3°	Mathématiques - Devoir à la maison	À rendre le lundi 30/03/20

Problème

La mission Apollo 11 : le 21 juillet 1969, ils nous ont offert la Lune…

***Septième partie** : Mise en orbite lunaire et alunissage du LEM*

Au matin du quatrième jour (19 juillet 1969), les astronautes ont droit, comme à l'accoutumée, à une petite revue de presse par les capcoms de Houston. Une chose est sûre : Apollo 11 fait la une de tous les médias. Même le journal officiel du Parti communiste soviétique, la *Pravda*, fait ses gros titres sur la mission et surnomme Neil Armstrong « le tsar du vaisseau ».

La Lune est enfin là, sous leurs yeux, à portée de main… mais la manœuvre de mise en orbite lunaire est cruciale et complexe. Il faut contrôler tous les systèmes de bord, faire les ultimes relevés au sextant pour confirmer au millième de degré près leur position et leur déplacement. Michael Collins allume le moteur principal du compartiment de service. Ce coup de frein qui dure six minutes permet au train spatial de s'installer sur une orbite elliptique autour de la Lune. Dix secondes de trop et *Columbia* s'écrasera ! Quatre heures plus tard, nouvelle mise à feu et l'orbite devient circulaire à une altitude $h = 110$ km.

Chaque instant en orbite lunaire est extraordinaire, mais l'astre est aussi effrayant. C'est un grand désert gris et lorsque le Soleil est bas et qu'il allonge encore les ombres des cratères, tout paraît terriblement inhospitalier. Heureusement qu'à chaque rotation, le lever de Terre vient rompre la monotonie grisâtre du paysage. Image presque irréelle ! Seuls 24 hommes ont vu le cercle complet de la Terre, petite chose fragile suspendue dans le vide spatial, magnifique planète bleue qu'ils pouvaient cacher derrière leur pouce. Un des astronautes du programme Apollo dira : « nous sommes partis explorer la Lune mais c'est la Terre que nous avons découverte. »

La vitesse v_{s_L} de satellisation autour de la Lune est donnée, en m/s, par la formule : $v_{s_L} = \sqrt{\dfrac{GM_L}{R_L + h}}$,

où :
- $G = 6,674 \times 10^{-11}$ est la constante de gravitation universelle (en $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$) ;
- $M_L = 7,348 \times 10^{22}$ kg est la masse de la Lune ;
- $R_L = 1,737 \times 10^6$ m est le rayon de la Lune ;
- h est l'altitude de l'engin en mètres, c'est-à-dire, dans le cas présent, $h = 1,1 \times 10^5$ m.

1) Calculer la vitesse v_{s_L} de satellisation autour de la Lune. Donner la réponse en m/s en arrondissant à la dizaine près, puis convertir en km/h.

2) Vérifier qu'il faut approximativement 2 h au vaisseau pour parcourir une révolution autour de la Lune.

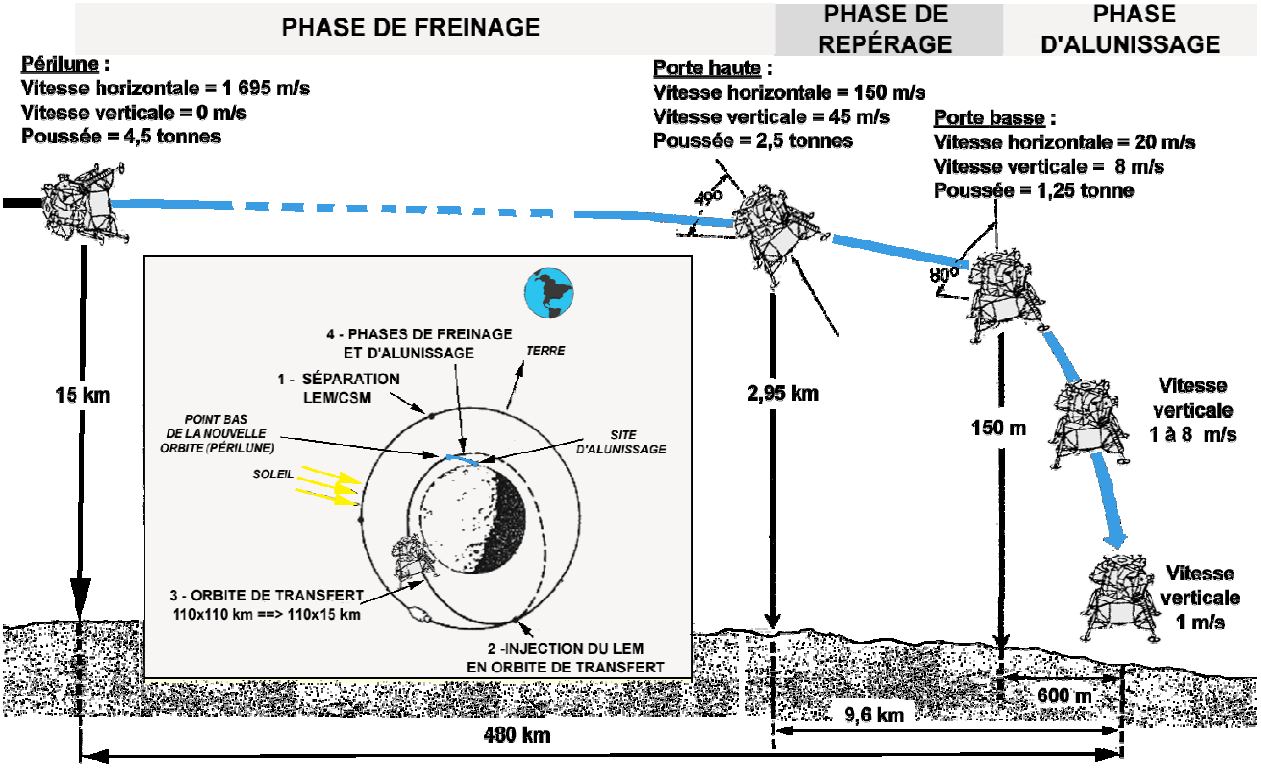


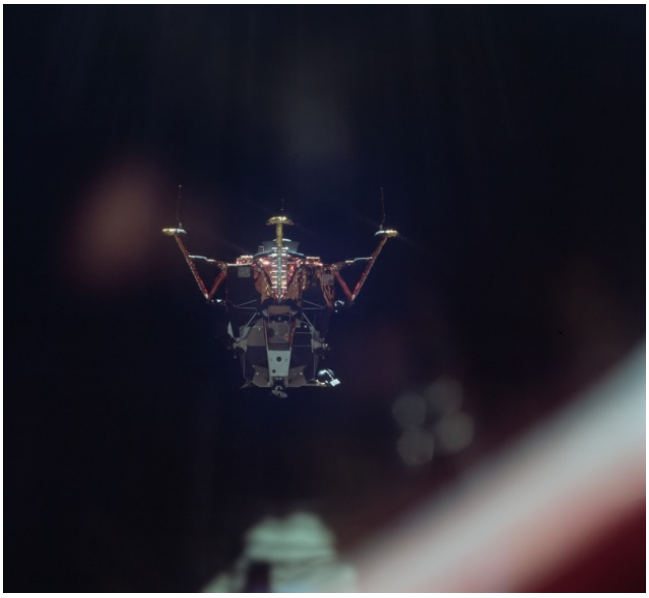
Schéma théorique des différentes phases de vol du LEM précédant l'alunissage.

Cinquième jour (20 juillet 1969) : après 13 révolutions en orbite lunaire, le LEM, avec Armstrong et Aldrin aux commandes, se sépare du CSM dans lequel demeure Collins, puis *Columbia* et *Eagle* volent en formation. Étant donné que la Lune n'a pas d'atmosphère, il est impossible d'utiliser des parachutes pour alunir en douceur et une descente motorisée est donc nécessaire. Le module lunaire comporte deux étages : l'un de descente (ou d'alunissage) dont le rôle principal est de poser verticalement le LEM grâce à un moteur à poussée variable, et l'autre de remontée (ou supérieur), doté de son propre réacteur et dans lequel est logée la cabine pressurisée où séjournent les astronautes.

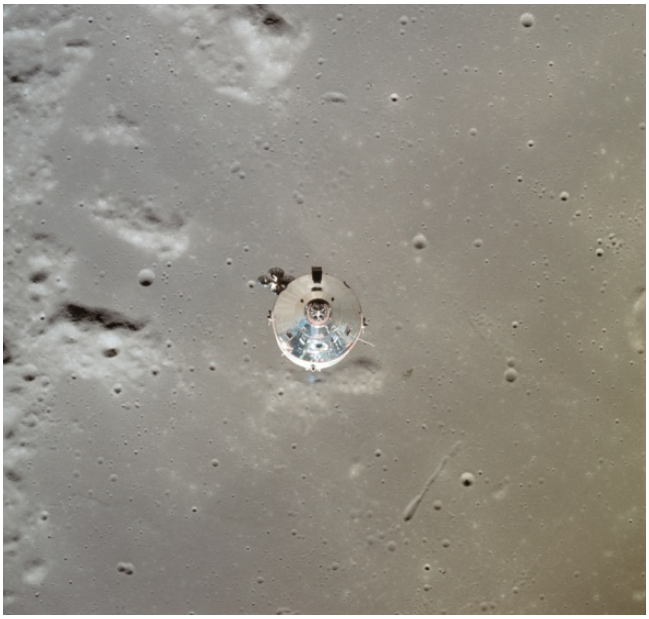
Dans une série d'allumages préprogrammés, le moteur de descente ralentit le LEM et le place d'abord sur une orbite elliptique de 110 km par 15 km, afin de l'amener au-dessus du point d'alunissage prévu à son périlune (le point de l'orbite le plus proche de la Lune). À partir de maintenant, c'est véritablement l'inconnu. Apollo 8, 9 et 10 ont validé toutes les procédures, Apollo 10 est même allé jusqu'à cette étape, mais là c'est le grand saut…

Une autre poussée de freinage fait décrocher *Eagle* de son orbite. Soudain, alors qu'Armstrong et Aldrin volent encore en aveugle, une première alarme inconnue se déclenche. Au centre de contrôle, l'inquiétude grandit et Gene Kranz, directeur de vol, est sur le point d'annuler la descente. D'autres alertes à répétition gênent les deux astronautes et entravent le bon déroulement de cette délicate phase d'approche. Houston finit par comprendre qu'elles peuvent être ignorées car elles proviennent « simplement » d'une surcharge de l'ordinateur de bord, qui pèse la bagatelle d'une trentaine de kilogrammes mais n'est pas assez puissant (pas plus qu'une calculatrice bas de gamme des années 2000…) pour traiter l'ensemble des informations.

Pour couronner le tout, le LEM dépasse l'emplacement retenu et le guidage automatique l'emmène vers un cratère de la taille d'un terrain de foot, parsemé de grosses pierres et de blocs de roche. Les deux pilotes n'ont pas le temps d'étudier la situation avec Houston ni de reconfigurer le calculateur car les communications et le transfert des données télémétriques par les ondes radio, qui se déplacent pourtant à la vitesse de la lumière, ne sont pas assez rapides à ce moment crucial de la mission. À 150 m de la surface, Neil Armstrong, avec un incroyable sang-froid, prend alors le contrôle manuel, pilote « à vue » et vole quasiment à l'horizontale dans le but de trouver un site plus favorable, mais cette manœuvre entame dangereusement la faible réserve de carburant prévue… Et tout cela pour un salaire astronomique de 8 dollars (USD 1969) par jour, soit l'équivalent de 58 dollars d'aujourd'hui !

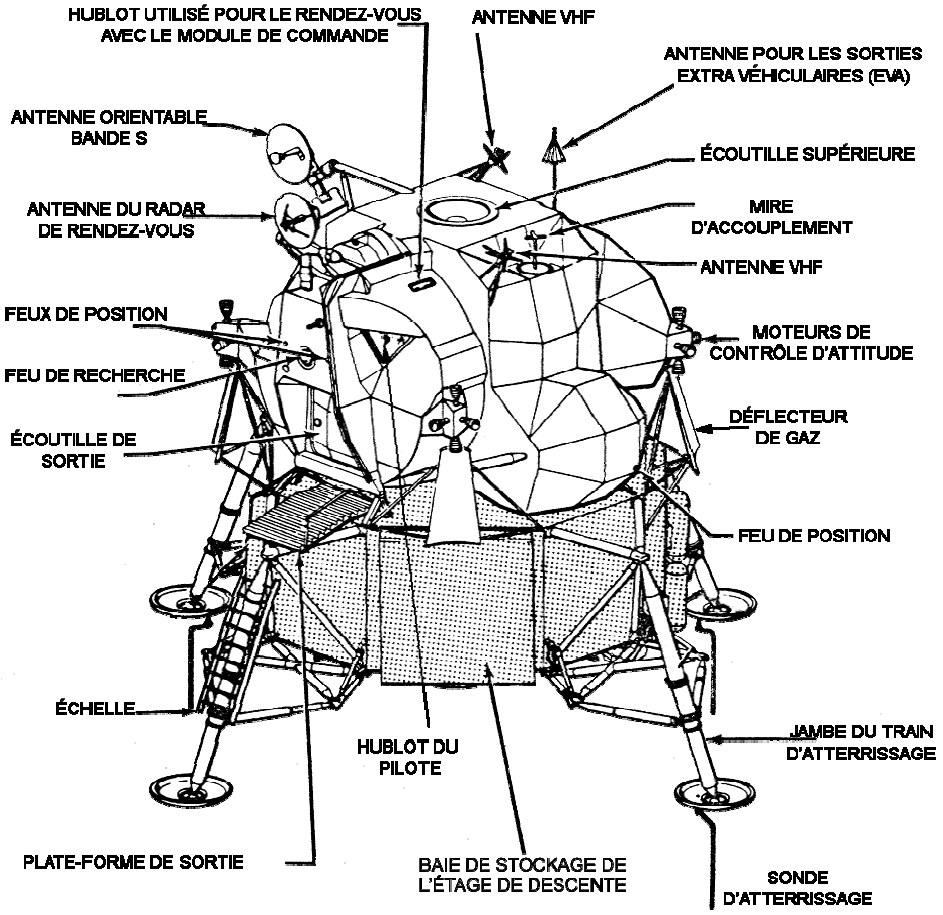


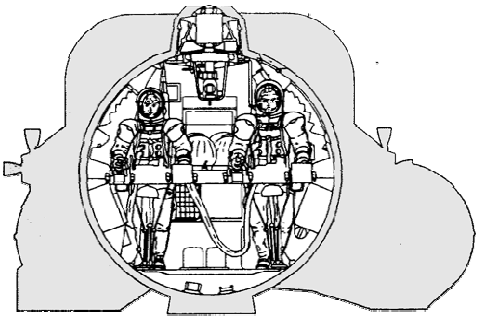
Vues du module lunaire Eagle après sa séparation de Columbia, prises par Michael Collins.

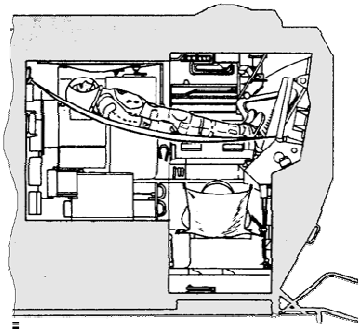


Columbia survolant le sud-est de la mer de la Tranquillité (Mare Tranquillitatis).

3) Sachant que la vitesse de la lumière dans le vide approche les 300 000 km/s et que la distance moyenne entre la Terre et la Lune est de 384 400 km, calculer le temps mis par un signal radio pour effectuer un aller et retour entre le centre de contrôle de Houston et le LEM en phase d'alunissage. Donner la réponse en secondes en arrondissant au dixième près.





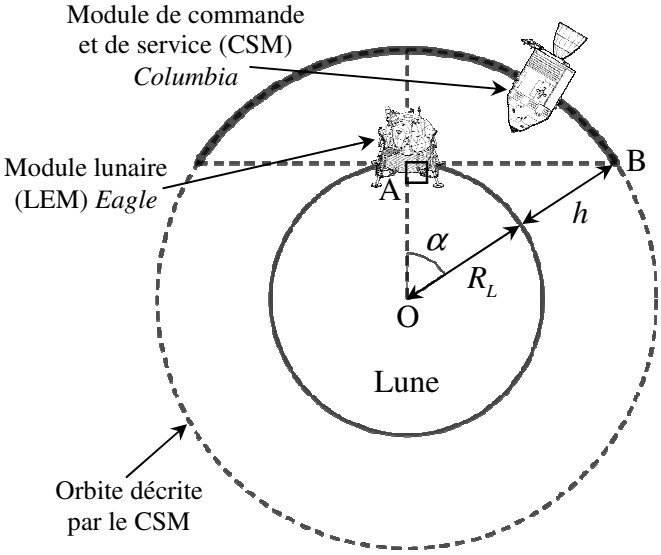


En haut : la cabine pressurisée du LEM avec les deux astronautes en position de vol ou au repos.

À gauche : les différents organes du module lunaire. Dans le vide spatial ou la faible gravité lunaire, le LEM n'a aucun besoin d'être aérodynamique ni même résistant.

Armstrong guide alors le module lunaire à l'écart des dangers tels que les rochers, cratères et fissures en opérant les ajustements nécessaires. Sur Terre, le stress est à son paroxysme chez les contrôleurs de vol… Finalement, des sondes d'une longueur de 1,70 m, accrochées sous les semelles des trains d'atterrissage, prennent contact avec le sol lunaire et indiquent au pilote qu'il doit aussitôt couper le moteur de descente pour éviter au LEM de rebondir ou de se renverser (la tuyère touchant presque la surface). Il ne restait que 17 secondes de carburant !

L'Aigle (nom du LEM lors de la mission Apollo 11) vient de se poser non loin de l'équateur lunaire avec à son bord Neil Armstrong et Edwin « Buzz » Aldrin. Michael Collins, quant à lui, continue d'orbiter autour de la Lune dans le module de commande et de service, à vitesse constante, calculée à la question 1). Un problème se pose toutefois : les transmissions entre les deux appareils ne sont pas toujours possibles… En effet, sur Terre, les ondes radio peuvent se propager au-delà de l'horizon par réflexion sur l'ionosphère (haute atmosphère). Seulement, notre satellite naturel en étant dépourvu, la communication entre le LEM et le CSM ne peut se faire qu'à condition que ce dernier se situe sur la partie de l'orbite représentée en gras sur le schéma ci-contre.



4) Construire très précisément et avec grand soin le triangle OAB, rectangle en A, à l'échelle 1/10 000 000. À l'aide du rapporteur, déterminer la mesure α de l'angle $\widehat{AOB}$ au degré près.

5) En déduire la durée de communication possible entre les deux modules à chaque révolution du CSM.

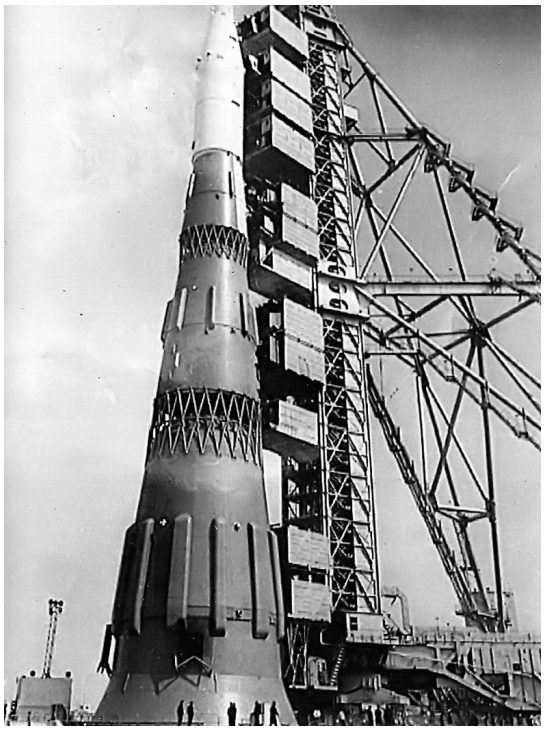
Un peu d'histoire… Le 27 janvier 1967, les trois astronautes d'Apollo 1 mouraient asphyxiés dans leur cabine en flammes lors d'un essai statique sur la tour de lancement. Le rapport de la commission d'enquête est accablant : pour tenir les délais, on a accumulé les manquements et les compromis hasardeux… Tout est à reprendre. Le premier vol habité du vaisseau Apollo est retardé de vingt mois. Il aura lieu en octobre 1968, ce sera Apollo 7. En parallèle, la mise au point du LEM s'est elle aussi transformée en cauchemar technique. Le

module lunaire ne sera jamais prêt pour son essai autour de la Terre avec Apollo 8. Peu de temps avant l'échéance fixée par John Kennedy, le rêve s'éloigne…

C'est alors que George Low, le responsable des vols habités à Houston, propose de ne pas attendre le LEM et d'envoyer les astronautes d'Apollo 8 faire le tour de la Lune. Cela ressemble à coup de poker, car le deuxième vol d'essai de la fusée Saturn V a été moins brillant que le premier, en raison de pannes moteur. Faut-il mettre un équipage au sommet de ce pétard géant qui a la puissance d'une bombe atomique tactique ? Oui car, entre-temps, les Soviétiques ont eu la même idée.

En septembre 1968, la sonde Zond 5 lancée depuis Baïkonour, la base du Kazakhstan, réalise avec succès le premier vol circumlunaire habité… mais par des animaux (tortues, mouches, etc.). Et si c'était l'essai en mode automatique d'un futur engin habité… par des cosmonautes cette fois-ci ? Zond 6 suit en novembre et la CIA pense qu'un équipage se prépare.

Les soupçons de l'agence de renseignement américaine sont d'autant plus forts que ses analystes réussissent, au moyen d'un satellite espion, à prendre des clichés de l'aire de lancement de Tiouratam (cosmodrome de Baïkonour) et de la fusée lunaire N-1 juchée sur son pas de tir… sans savoir que le programme spatial soviétique a en fait bien du mal à se relever du décès prématuré de son maître d'œuvre, le légendaire Sergueï Korolev, et que le lanceur N-1 connaît d'importants problèmes de fiabilité, faute de moyens et à cause de conflits internes notamment. Les quatre lancements de cette fusée entre février 1969 et novembre 1972 se solderont par des échecs au bout de quelques dizaines de secondes seulement. La deuxième tentative d'ailleurs verra la N-1 réduite en miettes par une déflagration comparable à celle d'une bombe atomique, ce sera l'explosion la plus puissante de l'histoire de l'aérospatiale.



La fusée soviétique géante N-1. Noter la taille des ingénieurs et techniciens au pied de celle-ci…

Pour les Américains, anxieux et piqués au vif, il est grand temps de réagir parce qu'ils ont déjà perdu plusieurs étapes essentielles. Le 5 mai 1961, c'est-à-dire à peine trois semaines après l'orbite terrestre bouclée par le cosmonaute Youri Gagarine (12 avril 1961), l'astronaute Alan Shepard, futur commandant d'Apollo 14, devient le premier Américain à voyager dans l'espace en réalisant un « simple » vol suborbital d'une quinzaine de minutes – un saut de puce – à bord de la capsule baptisée *Freedom 7*, lors de la mission Mercury-Redstone 3. Le 3 juin 1965, son compatriote « Ed » White, qui périra le 27 janvier 1967 dans l'incendie d'Apollo 1, réalise la première sortie extravéhiculaire américaine au cours de la mission Gemini 4, moins de 3 mois après celle du Russe Alexeï Leonov (18 mars 1965).

Alan Shepard dans sa combinaison argentée, typique du programme Mercury.

Le 3 juin 1965, au cours de la mission Gemini 4, « Ed » White devient le premier américain à « marcher dans l'espace ».

C'est ainsi que, refusant de concéder la première place une fois encore, la NASA décide d'accélérer la cadence et de faire preuve d'audace en validant la proposition de George Low : la mission Apollo 8 (du 21 au 27 décembre 1968), dont le but initial était de tester les deux modules en orbite terrestre, se voit assigner comme nouvel objectif d'expédier des hommes en orbite lunaire.

Le 21 décembre 1968, Saturn V lance Apollo 8 en direction de notre satellite. Frank Borman, « Jim » Lovell et « Bill » Anders, qui doivent traverser quelque 380 000 km, sont les premiers à quitter l'orbite terrestre pour sillonner l'espace interplanétaire, à des vitesses encore jamais atteintes par un être humain. Depuis 1961 et le premier vol habité soviétique, 34 cosmonautes et astronautes ont gravité autour de la Terre mais personne n'est jamais allé au-delà… Le vol s'effectue sans problèmes majeurs et, la veille de Noël, les membres de l'équipage deviennent les premiers êtres humains à contempler la surface de la Lune, en « rasant » celle-ci à environ 110 km d'altitude et en survolant sa face cachée. Outre l'aspect technique du vol, la mission Apollo 8 permet aussi une reconnaissance du terrain en vue de futurs alunissages, en prenant les premières photographies précises du sol lunaire.

Lors de la quatrième orbite, un spectacle encore jamais vu apparaît sous les yeux des astronautes : le clair de Terre qui illumine la surface désolée de la Lune. « Bill » Anders prend alors une photographie très célèbre qui favorisera la prise de conscience de la fragilité de notre planète perdue dans l'immensité de l'Univers et flottant dans le noir sidéral. Plus tard, celui-ci prononcera ce qui est devenu l'une des citations les plus emblématiques de l'aventure spatiale : « Nous avons parcouru tout ce chemin pour explorer la Lune, et le plus important est que nous ayons découvert la Terre. »

Tandis que le module de commande entame son neuvième tour, une émission spéciale est diffusée, qui connaîtra la plus grande audience de toute l'histoire de la télévision. Pendant vingt minutes, les astronautes décrivent les montagnes et les cratères qu'ils survolent. Puis, alors qu'ils approchent de la face cachée, ils lisent un passage de la Genèse : la création du monde.

Le 25 décembre, après dix révolutions, Apollo 8 s'insère sur une trajectoire de retour vers la Terre. La capsule amerrit dans l'océan Pacifique le 27 décembre. La réussite est totale sur tous les plans : technique, humain et symbolique !

Au premier rang, l'équipage de réserve d'Apollo 8 avec, de gauche à droite, Neil Armstrong, « Buzz » Aldrin et Fred Haise. Au second rang, l'équipage principal avec, de gauche à droite, Frank Borman, « Jim » Lovell et « Bill » Anders.

Le fameux « Lever de Terre » (« Earthrise ») immortalisé le 24 décembre 1968 par les astronautes de la mission Apollo 8. C'est la première fois que l'humanité prend conscience de son aspect, de sa fragilité dans le vaste cosmos. Cette image iconique a servi à déclencher la conscience écologique. À tel point qu'en 2003, elle a été classée par le magasine « Life » parmi les 100 photographies ayant le plus changé le monde. De cette vision de notre globe sont nées les préoccupations actuelles face au trou dans la couche d'ozone ou au réchauffement climatique.

Le haut fait de Frank Borman, « Jim » Lovell et « Bill » Anders est unanimement salué. On organise pour eux des défilés à New-York, Houston et Chicago. Ils sont élus hommes de l'année par le magazine *Times*, sont reçus par le Congrès américain et la *Pravda* publie un édito vantant leur courage et leur audace infinis. Mais pour Frank Borman, le plus beau compliment reste celui qu'il reçoit d'un anonyme par télégramme : « Merci,

vous avez sauvé 1968. » En effet, lorsqu'Apollo 8 a décollé pour sa mission de six jours, il a laissé derrière lui une planète tourmentée. Cette année-là, l'Amérique a subi un traumatisme après l'autre : l'escalade des affrontements au Vietnam, qui prennent un tournant décisif avec l'offensive du Têt et deviennent très impopulaires, la multiplication des manifestations qui en résultent, les assassinats du militant pour les droits civiques Martin Luther King le 4 avril et du candidat à l'élection présidentielle « Bobby » Kennedy le 5 juin, les émeutes raciales mettant des quartiers à feu et à sang dans les grandes villes, les scènes de chaos à la convention nationale démocrate.

Apollo 8 permet de conclure 1968 sur une note positive. Enfin ! L'espace d'un instant, les gens ont pu mettre de côté tous les événements tragiques et leurs propres tracas quotidiens, et se laisser emporter. Seul un exploit aussi extraordinaire peut accomplir cela. Avec Apollo 8, des perspectives incroyables s'ouvrent désormais à l'ensemble de l'espèce humaine. Plus que jamais, les dirigeants de la NASA pensent que l'objectif de John Kennedy est sur le point d'être atteint, que le rêve immémorial de se poser sur la Lune est à deux doigts de devenir réalité.

Nous ne devons pas perdre de vue que si, sept mois plus tard, Neil Armstrong et « Buzz » Aldrin ont raison des 110 km restants jusqu'à la poussière sélène et marchent sur l'astre de la nuit, c'est en grande partie grâce à Apollo 8…

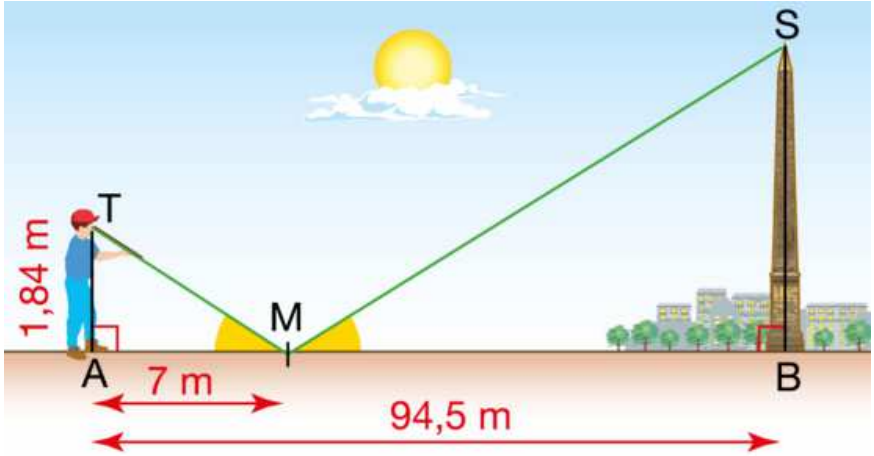
À suivre…

Exercice 1

Pour estimer la hauteur de l'obélisque de la place de la Concorde à Paris, un touriste mesurant 1,84 m regarde dans un miroir M dans lequel il parvient à voir le sommet S de l'obélisque. Les angles $\widehat{AMT}$ et $\widehat{BMS}$ ont la même mesure. Calculer la hauteur de l'obélisque.

Indication : justifier tout d'abord que les triangles AMT et BMS sont semblables.

Une attention toute particulière sera portée à la rédaction…

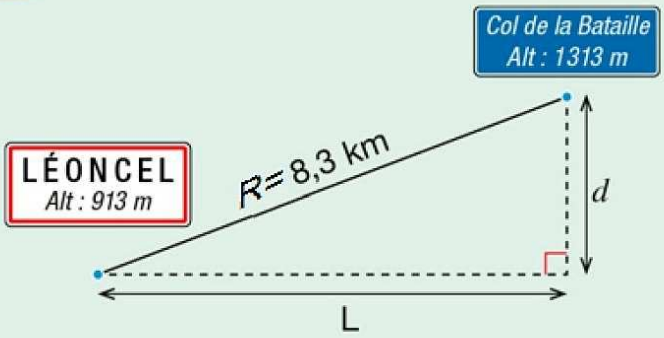


Exercice 2

Amélie, qui vient de réaliser à vélo l'ascension du col de la Bataille à partir de Léoncel, se demande quelle est la catégorie de cette ascension.

Aider Amélie à répondre à sa question en utilisant les différents documents.

Doc. 1 Le schéma de l'ascension



Doc. 2 La pente moyenne

La pente moyenne p d'une route est un taux qui se calcule de la façon suivante :

$$p = \frac{d}{L} \times 100$$

où d et L sont exprimés dans la même unité.

Doc. 3 Le système de classification des cols

La catégorie d'un col est fonction d'un nombre de points.

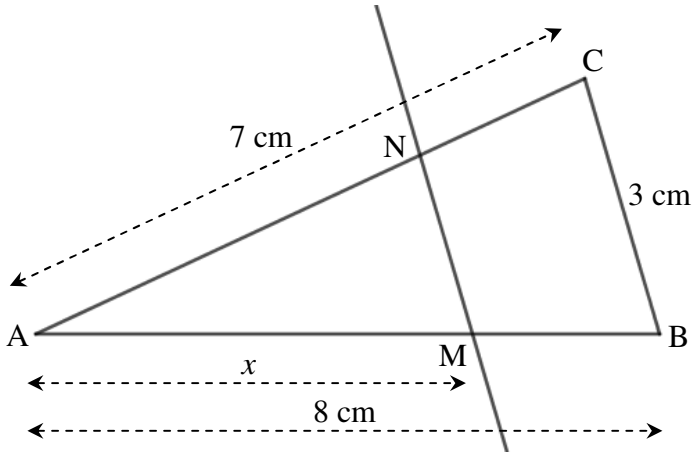
Nombre de points = $(p^2 + 1)R$

(avec R en km) où p est la pente moyenne de la route.

Catégorie	Hors cat.	1re cat.	2e cat.	3e cat.	4e cat.
Nombre de points	600 et plus	250 à 599	180 à 249	80 à 179	35 à 79

Exercice 3

ABC est un triangle tel que AB = 8 cm, AC = 7 cm et BC = 3 cm.
M est un point mobile du segment [AB]. On trace par M la parallèle à (BC) qui coupe [AC] en N.



1) On pose $AM = x$ avec $0 \leq x \leq 8$, x étant exprimé en cm.

a) Exprimer les longueurs AN et MN en fonction de x.

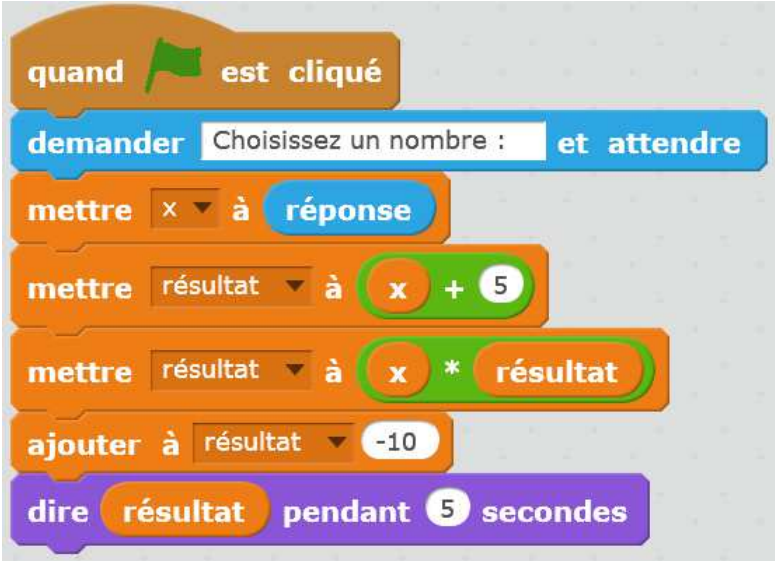
b) Montrer que le périmètre P_1 du triangle AMN est égal à $2{,}25x$.

c) Montrer que le périmètre P_2 du trapèze BCNM est égal à $18 - 1{,}5x$.

2) Pour quelle valeur de x les périmètres P_1 et P_2 sont-ils égaux ?

Exercice 4

On donne le programme Scratch ci-contre.



1) Quelle valeur sera indiquée à la fin du programme si l'on choisit -3 au départ ? Montrer les étapes du calcul.

2) Si l'on note x le nombre choisi au départ, exprimer en fonction de x le résultat final donné par ce programme.