

Tutoriel :

Utilisation de la base de données de cratères lunaires depuis le portail VESPA à ALADIN et TOPCAT

Les objectifs de ce tutoriel sont :

- de créer une représentation 3D au format HEALPix de la Lune dans le logiciel Aladin, à partir d'une mosaïque globale au format JPEG
- d'importer dans Aladin depuis le portail VESPA un catalogue de données sur les cramées lunaires
- d'afficher dans Aladin, sur une représentation 3D HEALPix de la Lune, des informations clés telle que diamètre, nom ou profondeur de cratères d'impact, provenant d'un catalogue de données préalablement importé depuis VESPA.
- d'utiliser TOPCAT pour analyser les données, notamment en créant des graphiques, et en sélectionnant des sous ensembles de données à analyser.

1) Démarrer les applications TOPCAT et ALADIN

Note : Pour ce tutoriel, il est souhaitable d'utiliser la version beta d'ALADIN, téléchargeable au lien suivant : <https://aladin.u-strasbg.fr/java/Aladin.jar>

- a) Pour lancer ALADIN en mode beta, exécuter la ligne de commande suivante au terminal :

```
java -Xmx6g -jar Aladin.jar -beta
```


L'option 'Xmx6g' est facultative, mais permet d'allouer à java suffisamment de mémoire pour permettre à ALADIN de fonctionner correctement.

- b) Afficher une carte de la Lune dans ALADIN. Pour cela (en version beta) aller dans *Collections > Solar System > Earth > Moon*, puis charger par exemple 'Moon Lunar Reconnaissance Orbiter WAC Global Morphologic Map (la première de la liste).
NOTE : En cas d'utilisation de la version officielle d'ALADIN, et non la version beta, il est nécessaire de générer le HIPS de cette carte lunaire. Pour cela, la procédure est détaillée à la fin de ce tutoriel.
- c) Passer en référentiel 'Planet', et en projection 'Spheric' (menus déroulants en haut à droite de la fenêtre ALADIN). Il est possible de superposer une grille de coordonnées sur la carte en cliquant sur l'icône 'grille' en bas à gauche de la fenêtre.


2) Récupérer les données que l'on souhaite et les transférer à TOPCAT et ALADIN

- a) Aller sur <http://vespa.obspm.fr/>
- b) Dans 'Custom Service', chercher
- Resource Url : <http://voparis-cdpp.obspm.fr/tap>
 - Schema Name : lunar_crater_database
- c) Sélectionner 'Query' (au dessus du bouton 'Custom Service', et rechercher les cratères de plus de 60km de diamètre (par exemple). Pour cela, taper 'diameter > 60' dans le champ ADQL, puis 'Submit' en bas. Ceci permet d'exécuter la commande ADQL :

```
'select * from lunar_crater_database.epn_core where diameter > 60'
```

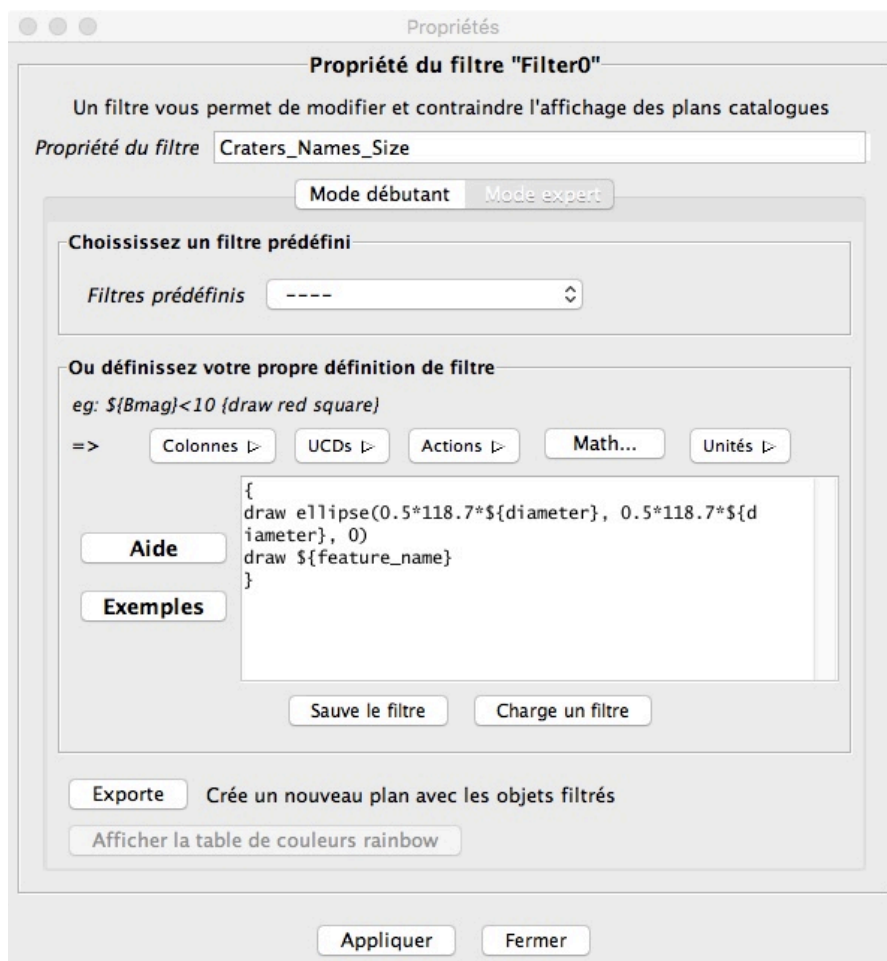
- d) Cliquer sur 'lunar_crater_database', puis sur 'All metadata' -> 'Send Table'
- e) Dans java, accepter le transfert via SAMP. Les données s'affichent normalement dans TOPCAT et ALADIN. Si ce n'est pas le cas, c'est peut être qu'il n'y a pas de hub SAMP actif. Dans ce cas, il faut activer le hub SAMP manuellement en cliquant sur l'icone  situé en bas a droite de la fenêtre principale TOPCAT.

3) Afficher des informations clés dans Aladin


- a) On peut ensuite choisir quelles informations afficher à l'écran en ajoutant des filtres. Par exemple, on peut commencer par afficher le nom de chaque cratère, et le représenter par un cercle correspondant à son diamètre. Pour cela, aller dans 'filtre' , à droite de la fenêtre d'affichage principale d'Aladin, puis aller dans 'mode expert' et copier-coller ceci (cf captures 1 et 2) :

```
{  
draw ellipse(0.5*118.7*${diameter}, 0.5*118.7*${diameter}, 0)  
draw ${feature_name}  
}
```

La valeur de 118.7 correspond à l'échelle qui est pour la Lune de 118.7 arc-seconde par km



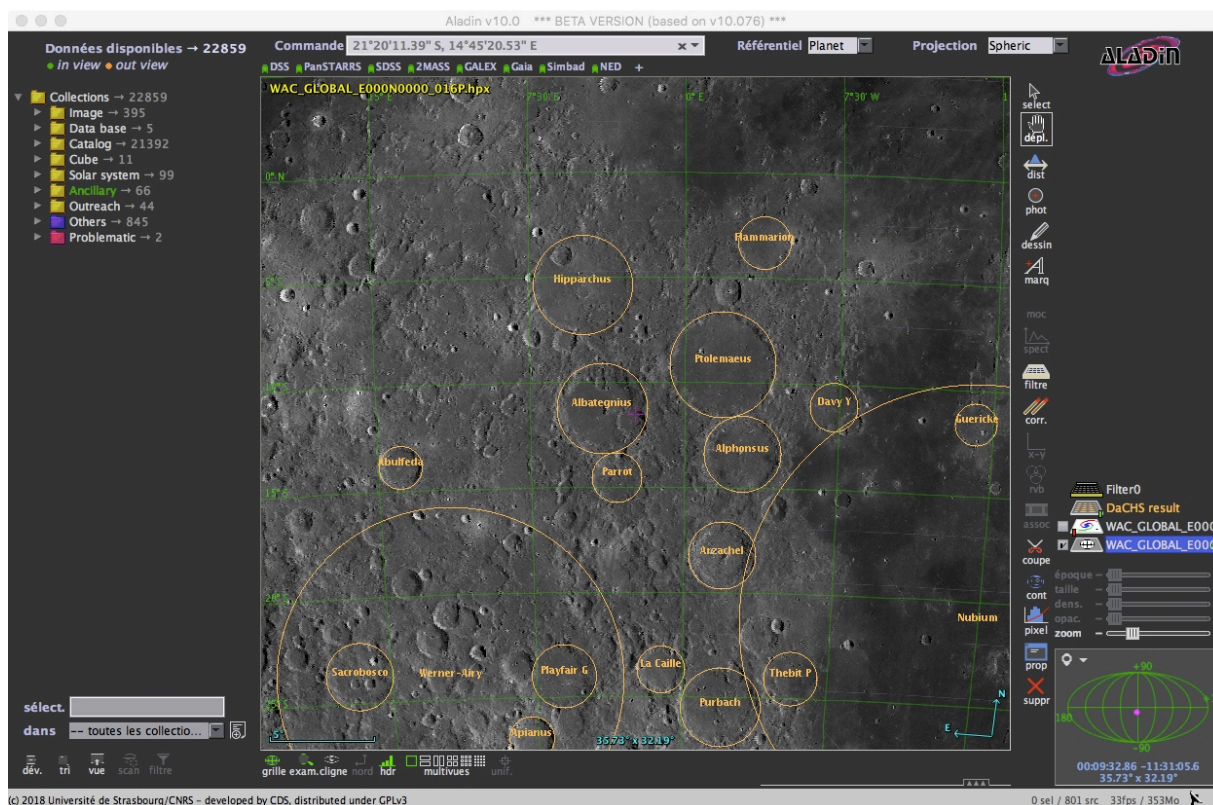
Capture 1

- b) On peut ensuite coder la couleur de ces cratères en fonction de leur profondeur. Pour cela on peut modifier le filtre créé, en le sélectionnant dans la pile d'images et en cliquant sur propriétés 

```
{
draw ellipse(0.5*118.7*${diameter}, 0.5*118.7*${diameter}, 0) rainbow($
{apparent_depth},2.75,3.5)
draw ${feature_name} rainbow(${apparent_depth},2.75,3.5)
}
```

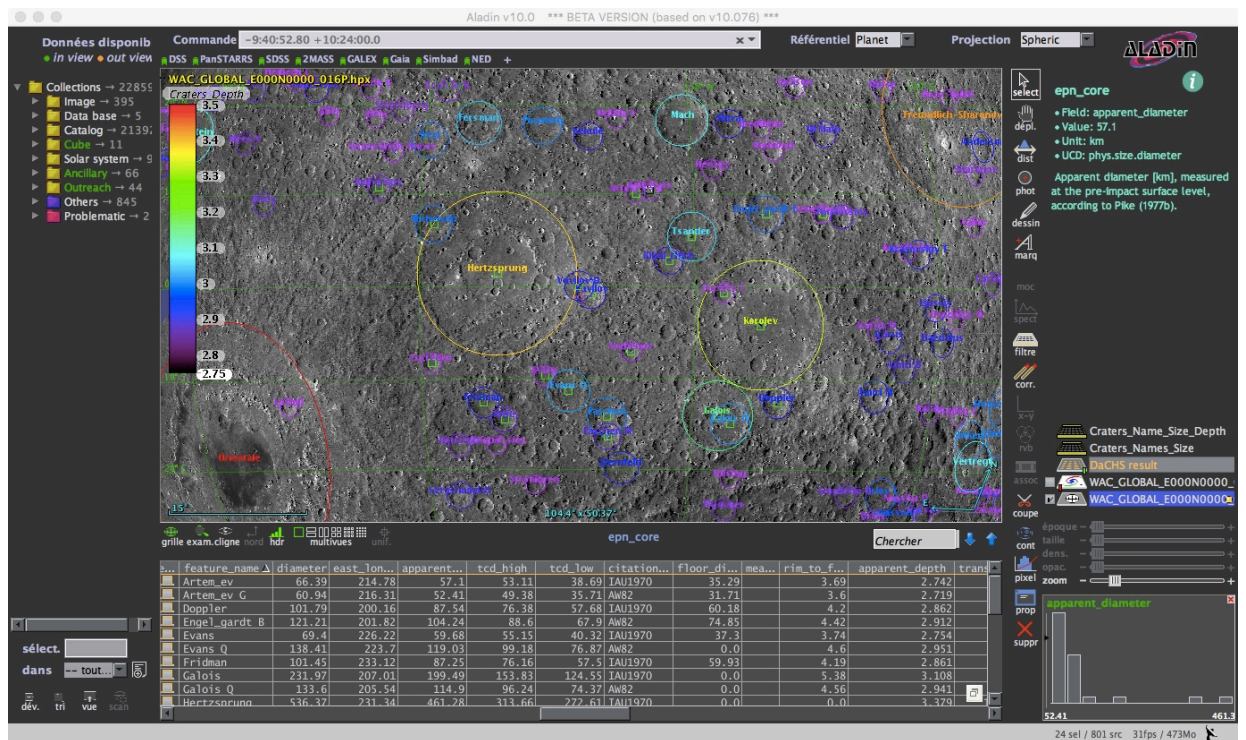
2.75,3.5 correspond à l'échelle colorimétrique. Il est possible de laisser ce champ vide et ALADIN ajuste automatiquement les couleurs au minimum et maximum de la colonne sélectionnée (ici 'apparent_depth').

- c) Il est possible d'afficher l'échelle colorimétrique en cliquant sur le bouton 'afficher la table des couleurs' dans la fenêtre définissant les propriétés du filtre.



Capture 2

- d) L'outil de sélection  en haut à droite de l'image permet ensuite d'afficher les informations concernant les cratères souhaités en dessous de l'image (cf capture 3).



Capture 3

4) Analyse de données avec TOPCAT

/ Première analyse : tracé de la profondeur du cratère en fonction du diamètre, mesures vs modèles.

- Sur le portail VESPA, on commence par récupérer l'ensemble des données (et non plus seulement les cratères de diamètre supérieur à 60km). Pour cela, il suffit de supprimer la requête adql 'diameter>60', et de soumettre à nouveau le formulaire. Puis, de nouveau 'all metadata → send table'.

NOTA : cette nouvelle table plus complète est alors aussi transmise à ALADIN. On voit alors que le filtre défini à l'étape précédente inclut ces nouveaux cratères. Pour conserver le filtre précédent, il suffit d'y ajouter la condition '\$ {diameter}>60' pour représenter le cratère. Le filtre devient donc :

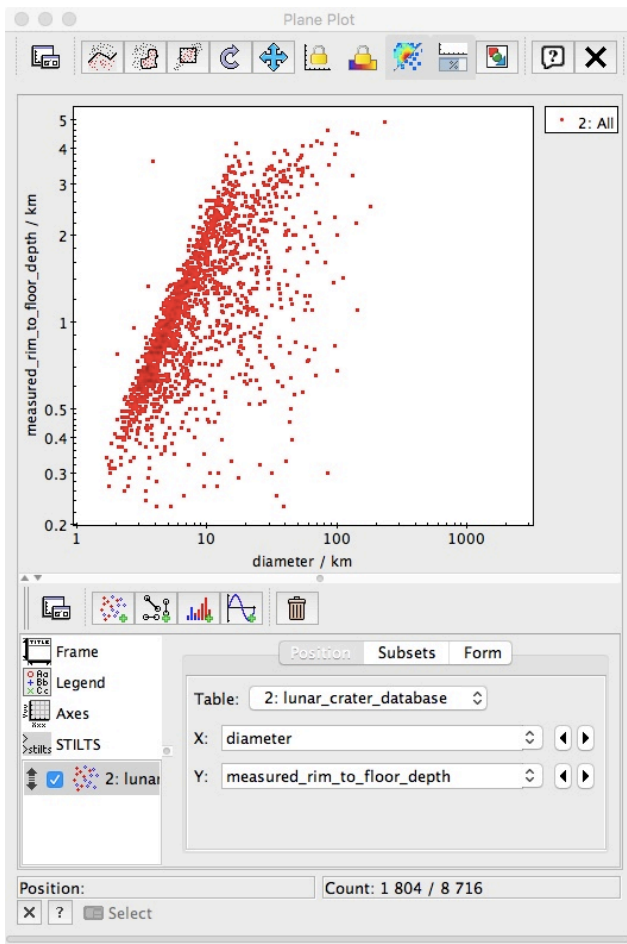
```

${diameter}>60
{
draw ellipse(0.5*118.7*${diameter}, 0.5*118.7*${diameter}, 0) rainbow(${apparent_depth},
2.75,3.5)
draw ${feature_name} rainbow(${apparent_depth},2.75,3.5)
}

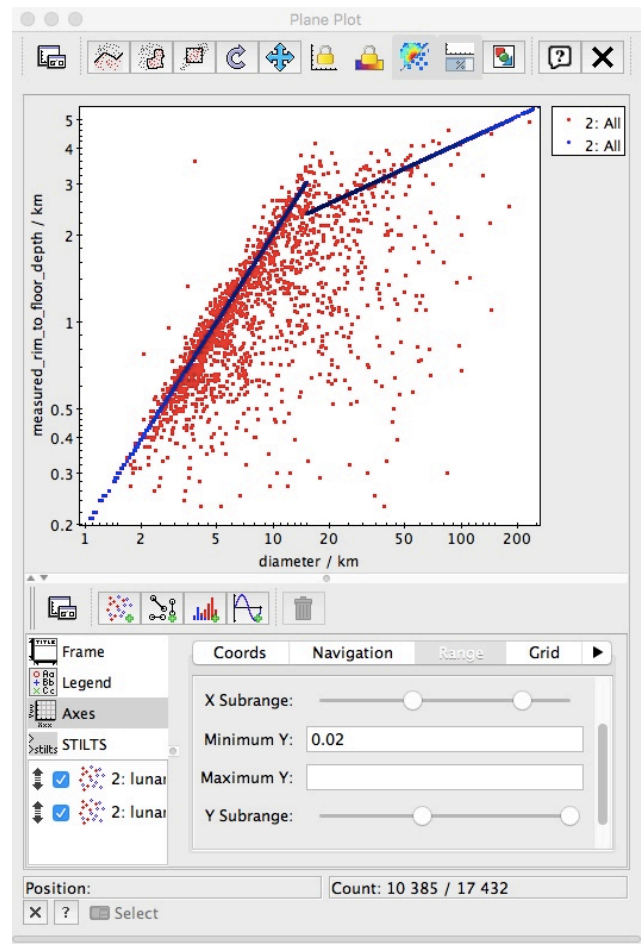
```

Pour modifier un filtre, il faut le sélectionner puis cliquer sur 'propriétés'


- La nouvelle table apparaît aussi dans TOPCAT. Elle porte le même nom 'lunar_crater_database' que la précédente, mais contient plus de lignes. On peut supprimer (facultatif) la première en utilisant 'file → discard table'
- Dans TOPCAT, sélectionner la table contenant toutes les lignes (la dernière ajoutée), puis ouvrir une fenêtre de graphique plan (icône 'plane plot' ou graphique → plane plot)



Capture 4



Capture 5

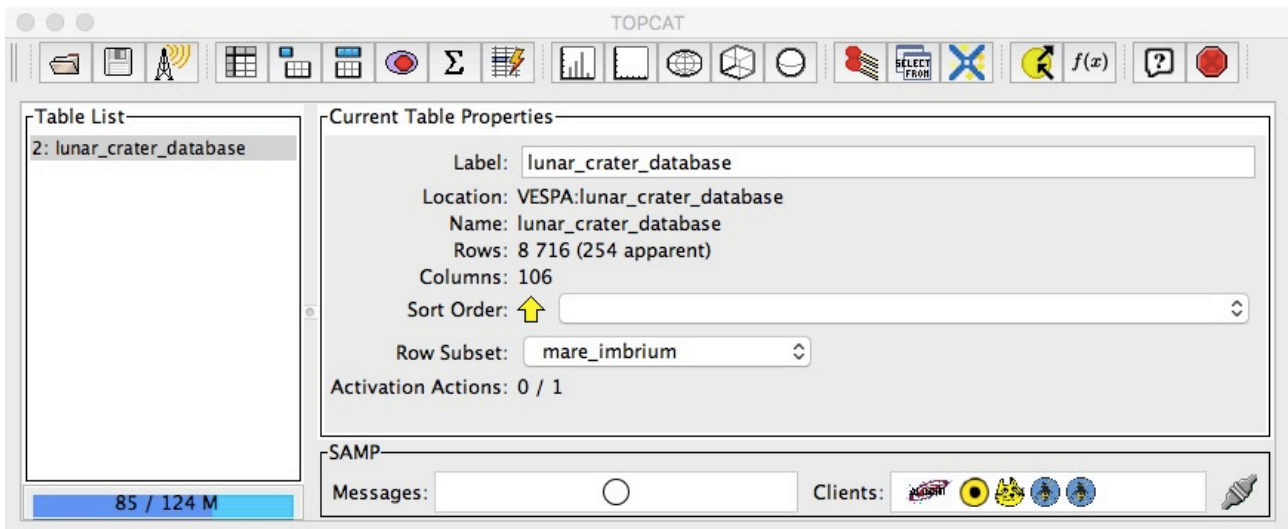
- d) Tracer la profondeur rempart/fond du cratère mesuré 'measured_rim_to_floor_depth' en fonction du diamètre 'diameter' du cratère (cf capture 4).
- e) Ajouter une nouvelle courbe au graphique (cliquer sur l'inconnu 'add a new positional plot control to the stack' )
- f) Tracer la profondeur rempart/fond du cratère modélisée 'rim_to_floor_depth' en fonction du diamètre 'diameter' du cratère (cf capture 5).
- g) Ajuster éventuellement les axes.

// Seconde analyse : densité de cratères dans deux différentes régions lunaires.

L'objectif est de comparer la densité de cratères dans la mer des pluies (mare Imbrium) et un plateau cratérisé.

D'abord, dans TOPCAT, on va donc sélectionner les cratères appartenant à chacune des régions souhaitées. La mer des pluies est un grand bassin d'impact centré sur le point de coordonnées (32.8°N, 15.6°W), et d'un diamètre de 1145km. On choisit donc une région de 1145 km de diamètre centrée sur ce point. Pour cela, on utilise equations de la distance du grand cercle, ou Haversine qui définit la distance D entre deux points de latitudes respectives $lat1$ et $lat2$ et de longitudes respectives $lon1$ et $lon2$ sur une sphère de rayon R comme :

$$D = R \arccos(\sin(lat1) \cdot \sin(lat2) + \cos(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \cos(lon2 - lon1))$$



Capture 6

Dans la base de données, la latitude et la longitude sont stockées en degrés respectivement dans les colonnes c2min et c1min. Dans le cas de Mare Imbrium, l'équation devient donc :

$$\frac{1145}{2} = R_{Lune} \arccos(\sin(32.8^\circ) \cdot \sin(c2min) + \cos(32.8^\circ) \cdot \cos(c2min) \cdot \cos(c1min - (-15.6^\circ)))$$


a) Dans TOPCAT, créer un nouveau sous ensemble :


- 'display row subsets' 
- 'define a new subset using algebraic expression' 

Subset name : mare_imbrium

Expression : $1145/2 > \arccos(\sin(32.8 \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \sin(c2min \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) + \cos(32.8 \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \cos(c2min \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \cos(-15.6 \cdot \text{DEGREE_RADIANS} - c1min \cdot \text{DEGREE_RADIANS})) \cdot 1737.4$

b) Il est ensuite possible d'envoyer la sélection à ALADIN pour la visualiser : sélectionner 'mare_imbrium' dans la fenêtre 'current table properties' de TOPACT (cf capture 6) puis

cliquer sur l'icône 'transmit table to all applications using SAMP' 

NOTE : Si le filtre défini plus tôt est toujours actif, il masque la sélection. Il faut donc le désactiver en cliquant dessus sur la pile d'images .

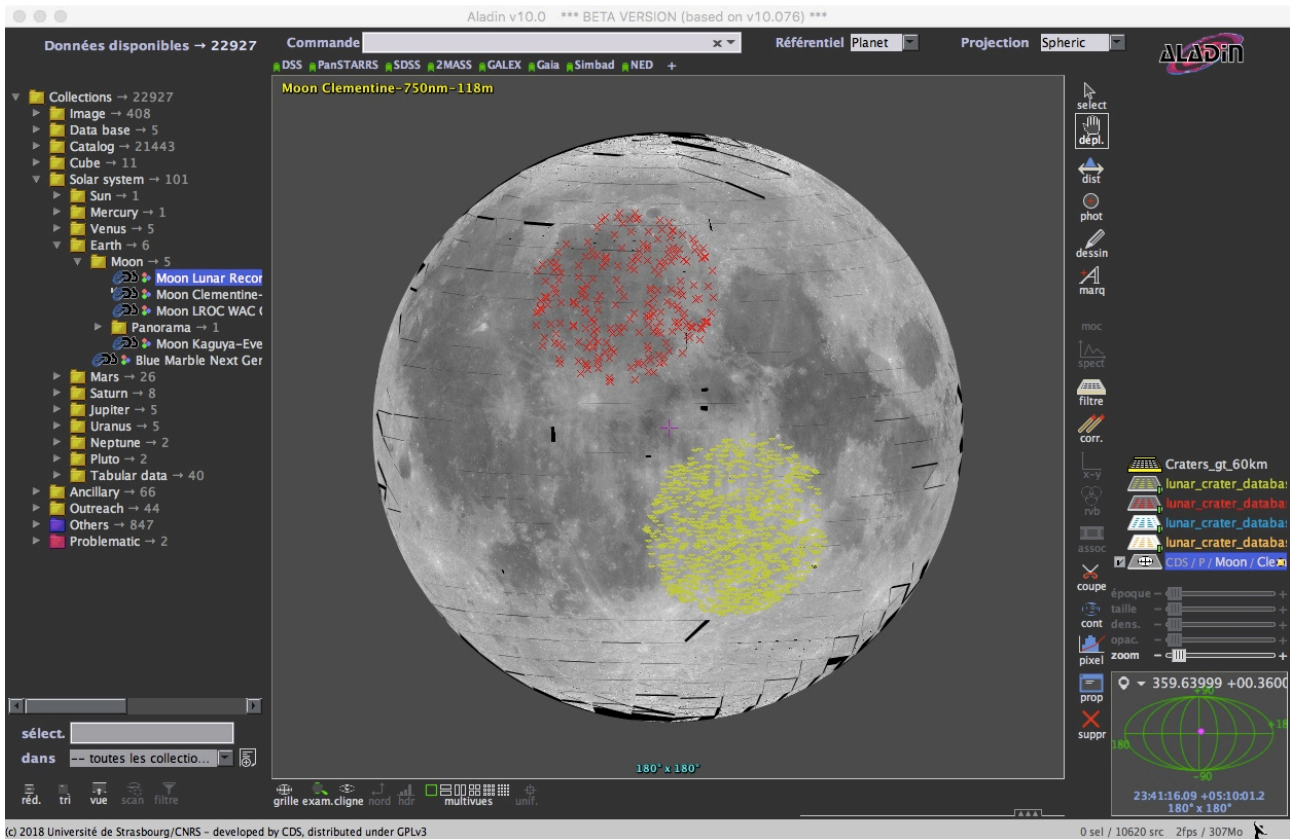
c) De même on crée dans TOPCAT une sélection géographique de même superficie dans les plateaux cratérisés, par exemple centrée sur (15°S, 10°E) :

- 'display row subsets' 
- 'define a new subset using algebraic expression' 

Subset name : plateau

Expression : $1145/2 > \arccos(\sin(-15 \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \sin(c2min \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) + \cos(-15 \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \cos(c2min \cdot \text{DEGREE_RADIANS}) \cdot \cos(10 \cdot \text{DEGREE_RADIANS} - c1min \cdot \text{DEGREE_RADIANS})) \cdot 1737.4$

d) De même que pour le sous ensemble de cratères de la Mer des Pluies, on peut envoyer le sous ensemble 'plateau' à ALADIN pour visualisation (cf capture 7).



Capture 7


- e) On trace ensuite les histogrammes représentant la densité de cratérisation en fonction de la taille du cratère pour les différentes zones retenues. Pour cela, on ouvre d'abord une nouvelle fenêtre de tracé d'historgramme , puis on trace la densité en fonction du diamètre (cf capture 8)

Table : lunar_crater_database
 X : diameter
 weight : 9.80014185e-7

Le poids à utiliser pour obtenir une densité de cratère par kilomètre carré vaut l'inverse de

la superficie S de la zone considérée, avec $S = 2\pi R_{Lune}^2 \left(1 - \cos \frac{D}{R_{Lune}} \right)$


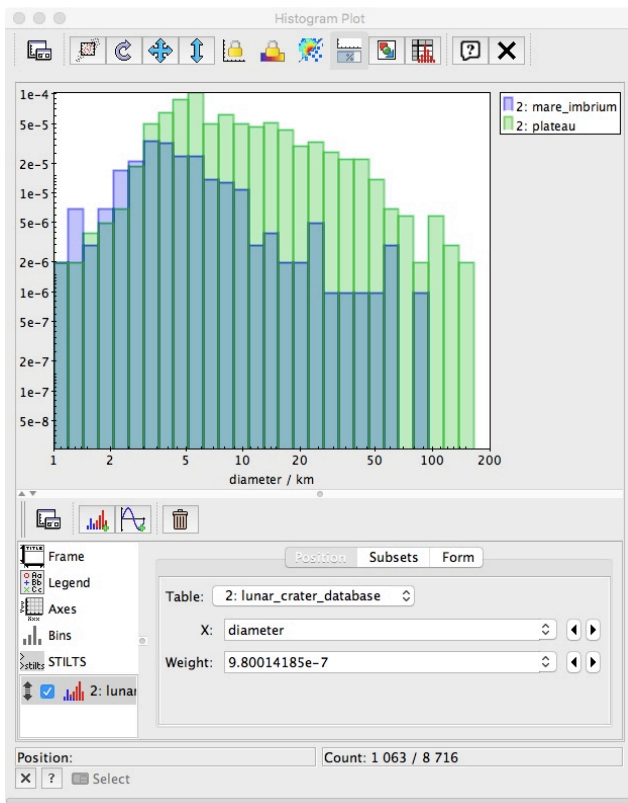
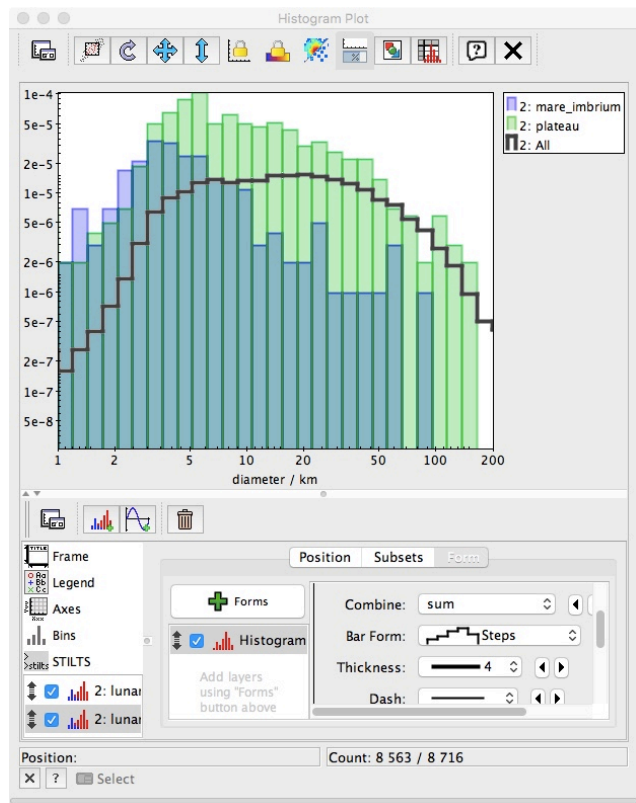
- f) Dans l'onglet 'Subsets', il faut ensuite décocher 'all', et cocher 'mare_imbrium' et 'plateau' pour visualiser les densités souhaitées. On peut ensuite ajuster l'historgramme en modifiant les axes (xlog, ylog) et la taille des bins.
- g) Il est aussi possible d'ajouter à l'historgramme précédent la densité de cratérisation pour l'ensemble de la Lune. Pour cela, il ne suffit pas de cocher 'all' dans l'onglet 'subsets', car on souhaite appliquer un poids différent de $1/S$ au nouvel histogramme, ici on doit diviser par $S_{Lune} = 3.793 \times 10^7 \text{ km}^2$. On ajoute un nouvel histogramme à la fenêtre 

Table : lunar_crater_database
 X : diameter
 weight : 2.63643554e-8



Capture 8










Capture 9

- h) Ensuite dans l'onglet 'subsets', on vérifie que 'all est coché et que les autres sous ensemble ne sont pas sélectionné. On peut obtenir adapter la vue en changeant par exemple la forme des barres dans l'onglet 'form' (cf capture 9)

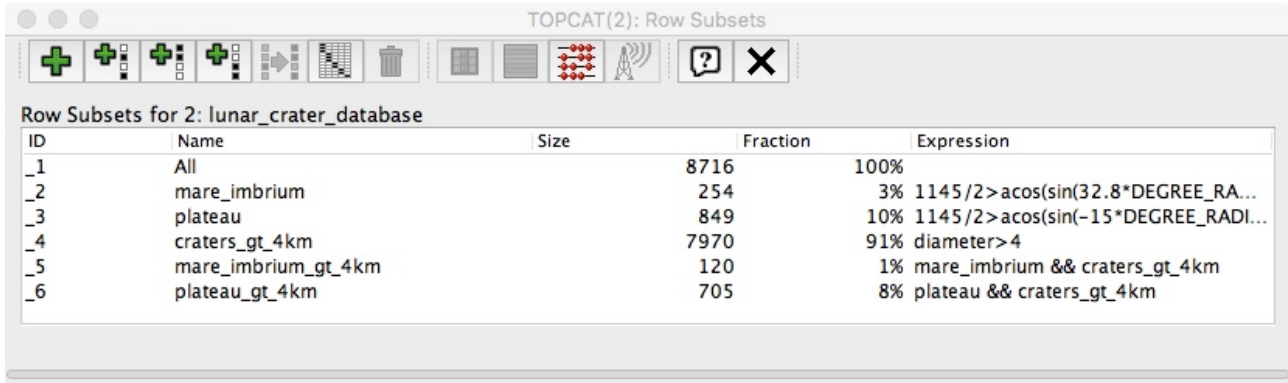
/// Densité de cratères de plus de 4km

On souhaite maintenant compter uniquement les cratères de plus de 4km de diamètre. On crée de nouveau un sous ensemble contenant tous les cratères de plus de 4km dans la base de donnée, qu'on croiera ensuite avec les sous ensemble créés précédemment.

- a) créer un nouveau sous ensemble : 'display row subsets'  puis 'define a new subset using algebraic expression' .
Subset name : craters_gt_4km
Expression : diameter>4
- b) créer un nouveau sous ensemble : 'display row subsets'  puis 'define a new subset using algebraic expression' .
Subset name : mare_imbrium_gt_4km
Expression : mare_imbrium && craters_gt_4km
- c) créer un nouveau sous ensemble : 'display row subsets'  puis 'define a new subset using algebraic expression' .
Subset name : plateau_gt_4km
Expression : plateau && craters_gt_4km

- d) Il est toujours possible (facultatif) d'envoyer ses sous ensemble pour visualisation a ALADIN en sélectionnant le sous ensemble (subset) souhaité dans la fenêtre principale de TOPCAT et en cliquant sur l'icône 'transmit table to all applications using SAMP' .

On obtient ici directement le nombre de cratères de plus de 4 km dans chaque zone : 120 pour Mare Imbrium et 705 pour le plateau (cf capture 10)



Row Subsets for 2: lunar_crater_database

ID	Name	Size	Fraction	Expression
_1	All	8716	100%	
_2	mare_imbrium	254	3%	1145/2>acos(sin(32.8*DEGREE_RA...
_3	plateau	849	10%	1145/2>acos(sin(-15*DEGREE_RADI...
_4	craters_gt_4km	7970	91%	diameter>4
_5	mare_imbrium_gt_4km	120	1%	mare_imbrium && craters_gt_4km
_6	plateau_gt_4km	705	8%	plateau && craters_gt_4km

Capture 10

En divisant par la superficie S de chaque zone, on obtient les densités respectives pour Mare Imbrium et le plateau choisi, que l'on peut reporter dans la figure 1, extraite de Heiken et al. 1991, Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1991QB581.L766.....>) :

$$D_{Imbrium} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ km}^{-2}$$

$$D_{plateau} = 6.9 \times 10^{-4} \text{ km}^{-2}$$

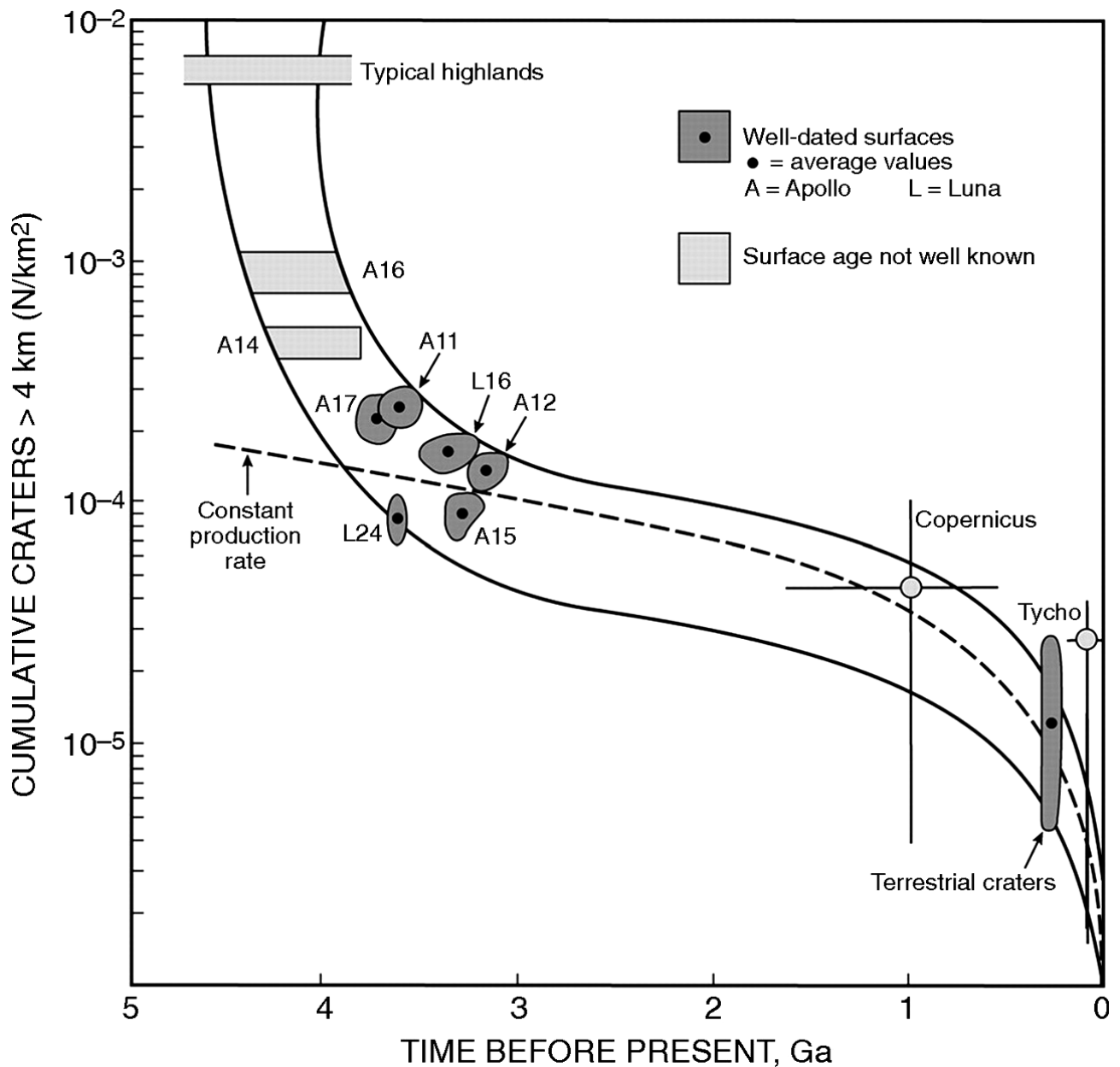
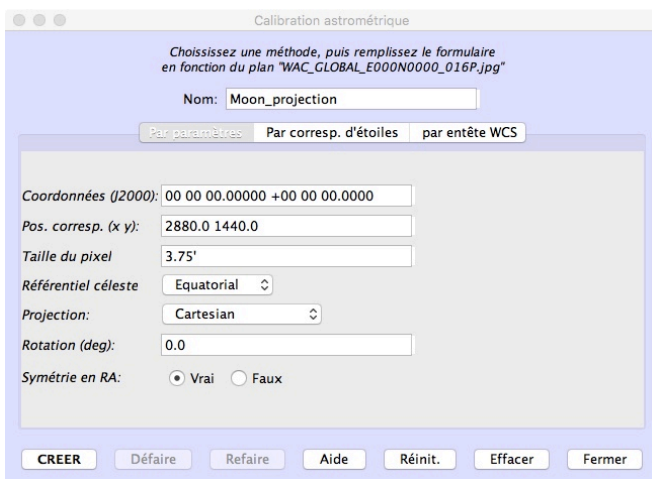


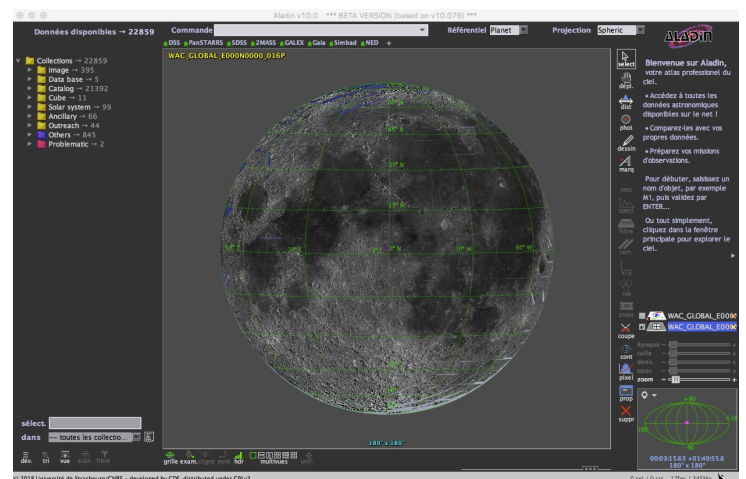
Figure 1 : nombre de cratères de plus de 4km de diamètre par unité de surface en fonction de l'âge de la surface sur la Lune, tiré de Heiken et al. 1991, Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1991QB581.L766.....>)

Étape supplémentaire, dans le cas d'une utilisation de la version officielle d'Aladin, qui ne prend pas en charge la projection sur des objets du Système Solaire : Préparer un support dans Aladin pour afficher les données

- Aller chercher une carte de la Lune sur le site de LROC (http://lroc.sese.asu.edu/data/LRO-L-LROC-5-RDR-V1.0/LROLRC_2001/EXTRAS/BROWSE/WAC_GLOBAL/WAC_GLOBAL_E000N0000_016P.TIF) Image à 16 px/deg → 5760 × 2880 px
- La convertir en jpg (convert WAC_...016P.TIFF WAC_...016P.jpg, ou dans le lecteur d'image avec les fonctions 'save as' ou 'export')
- La charger dans Aladin comme fichier local (édition -> charger un fichier local)
- La version officielle d'Aladin ne prends pas en charge la représentation de planètes ou satellites. Dans celle-ci, la meilleure solution consiste à choisir le référentiel ICRSD, qui permet d'afficher une grille en degrés. Les superpositions générées par la suite fonctionneront normalement au détail près que la grille affichée par Aladin (icône grille en bas à gauche de l'image) sera faussée en longitude.



Capture 11



Capture 12

- Créer un HIPS avec l'image courante : pour ça, d'abord il faut donner à Aladin la taille angulaire d'un pixel, etc...
 - aller dans image -> calibration astrométrique (cf capture 11)
 - remplir comme suit (3.75'=360*60/5760)
 - Pos corresp (x y) : 2880 1440
 - Taille du pixel : 3.75'
 - Referentiel celeste : Equatorial
 - Projection : Cartesian
 - Rotation : 0
 - Symétrie en RA : Vrai
 - → CREER
- Passer en projection sphérique (en haut à droite dans la fenêtre principale Aladin, cf capture 12)