TINTIN, LA PHYSIQUE ET L'ASTRONOMIE

Le texte qui suit est le résumé d'une conférence donnée à l'occasion de l'Assemblée Générale du CLEA le 25 Janvier 1987.

Pourquoi Tintin ?

La science et l'astronomie sont présentes dans les aventures de Tintin, d'abord sous les traits du professeur Toursenol (une représentation du savant sur laquelle il y aurait beaucoup à dire ...). Trois albums ont même un contenu explicitement "astronomique" : l'Etoile Mystérieuse, Objectif Lune et On a marché sur la Lune. Signalons également l'éclipse totale de Soleil qui arrive à point pour sauver tout le monde dans le Temple du Soleil. Une lecture critique de ces albums apparaît justifiée dans la mesure où l'on sait que Hergé s'attachait à l'exactitude jusque dans les détails des histoires qu'il racontait. Il faut lui rendre acte de cette volonté qui conduit à des aventures lunaires assez convaincantes quinze ans avant Neil Armstrong ! Mais on verra qu'il commet aussi des erreurs, certaines légères, d'autres beaucoup plus graves...

Je me limiterai ici à l'étude de deux albums, l'Etoile Mystérieuse et On a marché sur la Lune en commençant par ce dernier. De plus, je ne discuterai pas tous les détails de chaque histoire, me contentant de présenter quelques exemples caractéristiques. J'espère qu'ils pourront intéresser les professeurs et leurs élèves.

On a marché sur la Lune : contexte général

La fusée (dont l'aspect extérieur rappelle celui d'un V2) est propulsée par deux moteurs principaux qui fonctionnent alternativement : un premier moteur "conventionnel" de forte poussée assure uniquement le départ et l'arrivée sur Terre et sur la Lune et communique à la fusée une accélération visiblement très importante puisque l'ensemble de l'équipage perd connaissance ! Un second moteur "atomique" fonctionne pendant le reste du vol et produit une accélération de 1 g et donc une "pesanteur terrestre" dans la fusée (à la différence du vol réel des missions Apollo, où après "injection" sur une trajectoire de rencontre avec la Lune, le moteur était coupé).

On peut utiliser ces données de base pour déduire une valeur approchée de la durée du voyage Terre–Lune dans la mesure où les attractions terrestre et lunaire sont négligeables devant 1 g durant la plus grande partie du parcours, soit (ne pas oublier le retournement de la fusée à mi–chemin):

$$\tau \approx 2\sqrt{\frac{d_L}{g}} \approx 3,5 \text{ heures} \qquad (1)$$

($d_L \approx 380\ 000$ km, distance Terre–Lune).
L'expression (1) ne tient pas compte des quelques minutes de fonctionnement du moteur conventionnel pendant lesquelles l'accélération moyenne est plus forte que 1 g. Elle surestime donc (légèrement) la durée du vol.
La vitesse maximum est atteinte à mi–parcours et vaut

$$V_{max} \approx \sqrt{gd_L} \approx 62\ km.s^{-1} \qquad (2)$$

Il faut noter à cet égard que quelques indications de vitesse, de position ou de durée nous sont données par Hergé. Signalons par exemple le message annonçant la manoeuvre de retournement (Fig. 1). Celle–ci s'effectue nous dit–on une vingtaine de minutes après que la vitesse ait atteint 45 km.s^{-1}. Effectivement,

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{g} = \frac{(62-45)10^3}{10} \simeq 1700\ s \approx 28' \qquad (3)$$

Bravo Hergé !*

En voyage vers la Lune

Le premier évènement astronomique du vol est l'observation de la Terre (noter l'absence étonnante de nuages) et de la Lune (pages 4 et 5 de l'album et Fig. 2). Pleine Terre, demi–Lune, est–ce un problème ? Non, et cela nous donne même une idée de la position relative de la fusée par rapport à la Terre, la Lune et le Soleil (Fig. 3).
Par contre, la déclaration triomphante transmise du sol en haut de la page 5 (Fig. 4) est une vraie catastrophe et ce pour trois raisons. La première, la moins grave, est que la vitesse de libération depuis le sol terrestre est de 11,2 km.s^{-1} et non pas 13. La seconde est qu'à l'altitude de 10 000 km indiquée sur la page précédente elle n'est plus que de 7 km.s^{-1}. Enfin, et c'est peut–être le plus grave, il y a confusion entre vitesse de libération et disparition de l'attraction terrestre.
La scène suivante (bas de la page 5 et page 6) au cours de laquelle l'un des Dupon$_t^d$ (trouver lequel !) coupe le moteur atomique est l'une des plus

* voir également pages 55 et 56 pour d'autres exemples tout aussi significatifs

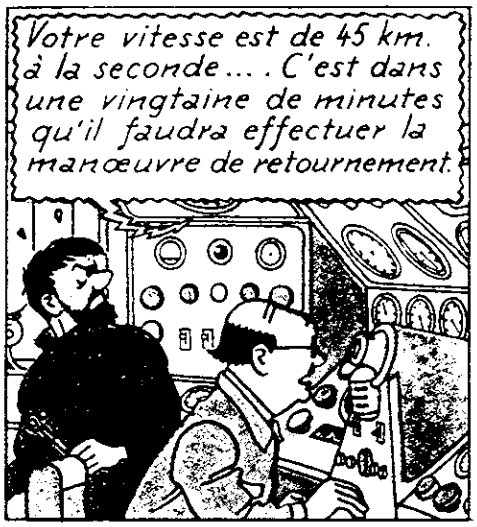
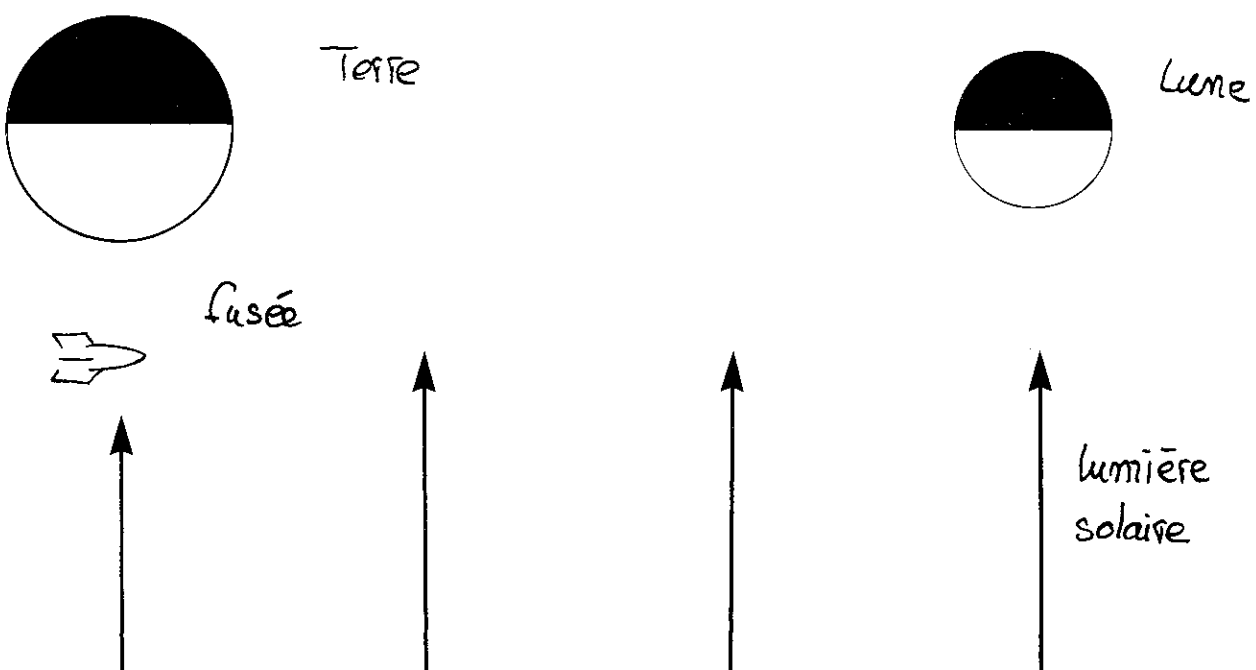


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3



réussies de l'album (au moins du point de vue du physicien). Le cours donné par Tournesol est tout à fait correct. A noter la forme sphérique prise par le whisky quand, en l'absence de pesanteur, les forces de tension superficielle reprennent tous leurs droits (voir les aventures de l'astronaute Joe allen et de son jus d'orange, Fig. 5).

La rencontre avec Adonis

Adonis est bien un astéroïde de la classe des "earth grazers", c'est à dire susceptible de s'approcher périodiquement de la Terre. On peut même envisager son passage entre la Terre et la Lune (bien qu'un tel évènement soit extrêmement peu probable). Il est cependant très surprenant de voir le professeur Tournesol le reconnaître au premier coup d'oeil. Adonis n'est évidemment pas un objet cartographié. Tout au plus dispose–t–on d'un ordre de grandeur de ses dimensions à partir de son éclat et d'un albedo supposé. L'image donnée par la lunette de la fusée (Fig. 6) est donc la première jamais obtenue avec autant de détails ! Le fait qu'elle soit sur fond lunaire permet par ailleurs d'estimer la distance d'Adonis (en admettant pour celui–ci le diamètre de 700 m indiqué par Tournesol). Adonis sous–tend en effet un diamètre apparent un peu supérieur à celui de la Lune (disons de 20 %) soit

$$\frac{d_A}{D_A} = 1,2\frac{d_L}{D_L} \tag{4}$$

où $d_{A,L}$ et $D_{A,L}$ sont respectivement les diamètres et distances d'Adonis et de la Lune ; $d_A = 700$ m, $d_L = 3500$ km; D_L n'est pas connue avec précision. On peut supposer $D_L \approx 300\,000$ km ce qui correspond à environ une heure de vol. On en déduit alors $D_A = 50$ km.

La sortie du capitaine Haddock

C'est l'épisode le plus "loufoque" du vol. Remarquons tout d'abord que la fusée et Adonis ont une vitesse relative nulle (ou presque). Adonis est pourtant sur son orbite, la fusée sur sa trajectoire. La rencontre aurait dû se faire à plusieurs kilomètres par seconde (cf. le survol de la comète de Halley par la sonde Giotto) or nous assistons à un véritable rendez–vous spatial. C'est un miracle !

Avant d'étudier plus en détail les aventures du couple Adonis–Haddock il est utile d'estimer un certain nombre de paramètres importants:

1) la masse d'Adonis ; nous supposerons que l'astéroïde a une masse volumique moyenne de 2500 kg.m^{-3} ce qui, pour un diamètre de 700 m donne

Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

$$M_A \approx 4,5\ 10^{11}\ kg \tag{5}$$

2) l'attraction gravitationnelle exercée par Adonis à la distance R

$$g_A = \frac{GM_A}{R^2} \approx 3\ 10^{-5}/(R \text{ en km})^2\ m.s^{-2} \tag{6}$$

soit environ $3\ 10^{-6}$ g à 1 km.
3) la vitesse de libération d'Adonis à la distance R

$$V_\ell(R) = \sqrt{\frac{2GM_A}{R}} \approx 0,25/\sqrt{(R \text{ en km})}\ \ m.s^{-1} \tag{7}$$

4) la vitesse à laquelle est décrite une orbite circulaire de rayon R

$$V_{orb}(R) = V_\ell(R)/\sqrt{2} \tag{8}$$

soit une période orbitale

$$T_{orb}(R) \approx 10\ (R \text{ en km})^{3/2} \text{ heures} \tag{9}$$

A la lumière de ces nombres, la lutte épique pour vaincre "la redoutable" attraction exercée par Adonis a de quoi faire sourire. Il faut au contraire piloter tout en douceur pour effectuer les différentes manoeuvres nécessaires à la récupération du capitaine. La mise à feu du moteur principal de la fusée (Fig. 7) apparaît donc totalement disproportionnée.
La figure 7 nous montre également un capitaine ayant parcouru une bonne moitié de son "orbite", à une distance typique d'Adonis qu'on peut évaluer (à partir des dimensions de l'astéroïde) à 2 km environ, ce qui représente un temps de parcours d'à peu près 14 h, visiblement en décalage avec la chronologie de l'histoire !
Enfin, il faut signaler que les aventures du capitaine Haddock autour d'Adonis risquent fort d'être perturbées par les effets de marée dus à la Terre. Les formules (7) à (9) ci–dessus ne s'appliquent (dans le repère lié à l'astéroïde) qu'à la condition que le champ de gravité terrestre varie peu sur les dimensions de l'orbite. Dans le cas contraire et en particulier si

$$\Delta g \simeq \frac{2\ GM_T R}{D^3} \geq g_A = \frac{GM_A}{R^2} \tag{10}$$

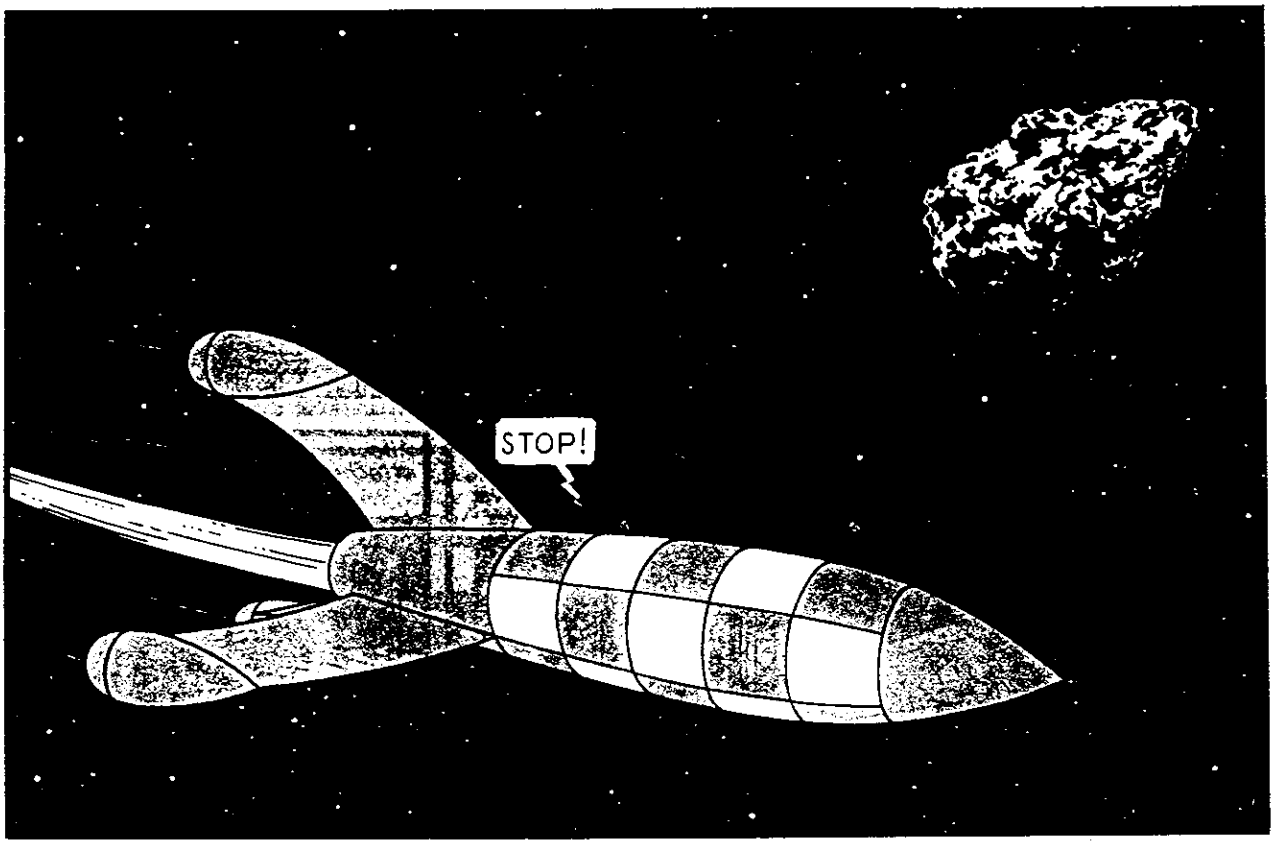


Fig. 7

l'orbite de rayon R est instable (Δg_T représente la variation du champ de gravité terrestre sur le rayon de l'orbite, D la distance à la Terre et M_T sa masse).
La condition (10) peut s'écrire

$$\frac{R}{D} \geq \left(\frac{M_A}{2\ M_T} \right)^{1/3} \tag{11}$$

ce qui à 100 000 km de la Terre interdit toute orbite de rayon supérieur à 3,5 km. Accordons le bénéfice du doute au capitaine Haddock dont le rayon de l'orbite semble voisin de 2 km.

Le retournement

La manoeuvre de retournement s'effectue par la mise à feu d'un moteur latéral. Quoi de plus normal si ce n'est qu'il faudrait songer à allumer un moteur opposé pour stopper la rotation de la fusée ! Signalons par ailleurs que l'accélération subie par l'équipage, si elle est bien latérale en tout début de manoeuvre (Fig. 8), doit avoir une composante centrifuge croissante jusqu'à l'allumage (nécessaire) du moteur opposé.

Sur la Lune

La figure 9 nous présente le paysage lunaire imaginé par Hergé. Remarquons d'abord que le ciel est bien noir comme il se doit en raison de l'absence d'atmosphère. Le relief par contre est sans doute un peu trop vif. Les montagnes lunaires ont des formes arrondies en raison de l'érosion causée par le bombardement permanent des micrométéorites. Ne soyons cependant pas trop exigeants en reprochant à Hergé des défauts dans la représentation

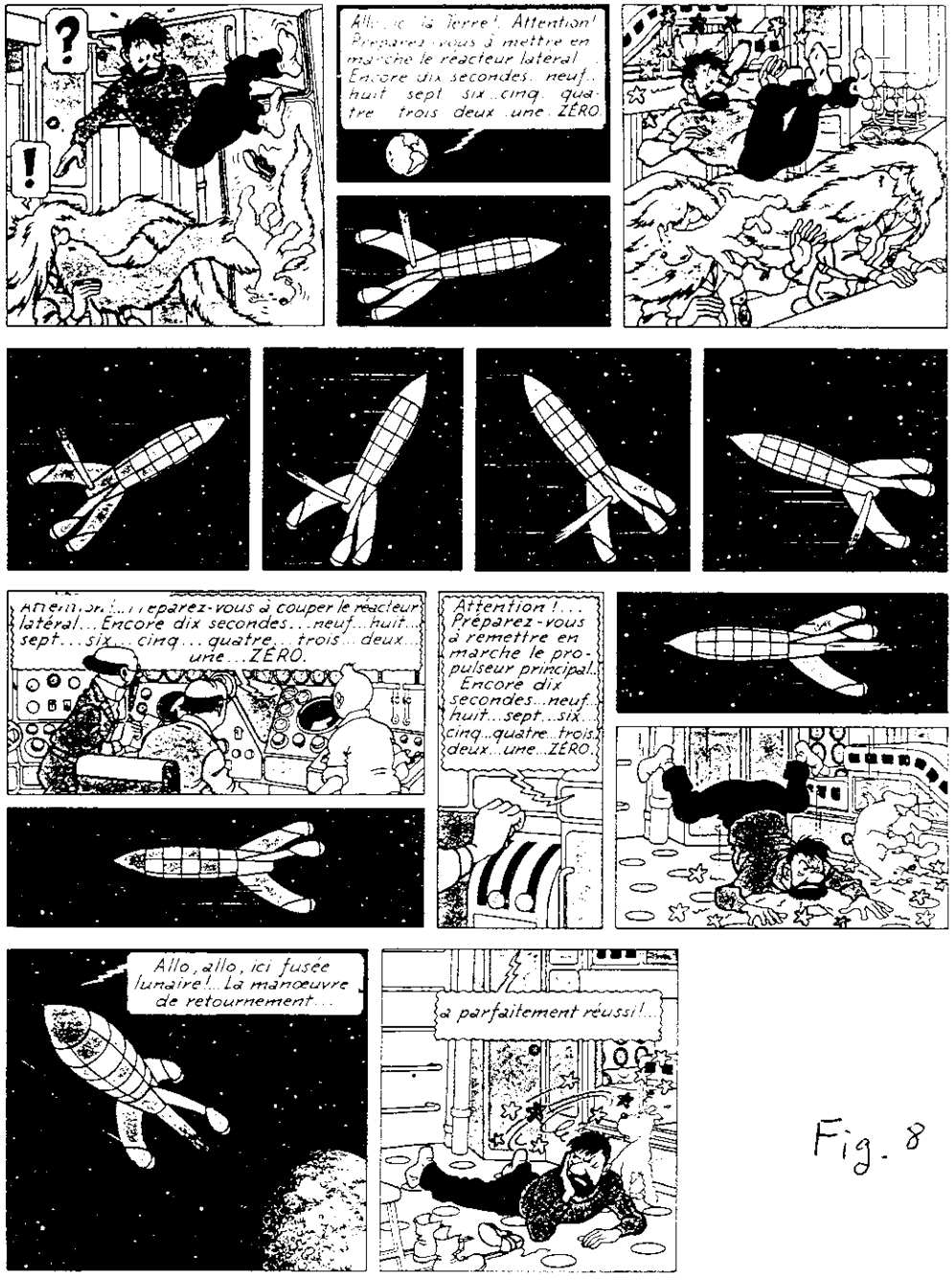


Fig. 8

d'un paysage lunaire, quinze ans avant Apollo ! Plus intéressante est l'image qu'il donne de la Terre. Notons toujours l'absence de nuages, mais surtout deux graves erreurs. La première est que nous découvrons une Terre quasi pleine, alors que la fusée s'est posée au moment du premier quartier lunaire comme l'indiquent à la fois les images de la Lune montrées au cours du vol et le fait que les ombres soient longues à l'endroit où se trouve la fusée, le cirque Hipparque (cf. pages 18 et 20) un cratère au centre de la face visible de la Lune. Il faudrait donc une "demi–Terre".

La deuxième erreur concerne la position de la Terre. Rappelons d'abord que vue d'un point donné de la Lune, la Terre est (à quelques degrés près) fixe dans le ciel. Des environs du centre de la face visible, où s'est posée la

fusée, elle doit apparaître très proche du zénith. Il s'en faut de beaucoup sur la figure 9 !

L'impact de la météorite

L'impact d'une météorite capable de créer un cratère de plusieurs mètres de diamètre (Fig. 10a) est suffisamment rare sur la Lune pour ne pas signaler la chance ou malchance extraordinaire de Tintin et du capitaine. Il s'agit d'ailleurs plutôt ici de malchance car les débris projetés (Fig. 10b) ont vraisemblablement une vitesse voisine du kilomètre par seconde (la vitesse d'impact typique d'une météorite sur la Lune est de plusieurs $km.s^{-1}$) et constituent donc de redoutables projectiles. Espérons que les scaphandres sont doublés d'un gilet pare-balles !

La chute de la caisse

L'attentat contre Tintin et le professeur Tournesol (sur lesquels on laisse tomber une lourde caisse — cf. page 28 et 29) suggère un bref commentaire sur les temps comparés de chute libre sur la Terre et la Lune. Ils sont $\sqrt{6}$ fois plus longs sur cette dernière, tant que la résistance de l'air peut être négligée sur Terre. Dans le cas de la caisse, qui tombe d'une hauteur qu'on peut évaluer à 25 m, les temps de chute libre terrestre et lunaire sont respectivement de 2,2 et 5,5 secondes. Trois secondes de plus pour réagir sur la Lune, Tintin avait tout son temps !

La présence de glace dans la grotte

La présence de glace sur un satellite sans atmosphère n'est possible que si sa température est suffisamment basse pour que le temps caractéristique de sublimation de la glace soit supérieur à l'âge du Système Solaire. C'est le cas sur certains satellites de Jupiter ou Saturne. A la surface de la Lune, la température pendant le jour lunaire est beaucoup trop élevée pour permettre à la glace de subsister. Dans une grotte, à l'abri de la lumière solaire, c'est peut-être possible quoique assez incertain.

La durée du séjour sur la Lune

La fusée de Tintin reste plusieurs jours posée sur la Lune. Peut-on savoir précisément combien ? Oui, car on a vu qu'à son arrivée c'est le début du jour lunaire (le premier quartier en un point situé près du centre de la face visible). Quand elle part la nuit lunaire s'apprête à tomber. Il s'est donc écoulé un temps très voisin d'une demi-lunaison soit quatorze jours (peut-être un peu moins si on tient compte du fait que la fusée est arrivée

Allo, allo, ici la Terre... Allo, j'appelle fusée lunaire... Allo ? Allo ?...

Fig. 9

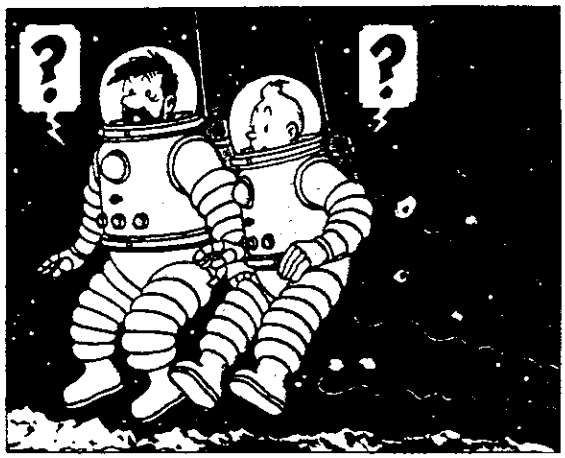


Fig. 10a

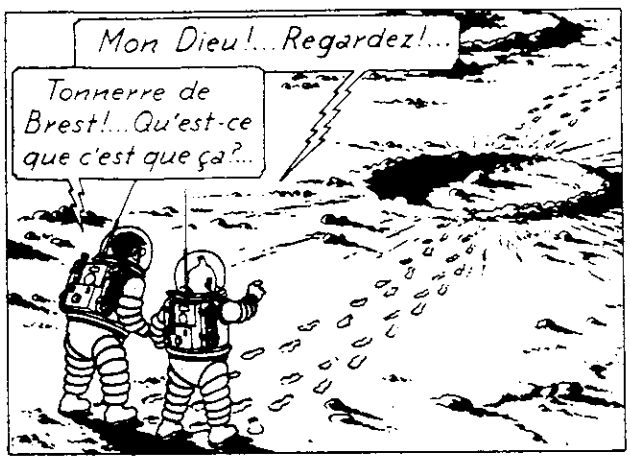


Fig. 10b

un peu après le début du jour lunaire et qu'elle part un peu avant la tombée de la nuit).

Nous terminons ici la discussion des aventures lunaires de Tintin avant d'aborder "L'Etoile Mystérieuse" dans un prochain numéro des Cahiers Clairaut. D'ores et déjà, si des collègues souhaitent me faire parvenir leurs remarques, critiques ou suggestions, ils peuvent le faire en m'écrivant à :

Robert MOCHKOVITCH
Institut d'Astrophysique de Paris
98 bis, bd Arago, 75014 PARIS

(à suivre ....)