

Les cratères de la Lune

Sylvie Thiault, Lyon

Voici un exemple d'activité originale à réaliser à partir d'une photo de la surface de notre satellite, compter les cratères...

Les élèves du Club Astronomie du lycée Jean Paul Sartre de Bron (69), encadrés par José Vilas-Boas, professeur de mathématiques ont pris prétexte du cinquantième anniversaire du premier pas d'un humain sur la Lune pour mieux connaître notre satellite.

Après avoir repéré des zones plus accidentées que d'autres, des structures différentes, ils se sont demandés ce que la répartition des cratères en nombre et/ou en taille peut nous apprendre ? Est-il possible de déterminer l'âge des terrains et comment ?

Activités préparatoires

Dans une première séquence les élèves ont appris à partir de l'Atlas Virtuel de la Lune¹ à repérer et nommer quelques-unes des structures remarquables de la face visible de la Lune.

Des recherches ont été faites sur la théorie de formation de la Lune, le mode de formation des cratères, des mers...

Ils ont recherché si, comme sur la Terre avec la longitude et la latitude, il existe un système de coordonnées permettant de localiser un lieu particulier sur notre satellite.

Une soirée d'observation était prévue, mais la mauvaise météo de cet hiver nous a empêché de sortir les instruments.

Dans une séquence suivante, nous nous sommes penchés sur l'histoire de l'exploration lunaire. Nous avons positionné sur le globe lunaire les différentes missions Apollo qui ont atterri sur la Lune ainsi que les missions chinoises Chang'e 3 et 4.

Nous avons fait une recherche documentaire pour connaître les caractéristiques principales des différentes missions. Quelles régions ont été explorées ? Des échantillons de roches ont-ils été rapportés sur Terre ? Que sait-on de l'âge des terrains des régions explorées ?

¹ Logiciel gratuit d'étude et d'observation de la Lune.

De nouvelles questions sont apparues : que nous ont appris ces expéditions de la « géologie » de notre satellite ? Comment dater les terrains lunaires ?

Datation de terrains lunaires

Les missions Apollo ont permis la collecte de près de 400 kg de roches lunaires.

Ces roches ont été datées par les méthodes classiques de datation des roches : potassium / argon².

On sait maintenant que la Lune s'est formée il y a 4,55 milliards d'années.

Les différentes périodes reconnues sur la Lune sont données dans le tableau suivant de la plus récente à la plus ancienne.

Âges géologiques	en milliards d'années (Ga)	Cratères remarquables
Copernicien récent	0,5 à 0,1	Copernic, Tycho
Copernicien ancien	1,1 à 0,5	
Ératosthénien	3,1 à 1,2	Ératosthène
Imbrien	3,84 à 3,2	Platon, Archimède, Arzachel
Nectarien	3,91 à 3,85	Clavius, Longomontanus
Pré-Nectarien	4,30 à 3,92	Ptolémée, Hipparque

Nous avons construit une échelle des ères géologiques de la Lune.

Mais ce n'est qu'une très petite partie de la surface lunaire qui a été explorée. Est-il possible, sans collecter d'échantillon, d'estimer l'âge d'un terrain ?

Une première idée a vite émergé : en observant comment des cratères, des failles se recoupent, se chevauchent, on peut classer les événements du plus ancien au plus récent.

² Pour en savoir plus, voir le site planetTerre de l'ENS : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/datation-k-ar.xml>

Autre idée : les élèves ont constaté que le nombre et la taille des cratères ne se répartissent pas uniformément. Pourtant on peut penser qu'il n'y a pas de raison pour qu'une zone soit plus exposée qu'une autre aux météorites.

Sur la Lune, il n'y a pas de vent, pas de pluie donc pas d'érosion. Un cratère d'impact ne pourra être affecté que par un autre impact ou par un épanchement de lave.

Une coulée de lave « lisse » le terrain. Les élèves ont alors compris que plus un terrain est cratérisé plus il est ancien.

Après avoir daté les échantillons qui ont été ramenés par les différentes missions et étudié la cratérisation des zones dont ils provenaient, les chercheurs ont obtenu une relation âge / densité de cratères.

Elle est représentée par le graphique ci-dessous (figure 1).

Alors comptons les cratères ! Oui mais comment ?

Nous avons choisi d'utiliser des images de la sonde Lunar Reconnaissance Orbiter, en tirant parti de l'outil QuickMap de LRO³.

Les coordonnées apparaissent en bas de l'image à gauche. L'échelle est en bas de l'image à droite (figure 3).

Utilisation du QuickMap de LRO

La barre d'outils est décrite sur la figure 2.

Deux options pour ce qui suit : papier crayon ou GeoGebra.

Nous exposons ici la méthode utilisant GeoGebra, facile à adapter pour une utilisation « manuelle ».

Dans les deux cas la démarche est la même à partir du moment où on connaît l'échelle de l'image.

Les images de LRO portent toutes une indication d'échelle. Avec un outil de capture d'écran, on capture l'image en veillant à ce que l'échelle apparaisse et on enregistre l'image en jpg.

Dans l'explorateur, en faisant un clic droit propriétés sur l'image on obtient sa taille en pixels. L'exemple de la figure 3 concerne une zone à l'intérieur du cratère Ptolémée.

Pour cette image la taille en pixels est 1920 × 1080.

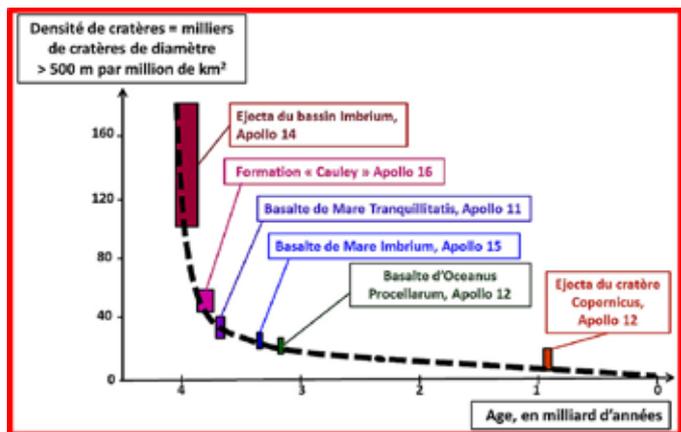


Fig.1. Densité de cratères et âge d'un terrain (source <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/impacts-crateres-planetes/08-relation-age-densite-crateres.jpg>)

De haut en bas :



1. Choix de la projection. Nous utiliserons orthographique Near Side
2. Layers : on choisit la nature des informations qu'on veut faire apparaître sur la carte. Par défaut, la surface brute : tout est décoché.
3. Permet de superposer des couches d'informations. Sans objet ici.
4. En cliquant sur un point, on obtient ses coordonnées.
En cliquant sur un point puis double clic sur un deuxième point (par exemple sur un diamètre de cratère) on peut obtenir le profil altimétrique du terrain.
5. Réglages de paramètres d'affichages (graduation, type de coordonnées) et de téléchargement d'images.
6. Image en plein écran.

Fig.2. Barre d'outils du site QuickMap de LRO.



Fig.3. Le cratère Ptolémée (image LROC NASA).

³ <https://quickmap.lroc.asu.edu/>.

Premier travail : déterminer et vérifier l'échelle de l'image

On ouvre une fenêtre GeoGebra, on insère l'image de la région à étudier. On choisit pour coin 1 : A=(0,0) ; pour coin 2 : B=(1920,0) ; 1 920 est ici la longueur de notre image en pixel.

Il faut penser à fixer les points A, B et l'image (par clic droit, sélectionnez, objet fixe).

On mesure avec l'outil « segment » le segment [CD] qui donne l'échelle. On vérifie que l'échelle est la bonne : on s'assure que le segment [CD] a une longueur de 100 pixels. On remplit un tableau comme ci-dessous.

Échelle de l'image	
pixel	mètres
100	10 000
1	100

Après discussion et lecture de la littérature dont nous disposons sur le sujet, nous avons décidé de suivre le protocole suivant.

Délimiter la zone à explorer : un rectangle c'est mieux ! (il faudra ensuite calculer l'aire de cette zone). On choisit au mieux les sommets de ce rectangle. Il faut penser là encore à fixer la zone.

On remplit le tableau suivant dans un tableur :

Surface étudiée				
	Pixel	m		
Longueur	1 100	110 000		
Largeur	600	60 000		
Aire	660 000	6 600 000 000	en km ²	6 600

On repère le plus grand cratère de la zone étudiée et on mesure son diamètre dans l'unité choisie (ici le pixel).

On voudrait ensuite compter les cratères en les regroupant par classe. On décide que, d'une classe à l'autre, l'aire sera divisée par 2, il faut donc que le diamètre soit divisé par $\sqrt{2}$.

On remplit dans le tableur, diamètre en pixels et diamètre en mètres :

- En A9 la mesure du plus grand diamètre.
- En B9 : =A9/RACINE(2)
- En A10 : =B9.
- Et en B10, on copie B9 vers le bas.

	A	B	C	D	E	F
7	Diamètre en pixel		Diamètre en m		Diamètre moyen en km	Nombre de cratères
8	Max	Min	Max	Min		
9	81,0	57,3	8100,0	5727,6	6,9	1
10	57,3	40,5	5727,6	4050,0	4,9	0
11	40,5	28,6	4050,0	2863,8	3,5	1
12	28,6	20,3	2863,8	2025,0	2,4	3
13	20,3	14,3	2025,0	1431,9	1,7	16
14	14,3	10,1	1431,9	1012,5	1,2	25
15					total	46

On copie ensuite vers le bas les cellules A10 et B10. Pour savoir « jusqu'où il faut aller », on estime le plus petit cratère mesurable. On ne prendra en compte que les cratères de plus de 10 pixels de diamètre, donc 1 km.

On remplit les colonnes C, D et E.

Avec GeoGebra, on mesure les diamètres des cratères du plus grand au plus petit, systématiquement. On relève dans le tableur de GeoGebra les valeurs obtenues : il suffit patiemment de recopier dans le tableur les noms des variables segments qui ont été créées. On les recopie dans la feuille du tableur et on les trie. Il ne reste plus qu'à compter et remplir la colonne F.

Sans surprise, on observe qu'il y a plus de petits cratères que de gros.

On a trouvé 46 cratères de plus d'un km de diamètre pour 6 600 km², soit environ 7 cratères de plus d'un kilomètre de diamètre pour 1 milliard de km² dans cette zone soit 7 milliers de cratères de plus de 1 km de diamètre pour un million de km². On peut traiter des images d'autres zones en respectant le même protocole. Et comparer les résultats...

Pour dater le terrain en utilisant le graphique de la figure 1, il aurait fallu également compter les cratères de 500 m à 1 km de diamètre, ce qui n'est pas facile à partir de cette image.

Utiliser l'outil QuickMap a été très motivant. Les élèves ont acquis une certaine familiarité avec les structures de la face visible de notre satellite.

Ils ont été confrontés à des questions « très pratiques », pour lesquelles il n'y a pas forcément eu de réponse tranchée. Par exemple :

- Quelle zone choisir ?
- Quelle est la taille limite des cratères à prendre en compte ?
- Faut-il tenir compte des cratères « effacés » ?
- Comment prendre en compte « un chapelet » de petits cratères ?
- Nous savons qu'il y a eu des périodes de « grands bombardements »... Quelles conséquences sur nos relevés ?
- Quelle information peut-on tirer de la densité de surface cratérisée ? (surface totale des cratères / surface étudiée)...

Ressources documentaires

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/datation-k-ar.xml>

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/impacts-crateres-planetes.xml>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1945-5100.2009.tb01211.x>

Remarque : le taux mesuré de 0,007 cratères au km² donnerait, d'après la figure 4 de la page 27 un âge d'environ 3,7 Ga contre plus de 3,9 d'après AVL (Prénectarien), ce qui n'est pas si mal...