

perpendiculaire à celui où il évolue, tout en lui conservant la même vitesse ; le vecteur de vitesse qu'il faudrait appliquer à 135° vers l'arrière serait alors $\sqrt{2}$ fois plus fort que la vitesse primitive.

L'image de l'hirondelle est donc bien exagérée : à la différence de l'oiseau qui modifie son vol presque sans dépense d'énergie, un engin spatial ne peut évoluer avec facilité. Il doit y dépenser beaucoup d'énergie, ce qui lui interdit, une fois vidés ses réservoirs pour une manœuvre, de pouvoir à nouveau modifier sa trajectoire.

Tout cela contrarie à nouveau nos idées de « rampants ». Sur Terre, les vitesses sont toujours faibles, aussi les virages n'impliquent guère de dépenses énergétiques. Il n'en est pas de même là-haut : aux énormes vitesses spatiales, tout virage exige une grande dépense de propergols pour contrarier une énorme énergie cinétique par une autre énergie cinétique s'exerçant dans une autre direction.

Mais attention ! Dans tout cela, nous avons parlé énergie et non puis-

sance. L'énergie nécessaire à une manœuvre peut être appliquée en quelques secondes par une puissante fusée, elle peut l'être durant des heures, sinon des jours, par un propulseur de faible poussée qui, en fin de compte, imposera quand même le virage voulu. Mais la question de la puissance motrice, c'est une bien autre question. Ici, nous avons voulu nous en tenir à quelques principes élémentaires de mécanique céleste.

Si l'on veut donner à ces aperçus théoriques une conclusion pratique, ce sera que tout est affaire de puissance de lancement. La manœuvrabilité exige des réserves d'énergie, lesquelles impliquent du poids, ce qui rend nécessaire de puissantes fusées de lancement.

Une fois de plus, on s'explique ainsi que l'URSS ait été bien mieux armée jusqu'ici en astronautique. Mais, du même coup, on peut comprendre que, les Etats-Unis recherchant maintenant avec la Saturne la suprématie de la puissance, l'avantage pourrait changer de camp.

T.

Science et Vie d'avril 1964 -
N° 558 -

L'UNIVERS

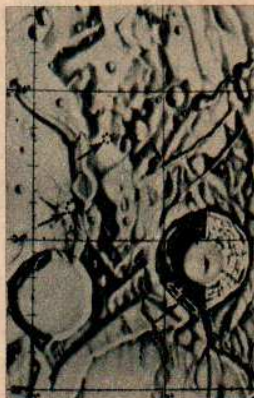
DES LUEURS ÉTRANGES SUR LA LUNE

Flagstaff (Arizona) le soir du 29 octobre 1963, peu avant la tombée de la nuit.

Deux astronomes de l'Observatoire Lowell, James A. Greenacre et Edward Barr, dont le travail de routine consiste à prendre des séries de photographies de la Lune en vue de l'établissement de la grande carte lunaire au 1 millionième de l'U.S. Air Force, venaient de pointer vers notre satellite la célèbre lunette de 60 cm d'ouverture au moyen de laquelle P. Lowell, puis E. C. Slipher, tentèrent autrefois de percer les secrets de Mars. Ils examinaient, l'œil à l'oculaire, la région tourmentée des cratères Hérodote et Aristarque et de la grande crevasse sinueuse au fond large et plat appelée vallée de Schröter. Leur intention était de comparer certains détails de cette région à ceux qui sont portés sur la carte. L'atmosphère au-dessus du désert de l'Arizona était assez agitée, rendant les images bouillonnantes, mais elle devint progressivement plus calme et

un oculaire grossissant 500 fois fut adapté à la lunette.

C'est alors — il était 18 h 50 — que l'attention de Greenacre fut attirée par deux taches lumineuses de couleur rouge orangé tout à fait insolites, situées à 45 km l'une de l'autre, sur les sommets de deux monticules voisins de l'extrémité méridionale de la vallée de Schröter. La tache la plus petite mesurait 2,7 km de diamètre, et la plus grande, de forme ovale, 2,7 km sur 9 km environ. Au cours des deux minutes suivantes, les deux taches devinrent ensemble extrêmement brillantes, et Greenacre, stupéfait, appela son collègue afin qu'il puisse à son tour observer et confirmer le phénomène. Les taches étaient toujours visibles trois minutes plus tard (c'est-à-dire à 18 h 53) lorsque Greenacre, qui avait repris l'oculaire, découvrit une troisième tache brillante, de couleur rose, recouvrant sur une vingtaine de kilomètres l'arête méridionale du rempart d'Aristarque. A 19 heures, les deux premières taches avaient perdu leur éclat



c -
initiale et leur couleur était devenue rouge rubis sombre. Dix minutes plus tard, elles avaient disparu, tandis qu'on distinguait encore faiblement la troisième tache, laquelle cessa à son tour d'être visible à 19 h 15. Aucune caméra photographique n'étant fixée à la lunette, il fut impossible d'obtenir des clichés.

UN MOIS A L'AFFUT

Vingt-huit jours plus tard, le 27 novembre 1963, la région d'Aristarque se présentait dans des conditions d'éclairage similaires et nos deux astronomes, qui n'avaient pas cessé de surveiller la Lune depuis l'observation précédente, mirent une fois de plus l'œil à l'oculaire. Leur espoir ne fut pas déçu. A 17 h 30, une tache allongée rouge rubis apparaissait, cette fois encore, sur l'arête du rempart d'Aristarque, mesurant 22 km de long. Greenacre et Barr n'étaient plus seuls : ils s'étaient fait accompagner sous la coupole par Fred Duggan et par le Dr John S. Hall, Directeur de l'Observatoire Lowell. Ce dernier, ayant constaté le phénomène, téléphona immédiatement à son collègue Peter Boyce qui disposait, à quelque distance de là, du grand télescope Perkins de 1,75 m d'ouverture, et lui signala qu'un phénomène coloré insolite était visible sur la Lune dans la région d'Aristarque, sans lui donner d'autre précision. Boyce découvrit immédiatement la tache rouge allongée et en confirma la position. Les minutes passaient et la tache était toujours visible. Des clichés en noir et blanc furent obtenus. Ce n'est qu'à 18 h 50 que la tache disparut : le phénomène avait duré 1 h ¼ !

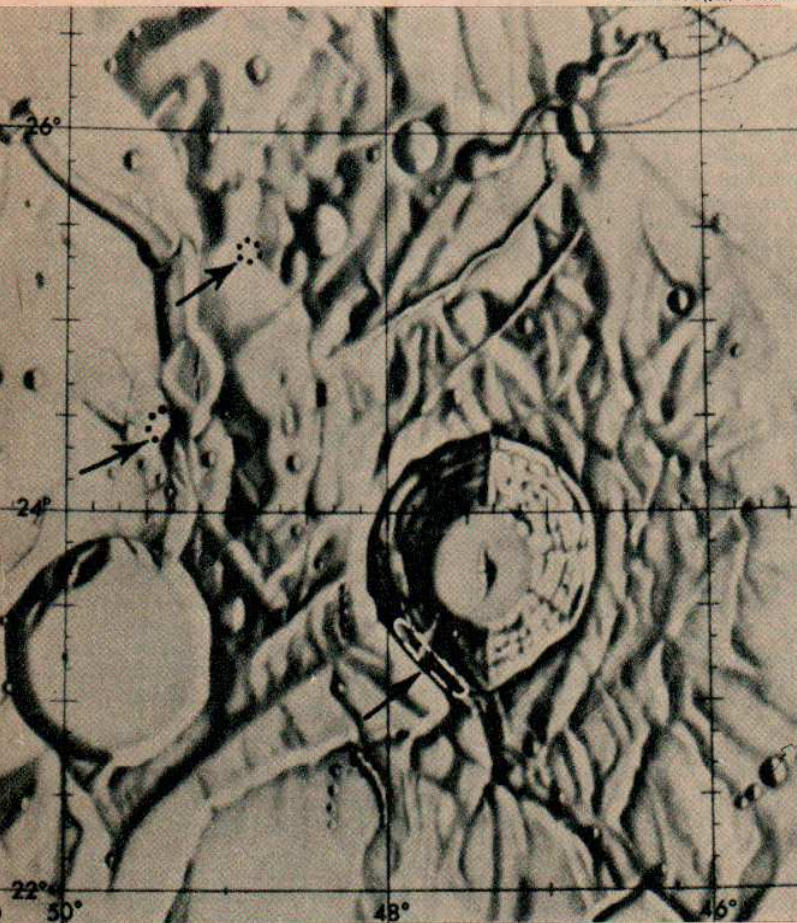
« Il n'y a pas de changement sur la Lune. » Cette vieille assertion, professée jusqu'à ces dernières années par l'immense majorité des astronomes professionnels, se révèle quelque peu erronée et il apparaît au contraire que notre satellite pourrait bien être le siège de phénomènes lumineux passagers assez fréquents. Quelle est l'origine de ces lumières ? Nul ne le sait. Est-ce le sol qui, en certains endroits, est recouvert de cristaux réfléchissant sélectivement les rayons solaires par le jeu des lois de la réfraction ? S'il en était ainsi, les taches observées auraient dû passer par les différentes couleurs de l'arc-en-ciel, et tel n'est pas le cas. S'agirait-il alors d'émissions de gaz, rendus luminescents par le rayonne-

ment ultra-violet solaire ? Un argument de poids en faveur de cette hypothèse est apporté par la célèbre observation spectrographique de Koz'yrev, dont nous parlerons en détail plus loin. Mais quelle pourrait être l'origine de ces émissions ? On a supposé qu'il s'agirait de la mise au jour de poches gazeuses occluses dans la roche lunaire, sous l'effet d'impacts météoritiques, ou encore de la volatilisation de la matière des météorites elles-mêmes. Mais par quel miracle alors le cirque d'Aristarque aurait-il été, à deux reprises, le siège de tels impacts, répartis d'ailleurs sur une bande de 20 km de longueur épousant très exactement l'arête même de ses remparts ? Ajoutons que, dans le vide (la Lune, ne l'oublions pas, ne possède aucune atmosphère), le libre parcours moyen des atomes et des molécules est infini : si une bouffée gazeuse était émise au voisinage du sol lunaire, elle se dissiperait très rapidement dans l'espace et cesserait bientôt d'être visible. Dans le cas présent, il faudrait donc admettre un renouvellement continu de l'émission des gaz pendant une durée assez longue (plusieurs dizaines de minutes) ; il faudrait admettre également que chacune des taches lumineuses était produite par plusieurs sources d'émission assez rapprochées, de façon à expliquer en particulier la forme extrêmement allongée et la grande dimension des deux lueurs observées sur Aristarque ; enfin, il faudrait supposer que ces émissions de gaz furent déclenchées, au même moment, par un même processus, puisque les trois taches lumineuses du 29 octobre 1963 présentèrent des variations d'éclat concomitantes.

Tout cela fait penser, soit à une activité interne (tectonique ou volcanique), soit encore à une action calorifique du rayonnement solaire sur le sol de la Lune, produisant un dégazage des roches après la longue nuit lunaire (il est peut-être significatif à cet égard que les quatre lueurs observées prissent naissance, aussi bien le 29 octobre que le 4 novembre, un peu moins de deux jours après le lever du Soleil sur la région d'Aristarque). Rien enfin n'empêche d'imaginer — mais ici nous tombons quelque peu dans la science-fiction — que les taches brillantes apparues aient eu une origine artificielle, témoignant de l'activité d'êtres intelligents à la surface de la Lune.

La vie n'a certainement pas pu se développer sur notre satellite, mais si une expédition d'astronautes extraterrestres venus des espaces intersi-





Voici, indiquées par les trois flèches, les lueurs observées le 29 octobre 1963 sur la Lune, dans la région d'Aristarque. Le cirque d'Aristarque, reconnaissable à ses gradins, mesure 43 km de diamètre. A gauche, légèrement plus bas, le cirque d'Hérodote, aussi large mais moins profond. La vallée de Schröter part de ce cirque, s'étendant vers le haut et s'infléchissant sur la gauche. L'élargissement qu'on observe vers le premier tiers de la vallée s'appelle la « Tête de Cobra ». Aristarque est un des endroits les plus brillants de la surface lunaire observable.

déroule explorait le système solaire, on peut supposer que ces astronautes établiraient une base sur la Lune, ne serait-ce que dans le but d'étudier la Terre à faible distance sans être repérés. Dans un récent article sur les voyages intersidéraux publié dans la revue *Planetary and Space Science*, le très sérieux astrophysicien américain Carl Sagan a froidement envisagé une telle possibilité, qui soulève cependant encore les plus grandes réserves chez la plupart des astronomes...

Comme on le voit, l'exploration de la Lune nous réservera sans doute bien des surprises. Il faut cependant se garder de croire que l'homme arrivera sur notre satellite sans rien connaître ou presque, de la nature physique du sol lunaire. Après avoir étudié, l'œil à l'oculaire, puis par la photographie, la Lune et les planètes, et émis à propos du relief lunaire plusieurs hypothèses contradictoires et invérifiables, les astronomes

du début de ce siècle se désintéressèrent de l'étude physique de la Lune, qu'ils laissèrent aux amateurs férus de paysages désolés, et se tournèrent vers de nouveaux sujets d'intérêt : le Soleil, les étoiles, les Galaxies. Il a fallu le développement récent des fusées pour que les astronomes professionnels, ou tout au moins une fraction d'entre eux, s'orientent à nouveau vers les recherches planétaires et en particulier vers l'étude de la Lune, premier objet spatial à portée de l'astronautique naissante. Et la moisson des résultats obtenus en quelques années s'avère déjà considérable, le problème ayant été abordé avec les très gros moyens de l'astrophysique moderne, tant optique que radioélectrique.

L'intérêt de ces recherches n'est pas seulement astronomique, il est également pratique : si l'on désire poser sur la Lune des sondes spatiales ou des astronefs habités, il est indispensable de connaître au préalable

la nature du terrain d'arrivée. Parmi les problèmes à résoudre, on peut citer par exemple ceux-ci : le sol lunaire est-il friable, au point de ne pouvoir supporter de façon stable un engin qui s'y poserait sans être muni de très grandes surfaces d'appui, ou au contraire ce sol est-il dur ? Quelle est, comparativement aux dimensions d'une capsule spatiale, la largeur des plus petits accidents du relief lunaire ?

Disons tout de suite que la réponse à cette dernière question est l'une de celles que l'astronomie optique se trouve dans l'incapacité de fournir. Le plus grand télescope du monde, celui de 5 mètres d'ouverture du Mont Palomar, permettrait théoriquement de voir sur la Lune des objets d'une vingtaine de mètres de large, c'est-à-dire précisément le « microrelief » de la Lune. En fait, le brouillage des images dû à l'agitation atmosphérique interdit aux plus puissants instruments d'atteindre à leur limite de séparation théorique. Tout à fait exceptionnellement, lorsque l'atmosphère est très calme, on peut distinguer à l'oculaire, sur la Lune, des objets de 150 mètres de large, et encore à la condition d'utiliser un très grand télescope. La vision obtenue est alors extraordinaire, et certaines grandes étendues lunaires, qui paraissent lisses dans un instrument d'ouverture moyenne (jusqu'à 60 cm) se révèlent alors sous un aspect complètement différent : leur surface apparaît raboteuse, parsemée de buttes minuscules, de petits cratérlets et de fines crevasses aux bords argentés et filiformes. Aucune photographie, même les meilleures qui aient jamais été obtenues (celles prises au grand télescope de 3 mètres de diamètre de l'Observatoire Lick, en Californie), ne peut donner une idée de l'aspect tourmenté en question. Mais encore faut-il remarquer que des détails de 150 mètres de large sont encore grands par rapport aux dimensions d'une capsule spatiale, et le véritable microrelief de la Lune, à l'échelle du mètre, nous reste optiquement inaccessible.

C'est précisément dans le but de s'en faire une idée que les Américains ont entrepris un programme de lancements de capsules spatiales lunaires munies de caméras. Ces capsules doivent s'écraser sur notre satellite, mais, dans les derniers moments de leur parcours, lorsqu'elles se trouvent à une faible distance du sol lunaire, au-dessus de régions que le Soleil éclaire sous une incidence rasante, elles doivent retransmettre par télé-

vision les images du microrelief de la Lune, rendu apparent par les ombres portées.

DES SOMMETS HIMALAYENS

Leur aspect a été popularisé par la reproduction des clichés de la Lune. Tout le monde connaît l'existence des cirques, des « mers » sombres (sans eau), des « continents » clairs, des chaînes de montagnes et des crevasses. Les cirques sont de toutes dimensions. Les mers apparaissent unies, à la lumière des champs de lave solidifiée ; elles sont parsemées de rides légères et striées de crevasses, lesquelles peuvent d'ailleurs s'observer également dans les régions montagneuses et traverser de part en part certains cirques. Les plus hauts sommets dépassent 8 000 mètres. Signalons enfin les auréoles blanches entourant un grand nombre de cratérlets, et les longues traînées claires, rayonnant autour de quelques grands cirques aux remparts élevés, comme Tycho et Copernic.

L'origine des cirques ne fait plus aucun doute : il s'agit de cavités creusées par l'impact de très grosses météorites, qui ont explosé, en percutant le sol, en raison de leur vitesse d'arrivée sur la Lune dépassant celle du son dans les roches. L'effet de tels impacts est absolument identique à celui de l'explosion d'obus ou de bombes, et du reste il y a continuité (rapport de la profondeur au diamètre) des trous d'obus, des cratères de bombes, des quinze cratères terrestres d'origine météoritique reconnue (1), des cratérlets lunaires et des grands cirques (tout au moins ceux qui sont bien conservés). Pour tous ces objets, le volume de la muraille circulaire correspond d'ailleurs très exactement au vide creusé à l'intérieur. La théorie météoritique est la seule qui puisse à la fois expliquer : 1) Cette continuité. 2) Le chevauchement des cirques les uns sur les autres (par ordre d'âges décroissants). 3) Les chapelets de petits cratères creusés autour de certains grands cirques par les impacts secondaires liés à l'explosion principale. 4) Les auréoles blanches et les traînées claires rayonnantes (projection à

(1) Sur la Terre, l'érosion atmosphérique très rapide n'a laissé subsister que les cirques météoritiques les plus récents, comme le Meteor Crater de l'Arizona.