozen hadden voor de maanlander.

De eerste twee uur op de maan was er geen tijd om rustig door het venster naar het landschap te kijken. De astronauten moesten controleren of de LM de landing goed doorstaan had. Ze moesten verder het nodige doen om het verblijf op de maan mogelijk te maken en – zo gaat dat als de eerste spanning is geweken – er was tijd om een hapje te eten. De voorziene rustperiode was niet nodig.

Armstrong maakte zich klaar, opende het luik en kroop uit de lander. Via een laddertje aangebracht op één van de landingspoten daalde hij af naar het oppervlak, waarbij hij onderweg een tv-camera activeerde.

Op 21 juli 1969 om 3u56m was het zover: Neil Armstrong zette als eerste mens ooit een voet op de maan. "That's one small step for (a) man, one giant leap for mankind", aldus Armstrong.



De eerste maanwandeling

Bij de eerste minuten op een vreemd hemellichaam gaat men er altijd vanuit dat er op korte termijn iets kan mislopen. In het geval van Apollo kon het zijn dat door omstandigheden de bemanning snel weer moest vertrekken.

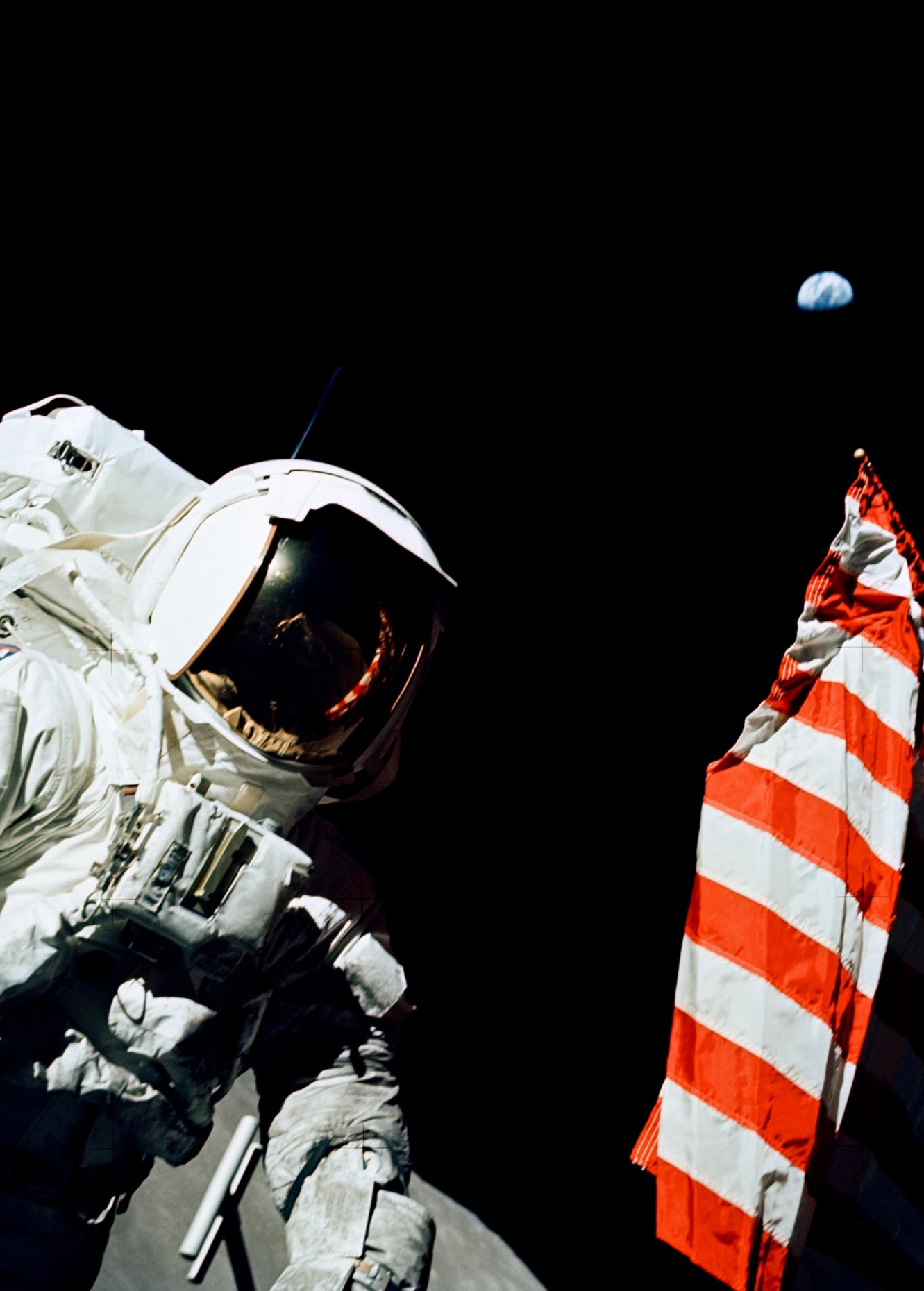
De eerste taak van Armstrong was dan ook om de omgeving te beschrijven, in eerste instantie de maanlander (geen opvallende beschadigingen) maar ook de maanbodem (hoe diep is de lander in het stof gezakt, hoe diep zijn de gemaakte voetafdrukken). Meteen daarna werd al een eerste bodemonster opgegraven. En alhoewel de bovenste laag uit los materiaal bestond, leek het al gauw veel moeilijker te zijn om dieper dan 15 cm door te dringen.

Pas dan was het tijd voor Aldrin om ook naar het maanoppervlak af te dalen. Op de landingspoot waar ook de ladder was bevestigd, werd een herdenkingsplaat onthuld: "Here men from the planet earth first set foot upon the moon. July 1969, A.D. We came in peace for all mankind."

De tv-camera op de Descent Stage werd verwijderd en op een driepoot op de maan geplaatst. Aldrin plaatste een eerste experiment op de maanbodem: een zeil voor het meten van de zonnewind. Dan was het tijd om de vlag te plaatsen. Een kort gesprek met de Amerikaanse president Richard Nixon volgde. Het was een opluchting dat beide astronauten makkelijker over het maanoppervlak bewogen dan was voorspeld.

Nieuwe bodemonsters werden verzameld. Bodemonsters op grotere diepte (15 tot 20 cm) waren enkel met veel moeite op te graven. Er volgde nog een iets grondiger inspectie van de LM. Nog twee experimenten werden geplaatst: een passieve seismometer en een laser retroreflector. Het zonnezeil werd weer opgerold en binnengehaald. En de astronauten verlieten het maanoppervlak. Het verst van de maanlander was Armstrong geweest, zo'n 60 meter tot aan de rand van een 33 meter grote krater.

De allereerste uitstap op de maan had 2u 31m geduurd.



Een eerste lancering op de maan

Na 21 uur 36 minuten op de maan werd de stijgmotor ontstoken en verlieten de astronauten het maanoppervlak (21 juli 18u54m onze tijd). Gedurende 7 minuten 15 seconden bleef die motor werken tot een initiële baan om de maan bereikt werd. Verschillende manoeuvres waren nodig om de maanlander tot bij de Apollo CSM te brengen. Gekoppeld werd er 3,5 uur na het vertrek op de maan.

Na de koppeling kon alles overgeladen worden van de maanlander naar de Command Module. Na 130u 9m in de vlucht werd de Ascent Stage van de maanlander afgegooid. Het tuig zou voor onbepaalde tijd in een baan rond de maan blijven draaien.

Trans Earth Injection

Na 135u 23m in de vlucht werd het SPS (Service Propulsion System) gebruikt, deze keer om de capsule zodanig te versnellen dat aan de zwaartekracht van de maan kon ontsnapt worden. De motor werkte gedurende 151 seconden. Na 30 maanomlopen (59u 30m) waren de astronauten weer op weg naar huis.

Transearth Coast

Wellicht het vervelendste deel van elke reis: de terugreis. De tijd werd gevuld met twee tv-uitzendingen en nog een koerscorrectie.



Splashdown

Omwille van slecht weer in de oorspronkelijk voorziene landingszone werden de plannen voor de landing licht gewijzigd. Na 194u 49m werd de Service Module afgegooid, en de Command Module met de drie astronauten volgde een automatisch terugkeerprofiel. Na een vlucht van 195u 18m kwamen de drie astronauten op 24 juli 1969 om 13u50m onze tijd weer op aarde terecht in de Stille Oceaan. Ze kwamen neer op 24 kilometer van de USS Hornet, het bergingsschip. De capsule kwam omgekeerd in het water terecht, maar opblaasbare ballonnen zorgden er voor dat na een goeie 7 minuten de capsule weer in de juiste positie kwam te liggen.

Eerst moesten de astronauten zichzelf ontsmetten, waarna ze speciale pakken aandeden om een eventuele verspreiding van maanmicroben tegen te gaan. Ze stapten over in een rubber bootje waar ze opgepikt werden door een helikopter. De Apollo-bemanning en de verzamelde maanmonsters kwamen allemaal terecht in Mobile Quarantine Facility. Deze aangepaste "caravan" werd dan getransporteerd naar het Lunar Receiving Laboratory in Houston. Op 10 augustus werd de quarantaine opgeheven. De bemanning mocht eindelijk naar huis.



Het onderzoek

Bodemmonsters verzamelen

Eén van de belangrijkste taken was het verzamelen van maangesteente. De astronauten kregen daarom een korte opleiding tot geoloog. Met de laatste vlucht (Apollo 17) zou trouwens één van de lesgevers, astronaut Schmitt, mee naar de maan vliegen. Hij werd zo de eerste (en tot nog toe) enige wetenschapper op het maanoppervlak.

Elk bodemmonster moest uiteraard apart verpakt worden. Niet alleen werd de vindplaats op een kaart aangeduid, de plek werd ook gefotografeerd, wat van belang kon zijn voor de wetenschappers die later het bodemmonster moesten analyseren.

De astronauten kregen ook allerlei hulpmateriaal mee om hen met het verzamelen van maanmateriaal te helpen. In hun ruimtepak was het niet gemakkelijk om te bukken of door de knieën te zakken. Daarom ontwikkelde NASA heel wat gereedschap, zoals een hark, een grijper en een hamer.

Bij de eerste twee maanlandingen was het nog net te doen om al het materiaal en de maanmonsters met de hand mee te sleuren. De astronauten van Apollo 14 gebruikten een Modular Equipment Transporter (MET), dat de bijnaam riksja kreeg. Het leek een goed idee, maar het karretje was een grote last voor de astronauten, zeker op geaccidenteerd terrein. Het ding hotste en botste in alle richtingen en soms was het eenvoudiger om het toestel met zijn tweeën gewoon van de bodem op te tillen.

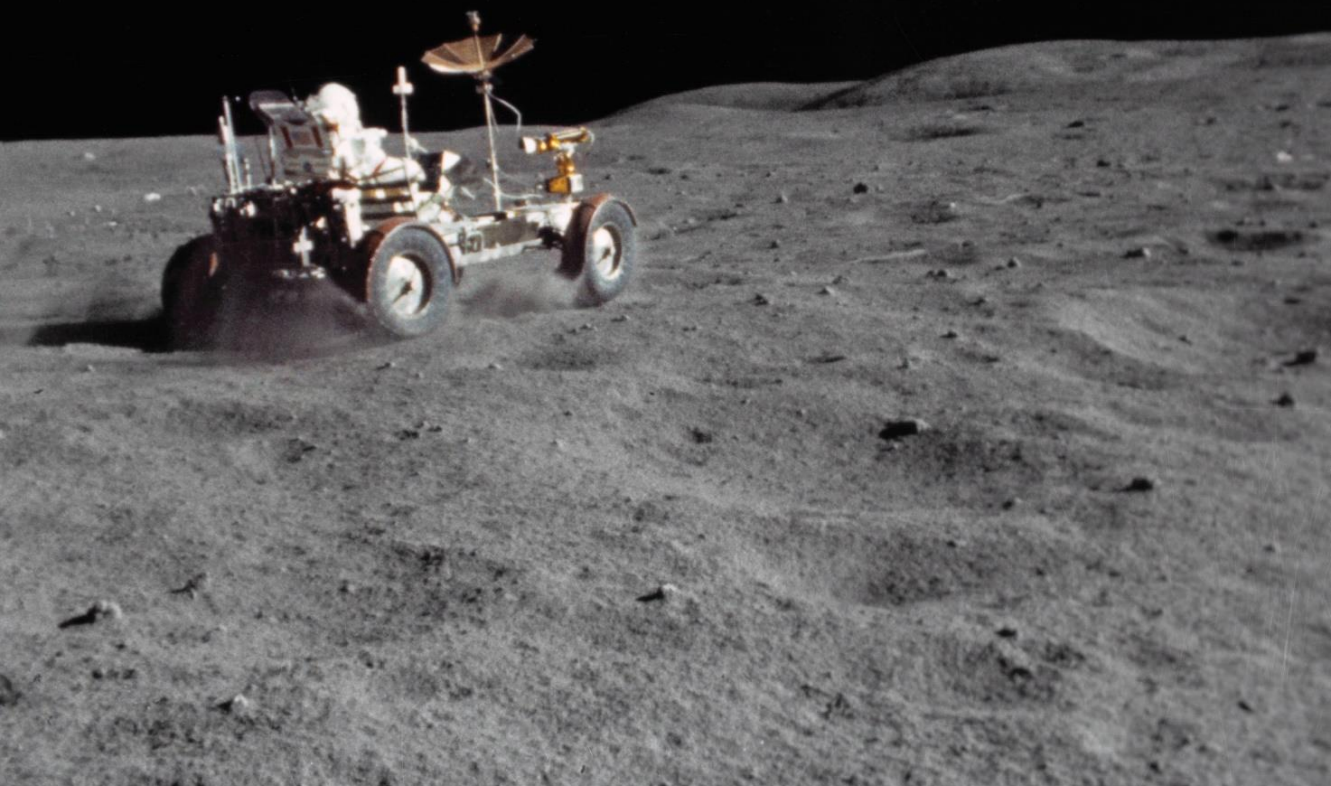


Lunar Roving Vehicle

Vanaf Apollo 15 deed de Lunar Roving Vehicle zijn intrede, een buggy om op de maan rond te rijden. Een hele vooruitgang voor de astronauten die nu veel meer afstand konden afleggen. En een pak interessanter dan de MET.

Het gebruik was wel aan een aantal voorwaarden gebonden. Mocht de buggy defect raken, moesten de astronauten nog steeds te voet naar de maanlander kunnen terugkeren. In het begin van de maan"wandeling" kon je met de auto wat verder weg, maar later op de dag nam de zuurstofvoorraad bij de astronaut af. Hoe langer de maanwandeling duurde, hoe minder zuurstof, hoe dichter je uiteindelijk bij de maanlander moest zijn.

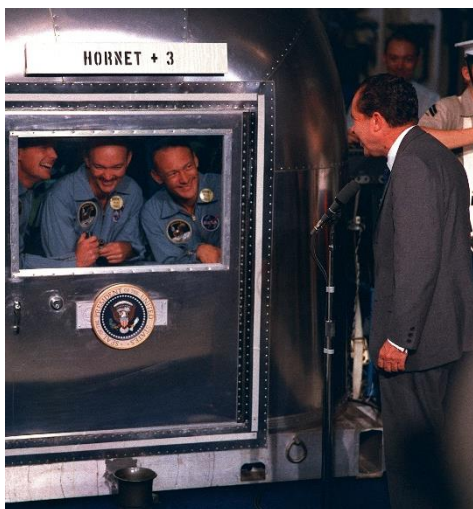
De astronauten van Apollo 17 bleven een pak langer op de maan dan de bemanning van Apollo 11. Ze verzamelden ook 5 keer meer maanmateriaal dan Armstrong en Aldrin: 110 kg voor Apollo 17, 21 kg voor Apollo 11. In totaal net geen 382 kg.



Quarantaine

Al het opgehaalde materiaal werd in aangepaste hermetisch afsluitbare containers geplaatst. Dat om ervoor te zorgen dat de bodemonsters op aarde niet “vervuild” zouden worden. Maar dat liep al eens mis. Het bekendste voorbeeld is daarbij Apollo 12. De Lunar Module landde in november 1969 op een goeie honderd meter van de meer dan twee jaar eerder gelande Surveyor 3 (april 1967). De tv-camera van de Surveyor werd door de astronauten opgehaald, ingepakt en mee naar de aarde gebracht. Bij onderzoek bleek dat er zich op de camera nog bacteriën bevonden. De conclusie was dat deze bacteriën de lancering op aarde, de tocht naar de maan en een verblijf van meer dan twee jaar op het maanoppervlak overleefd hadden. Later bleek dat niet te kloppen. Men vond beelden terug waarop duidelijk te zien was dat de betrokken onderzoekers zich helemaal niet steriel hadden ingepakt. Met andere woorden, ze waren zelf de bron van de op de camera gevonden bacteriën.

Ook werden in een aantal andere bodemonsters aminozuren gevonden. Dat zijn bouwstenen van proteïnen. Maar ook dit zou later toegeschreven worden aan een foutieve behandeling van het betrokken maanmateriaal.



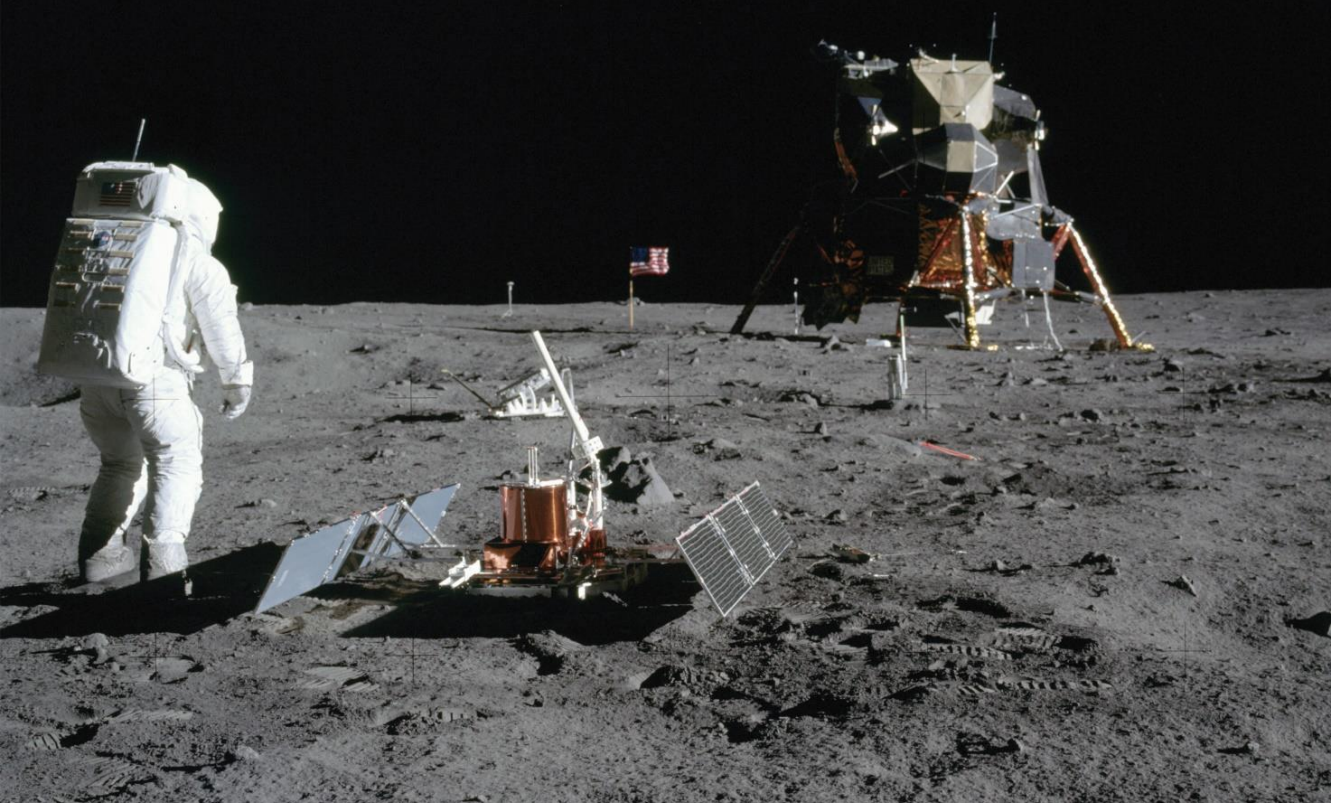
Tussen haakjes, ook de astronauten moesten bij hun terugkeer 21 dagen in quarantaine. Men wou geen risico's nemen, ook al vermoedde men dat er geen bacteriën of microben op de maan waren. En die veronderstelling bleek ook na Apollo 11, 12 en 14 correct te zijn. De astronauten waren niet besmet door één of andere vreselijke maanziekte. Latere bemanningen moesten dan ook niet meer in quarantaine.

Instrumenten op de maan

Bij de verschillende landingen werden niet altijd dezelfde instrumenten op het oppervlak geplaatst. Elke bemanning kreeg een bepaalde reeks experimenten mee, verzameld onder de naam ALSEP (Apollo Lunar Surface Experiments Package). Zo waren er seismometers om eventuele maanbevingen te kunnen meten of meteorietinslagen te detecteren. Alle Ascent Stages (op die van Apollo 11 na) liet men op de maan crashen. Ook de derde trap van de Saturnus V liet men tegen de maan knallen. Zo zorgde men zelf voor maanbevingen.

Er werd ook vaak een lang zeil op de maan gezet. Het folie moest zonnewindmateriaal verzamelen en werd dan ook mee terug naar de aarde gebracht. Ook probeerde men een aantal sondes in de grond te plaatsen om het warmteverloop in de bodem te bepalen.

Een instrument dat nu nog steeds gebruikt wordt, is de Laser Ranging RetroReflector (LRRR). Vanaf aarde wordt dan een lasersignaal naar de reflector gestuurd. De tijd die de laser nodig heeft om heen en weer te gaan geeft een nauwkeurige meting over de afstand aarde-maan.



Resultaten

De bodemmonsters

Van al het verzamelde maanmateriaal (382 kg) is nog maar een goede 16% onderzocht. Een gedeelte daarvan werd met opzet vernietigd. Het resterende maanmateriaal kan dan later met nieuwe onderzoekstechnieken voor nieuwe inzichten zorgen.

Ter vergelijking: het aantal op aarde gevonden maanmeteorieten (meer dan 300) zou een totaal gewicht van 190 kg hebben.

Een aantal bevindingen

Het belangrijkste resultaat is een beter inzicht in het ontstaan van de maan. Dat is wellicht gebeurd na de botsing van de aarde met een object ter grootte van Mars, zo'n 4,5 miljard jaar geleden. In vergelijking met de aarde bevat de maan amper ijzer en geen vluchtige elementen.

Uit de maanbodemmonsters bleek dat de hooglanden aldaar een 4,4 miljard jaar oud zijn. Een gebrek aan platentektoniek en erosie lieten deze gebieden onveranderd, op het ontstaan van kraters na.

Zo'n 4 miljard jaar geleden zorgde het "late heavy bombardment" ervoor dat grote gaten in de korst ontstonden. Die gaten werden de volgende miljoenen jaren opgevuld met lava, waardoor uiteindelijk de donkere plekken op de maan ontstonden, beter bekend als de zeeën van de maan (in het Latijn: 'mare', meervoud: 'maria'). Materiaal aldaar gevonden zou dateren van 3,16 miljard jaar geleden. Deze dateringen helpen uiteraard ook te bepalen wanneer bepaalde kraters op de maan ontstaan zijn.

De rotsen op de maan zijn grotendeels in drie groepen onder te verdelen. Vooreerst is er basalt, het donkere gestolde lavamateriaal in de "zeeën". In de oude hooglanden vind je anorthosit, rotsmateriaal als resultaat van complexe

geologische processen. Tenslotte vind je er ook breccia, rotsmateriaal dat ontstaat bij de inslag van meteorieten.

De maan is licht asymmetrisch, met het zwaartepunt niet in het midden, maar enkele kilometers richting aarde gelegen. Grote massaconcentraties ("mascons") vind je onder het oppervlak van de vele grote maanbassins.

Op de maan werden drie nieuwe mineralen ontdekt. Ze kregen namen als armalcolite, tranquillityite, en pyroxferroite. De naam 'armalcolite' is afgeleid uit de namen ARMstrong, ALdrin en COLLins.

En het onderzoek van de maan heeft tot op heden geen sporen van leven opgeleverd.

De Apollo-vluchten waren ook van belang voor het aardonderzoek. Apollo 7 en Apollo 9 waren vluchten rond de aarde. Naast heel wat andere taken werd de aarde gefotografeerd in verschillende golflengtes. Het was voorbereidend onderzoek voor wat later Landsat zou worden, een reeks van aardobservatiesatellieten.



Voetnoten beeldmateriaal

Cover – *Buzz Aldrin / Soil Mechanics Test (NASA)*

Buzz Aldrin zijn maanbot ploft in het maanoppervlak dat voornamelijk bestaat uit regoliet. Deze schijnbaar frivole foto kaderde in het “soil mechanics test” experiment. De foto moest meer duidelijkheid geven over de bodemstructuur.

P5 – *Speech van John F. Kennedy (JFK Presidential Library and Museum)*

Toenmalig president van Amerika, John F. Kennedy, houdt zijn legendarische speech in het Rice Stadium in Texas. Zijn quote: “We choose to go to the Moon,” ging recht de geschiedenisboeken in.

P6 – *Lancering van de Saturnus V (NASA)*

P10 – *Doorsnede Saturnus V raket (heroicrelics.org)*

P11 – *Apollo 11 bemanning (NASA)*

Van links naar rechts Neil Armstrong, Michael Collins en Edwin Aldrin.

P14-15 – *Apollo ruimtetuig (NASA)*

De Apollo 7-capsule voor de lancering. Met de Command Module (blauw) bovenaan en de Service Module, de grote cilinder, onderaan.

P16 – *Maanlander (NASA)*

Apollo 12 astronaut Alan Bean klimt naar beneden van de maanlander en voegt zich bij astronaut Pete Conrad op 19 november, 1969.

P18-19 – *Vluchtplan (Smithsonian National Air and Space Museum/NASA)*

Dit uitgebreide vluchtplan toont alle voornaamste fasen in de vlucht van Apollo 11 naar de Maan. Download het volledige formaat via:

<https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/5317hjpg>

P22-23 – *Buzz Aldrin (NASA)*

Buzz Aldrin staat op de laatste trede van het laddertje. Met een kleine sprong wordt hij de tweede man die voet op de maan zet.

P25 – *Voetafdruk op de maan (NASA)*

Deze foto wordt vaak gebruikt als die van de eerste stap op de maan. Maar de voetafdruk is er eentje van Aldrin in kader van het "Bootprint Penetration Experiment"

P27 – *Amerikaanse vlag (NASA)*

Astronaut Harrison Schmitt (Apollo 17) staat hier bij de Amerikaanse vlag die wijst richting aarde.

P28 – *Vertrek op de maan (NASA)*

Links - De Ascent Module van de maanlander (Apollo 17) vertrekt. De Descent Module bleef achter en deed dienst als lanceerplatform. De beelden werden gemaakt door de tv-camera van de maanrover.

Rechts - Michael Collins fotografeerde de terugkerende Ascent Stage (de stijgtrap van de Lunar Module) als deze op weg is om zich terug aan de Apollo capsule te koppelen. De donkere vlek op het maanoppervlak is Mare Smythii. Op de achtergrond zie je ook de aarde boven de maanhorizon komen.

P29 – *Splash down (NASA)*

De Apollo 14 Command Module bengelend aan drie iconische rood-wit parachutes, enkele seconden voor de splashdown.

P30 – *Maanmonsters verzamelen (NASA)*

Astronaut Pete Conrad (Apollo 12) met de Lunar Hand Tool kon hij makkelijk kleinere stenen oprapen. Merk ook op hoe de onderbenen van Conrad al met maanstof bedekt zijn.

P31 – *Rondrijden op de maan (NASA)*

De Lunar Rover Vehicle bleek een enorme verbetering te zijn voor de mobiliteit van de astronauten. De grote antenne vooraan verzorgde de verbinding met de vluchtleiding. Die konden zelf vanop aarde de tv camera bedienen.

Astronaut John Young (Apollo 16) in de eerste "Grand Prix" op de maan. Eugene Cernan (Apollo 17) zou echter de snelheidsduivel worden. Hij reed maximaal 18 km/u.

P32 – *Quarantaine (NASA)*

De Apollo 11-astronauten krijgen bezoek van president Nixon. Armstrong, Collins en Aldrin bevinden zich in de Mobile Quarantine Facility tot ze gearriveerd zijn in het Lunar Receiving Laboratory in Houston waar hun quarantaine voortgezet wordt.

P33 – *Instrumentarium (NASA)*

Buzz Aldrin is bezig met het uitzetten van een aantal instrumenten. Op de voorgrond staat de Passive Seismic Experiment Package, met daarachter de Laser Ranging Retro Reflector. Op de achtergrond zie je van rechts naar links de maanlander zelf, de Amerikaanse vlag en de tv camera.

P35 – *Fallen astronaut (NASA)*

Het beeldje "The Fallen Astronaut" werd op vraag van de Apollo 15-bemanning gemaakt door de Belgische kunstenaar Paul Van Hoeydonck.

Vlaamse Volkssterrenwachten

Armand Pien | Oost-Vlaanderen

adres Rozier 44 - 9000 Gent
contact +32 (0)92 64 36 74 - info@armandpien.be
website <http://www.armandpien.be>



Cosmodrome | Limburg

adres Planetariumweg 18/19 - 3600 Genk
contact +32 (0)89 65 55 55 - cosmodrome@genk.be
website www.cosmodrome.be



Cozmix | West-Vlaanderen

adres Zeeweg 96 - 8200 Brugge
contact +32 (0)50 39 05 66 - info@cozmix.be
website www.cozmix.be



Astrolab Iris | West-Vlaanderen

adres Verbrandemolenstraat 5 - 8902 Ieper
contact +32 (0)57 21 87 87 - info@astrolab.be
website <http://www.astrolab.be>



Mira | Vlaams-Brabant

adres Abdijstraat 22 - B-1850 Grimbergen
contact +32 (0)2 269 12 80 - info@mira.be
website <http://www.mira.be>



Urania | Antwerpen

adres Jozef Mattheessensstraat 60 - 2540 Hove
contact +32 (0)34 55 24 93 - info@urania.be
website <http://www.urania.be>

