

A high-resolution grayscale image of the lunar surface. The terrain is covered in numerous craters of various sizes, from small pits to large, complex impact basins. Some craters have distinct shadows, highlighting their depth. The surface also shows signs of tectonic activity with linear features and smoother, darker areas (maria).

L'imagerie lunaire à haute résolution

Christian Viladrich

<http://www.astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/closeup.html>

Sommaire

- La lutte contre la turbulence :
 - Impact de la longueur d'onde et de la hauteur de la lune,
 - Figurer la turbulence : temps de pose et filtre ?
 - La dispersion atmosphérique.
 - Et la turbulence instrumentale.
- La mise au point : tolérance et méthodes.
- Optique : échantillonnage optimal et couverture de champ.
- La caméra : durée d'acquisition, nombre de bits, gamma.
- Traitement d'images
- Questions

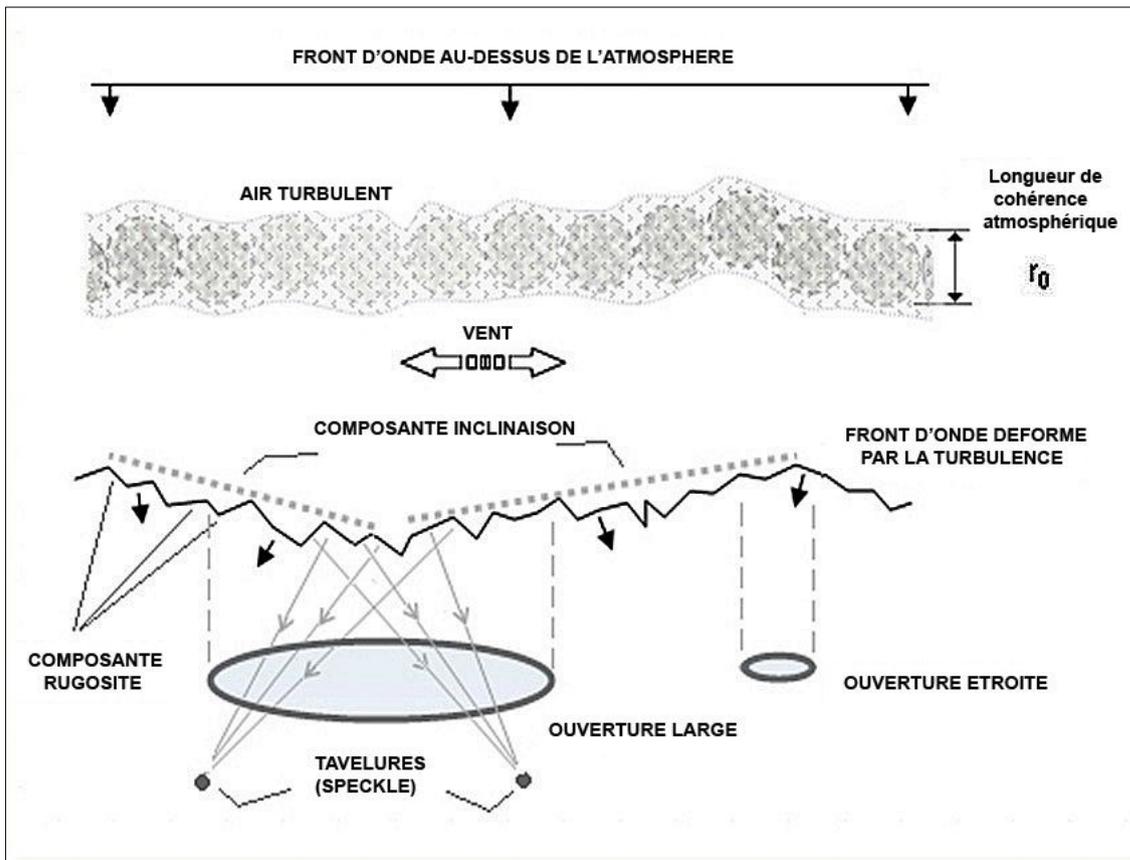


La turbulence ...



Atmosphère, turbulence et seeing

L'atmosphère est la plus mauvaise partie de l'optique du télescope



L'indice de réfraction de l'air dépend de la température et de l'humidité

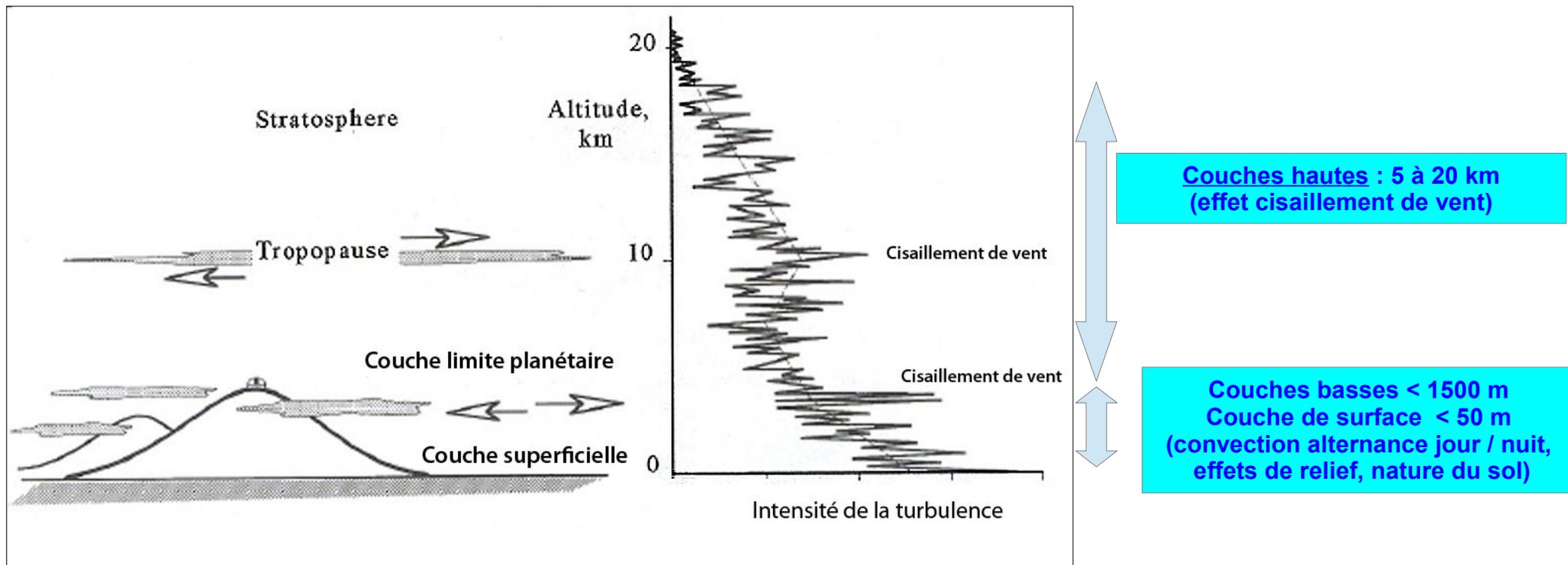
L'atmosphère déforme en permanence le front d'onde incident

Ordre de grandeur :
Un écart de 0.6°C dans une cellule de turbulence de 20 cm entraîne un écart de $\lambda/4$ sur le front d'onde



Atmosphère, turbulence et seeing

Les différentes couches de turbulence



Moins de turbulence dans le R et l'IR ...

Sans turbulence, le pouvoir séparateur augmente dans le bleu :

- Pouvoir séparateur théorique $PS = 1.02 D / \lambda$

Mais la turbulence diminue le pouvoir séparateur :

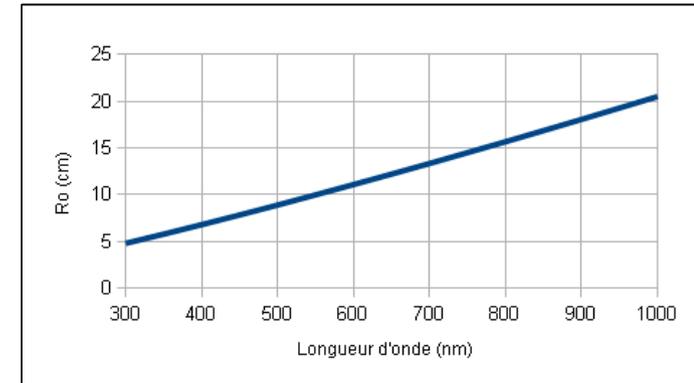
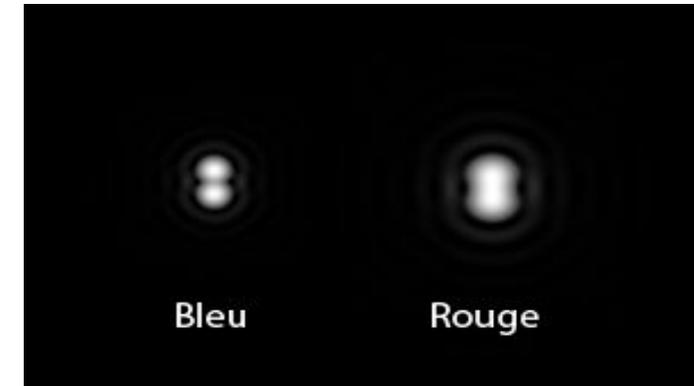
- Pouvoir séparateur devient $PS = 1.02 r_o / \lambda$

La turbulence est plus faible dans le rouge :

- car r_o proportionnel à $\lambda^{1.2}$
- diminue d'un facteur X1.55 quand passe du bleu au rouge.

Compromis à trouver en résolution théorique et turbulence...

- Couleur du filtre à adapter en fonction du niveau de turbulence.
- $D = 200$ mm : filtre R, V (rarement B)
- $D = 300$ mm : filtre R (et rarement V)
- $D > 450$ mm : filtre IR685 nm ?



Figurer la turbulence ?

La vitesse de l'agitation des images dépend aussi de la longueur d'onde.

Temps de cohérence : $\tau_o = 0.314 r_o / V$

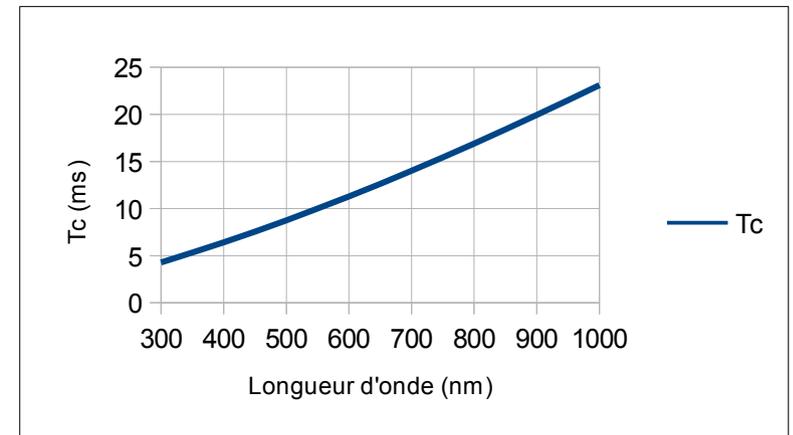
- avec V = vitesse moyenne de(s) la couche(s) turbulente(s).
- **Turbulence figée si temps de pose $< \tau_o$**
- Temps de cohérence augmente avec la longueur d'onde,
- Ordre de grandeur : 3 à 10 ms

Conséquences :

- On pourra poser plus longtemps dans le R que dans le B.
- La limite au temps de pose "court" est fixé par le bruit de lecture de la caméra :
400 poses de 5 ms (=2000 ms) ne sont pas équivalentes à 100 poses de 20 ms (sauf sur caméra EMCCD)
- D'où intérêt d'un capteur très sensible et avec un faible bruit de lecture.

Dans la pratique, il faudra poser plus long que temps de cohérence du fait du bruit de lecture caméra :

- Temps de pose typiques: en général 25 à 40 ms (plus rarement 10 à 15 ms) ...

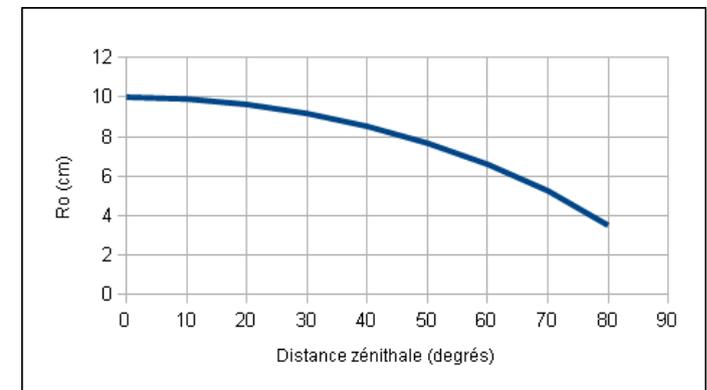


Hauteur de la lune et turbulence

Hauteur de la lune au passage au méridien comprise entre 20° et 70° selon la saison (pour latitude 45°):

La turbulence augmente avec la distance zénithale :

- r_0 proportionnel à $(\cos z)^{0.6}$
- Augmente d'un facteur X1.55 quand on passe du zénith à $H = 35^\circ$



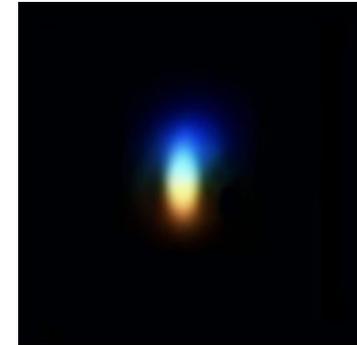
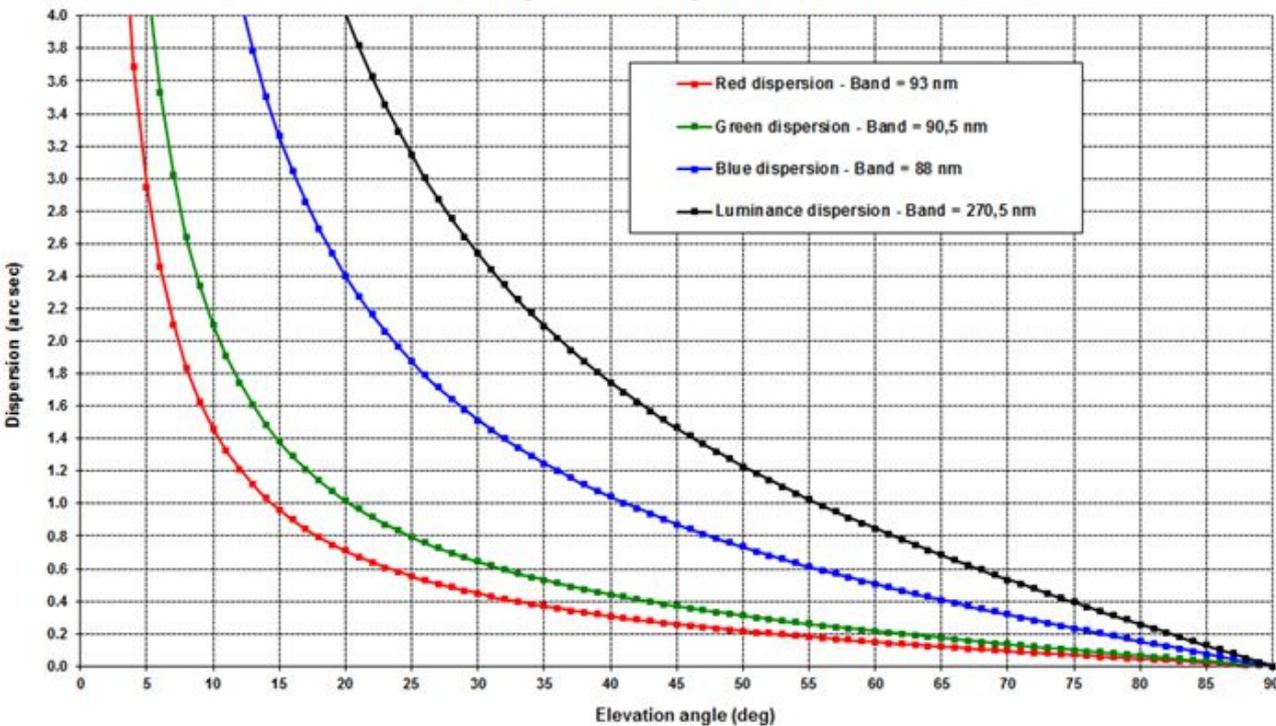
Conséquences :

- Travailler quand la lune est à déclinaison haute ($\delta > 20^\circ$), et proche du méridien.
- PQ : fin hiver / printemps
- DQ : été / automne



Hauteur de la lune et dispersion atmosphérique

Atmospheric dispersion effect



Courbes JP. Prost – détails sur <http://astrosurf.com/prostjp/Dispersion.htm>

L'utilisation d'un filtre est indispensable.
Filtre à utiliser dépend diamètre instrument et hauteur

Encore mieux : correcteur de dispersion atmosphérique
(+ filtre complémentaire pour la turbu)

Diamètre	200 mm	350 mm
Pouvoir séparateur	0.6"	0.34 "
Dispersion interbande max admissible	0.6 "	0.34 "
L	> 67°	> 77°
B	> 55°	> 72°
V	> 35°	> 50°
R	> 25°	> 40°



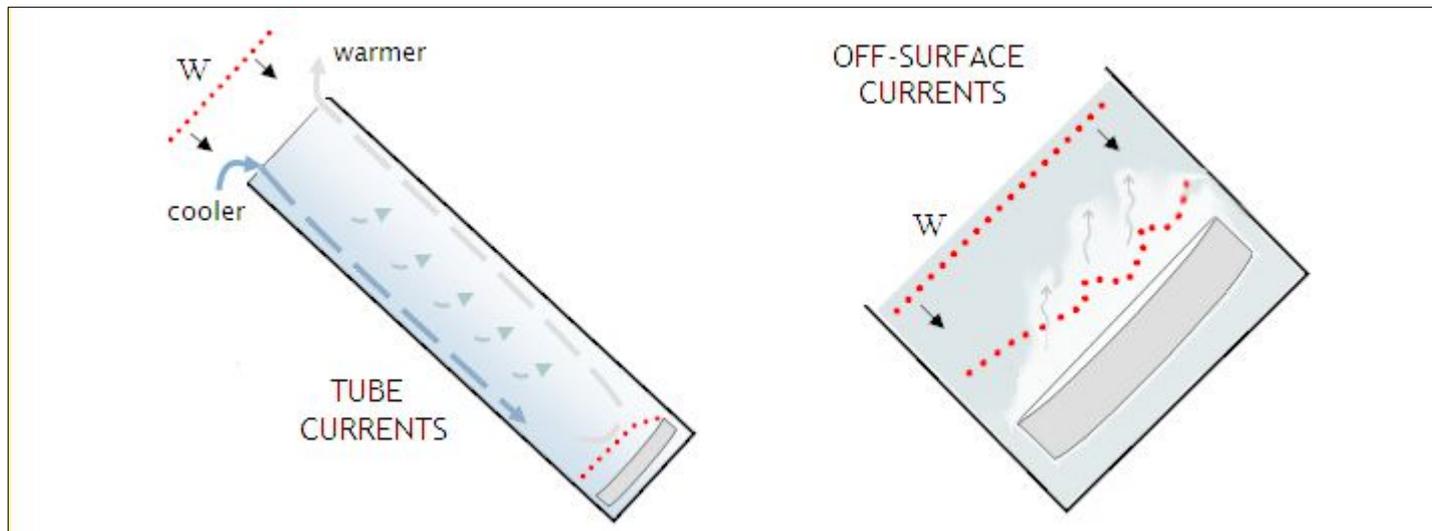
Correcteur de dispersion atmosphérique



Graduations pour étalonnage du réglage

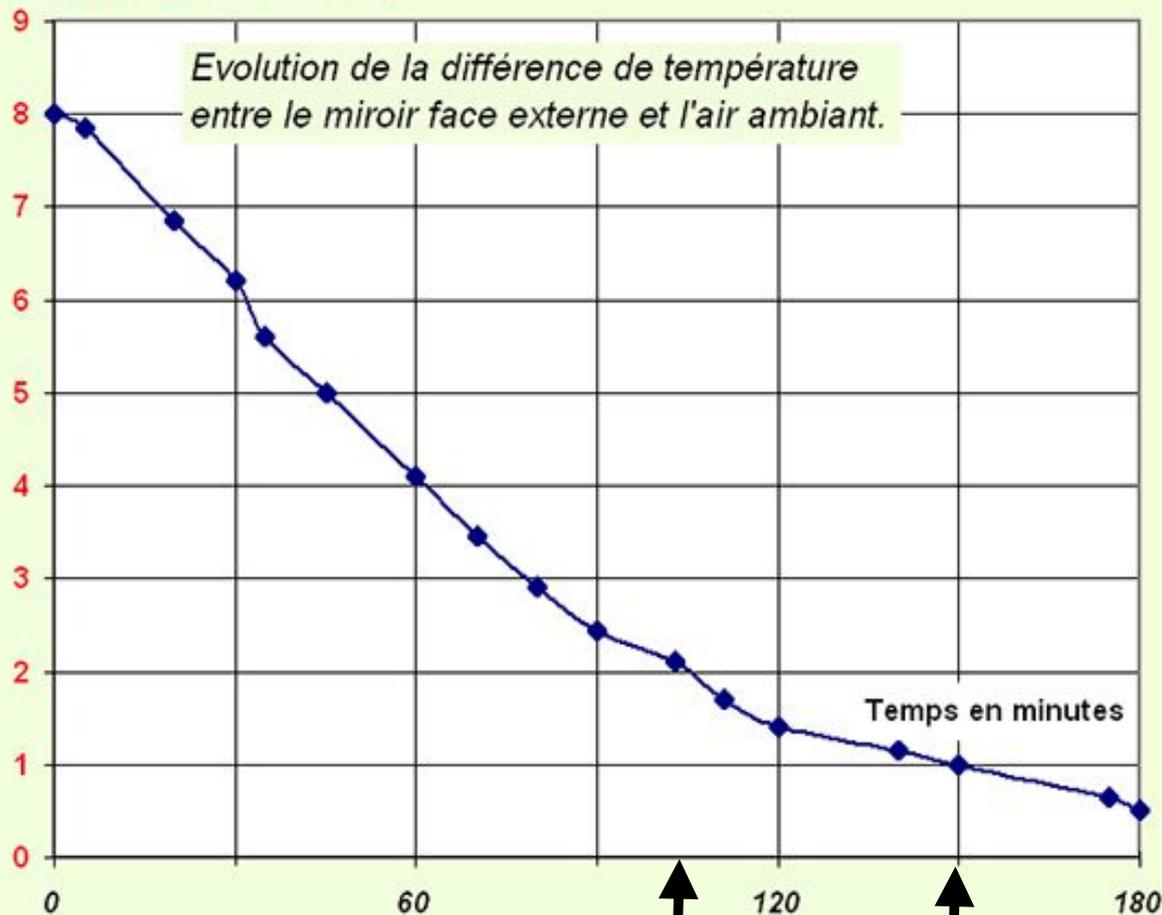
La turbulence interne

- Source chaude : la chaleur accumulée par le miroir.
- Source froide : les parois du tube qui joue le rôle de dissipateur thermique.
- Effet cheminée : l'air chauffé par le miroir monte, alors que l'air refroidie (par le tube, le baffle, etc) redescend.
- Il y a dégradation du seeing dès que le miroir est plus chaud de 2°C par rapport à la température ambiante.
- Ventilation miroir fortement conseillée à partir de $D = 250$ mm



Durée de mise en température Mewlon 250 mm (non ventilé)

Ecart de température en degrés



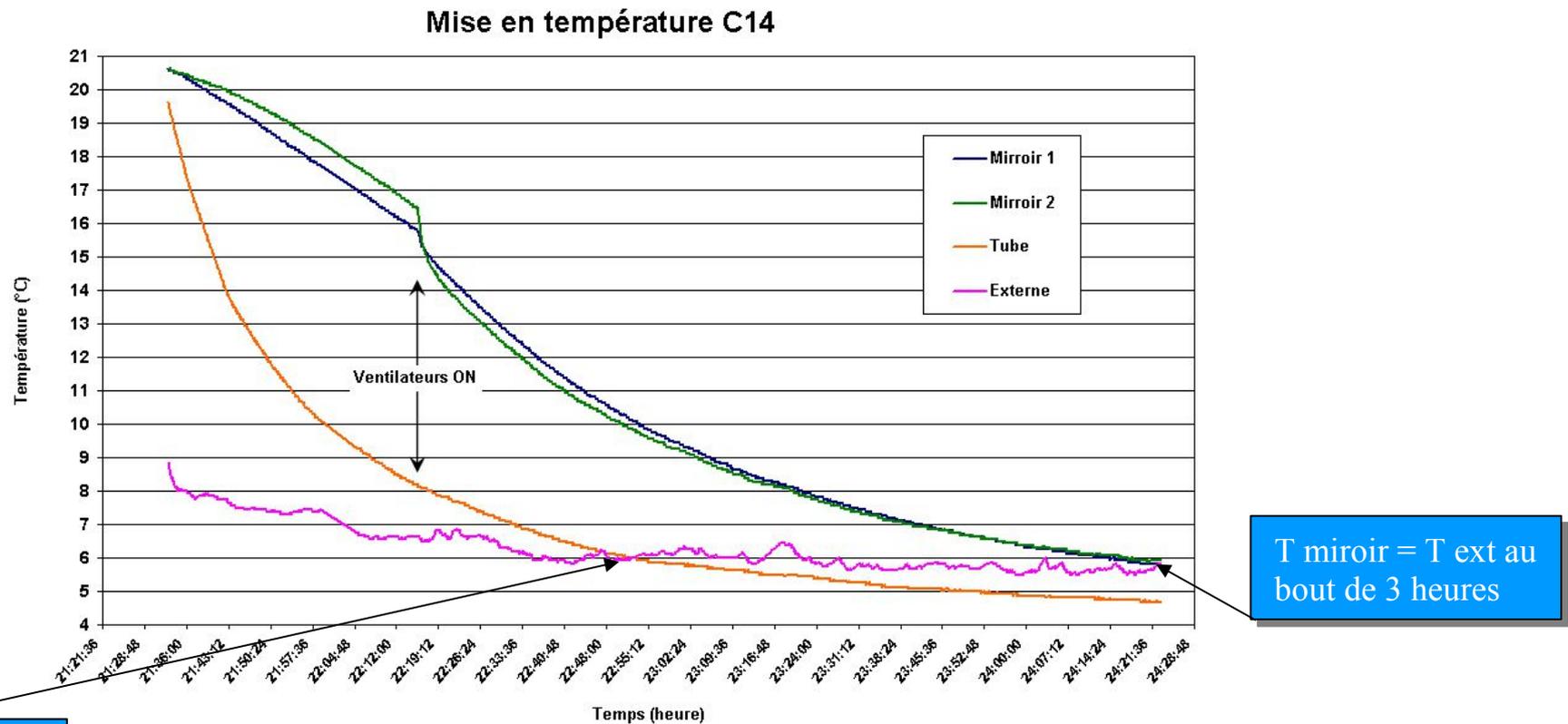
Mesures : Lucien P

- 90 mn pour réduire l'écart à 2°C
- 2 h 30 pour réduire l'écart à 1°C



Durée de mise en température C14

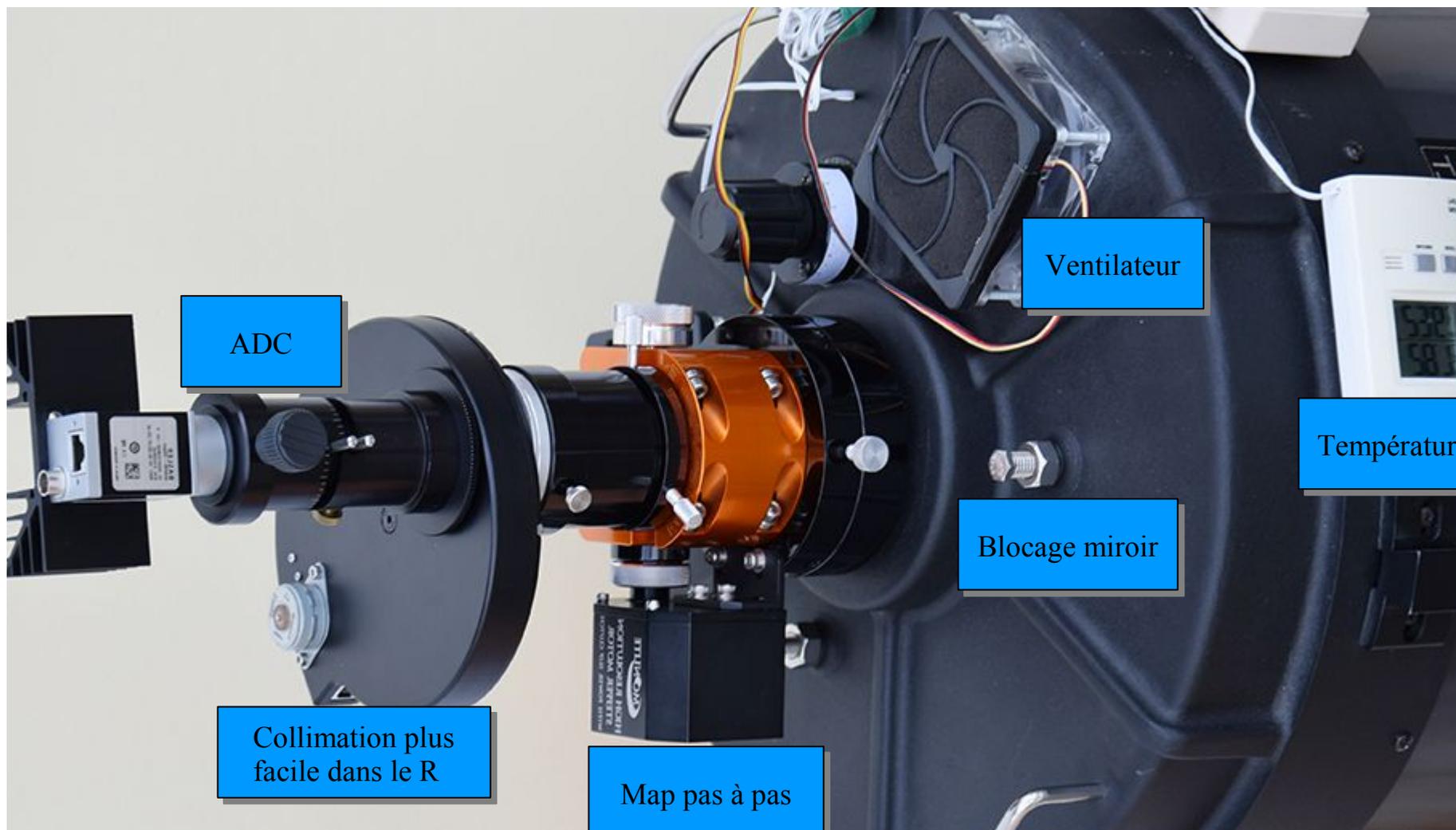
Exemple Celestron 14 : peut aller à 6h si non ventilé (rend observation PQ difficile), 2 h typique si ventilé....



Courbes de température : JP. Prost



Un Celestron 14 optimisé pour la HR



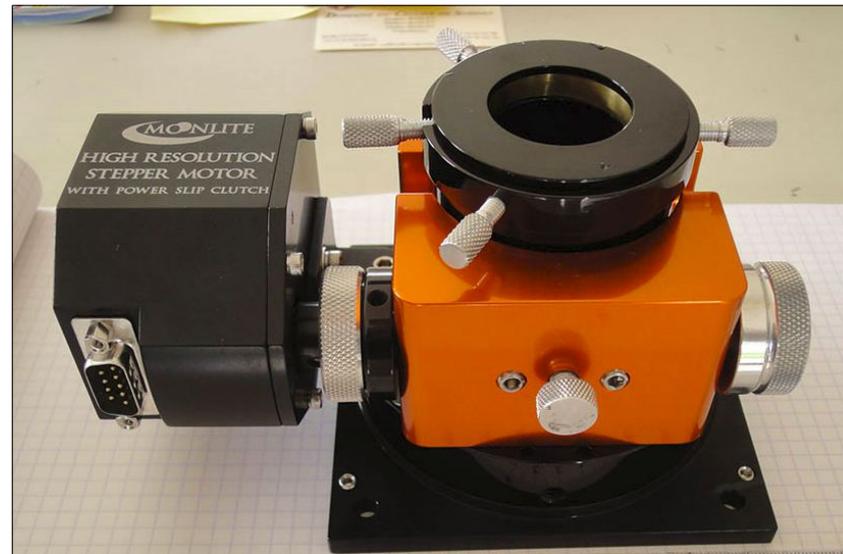
La mise au point ...



Méthodes de mise au point

Avantage d'un système gradué (comparateur à cadran, moteur pas à pas, ...) :

- Mise au point à l'écran sur la lune (en général plus précis que sur une étoile).
- Réglage par encadrement successif de la zone de netteté.
- A refaire régulièrement car varie en fonction de l'évolution de la température au cours de la nuit.
- Si motorisée : peut-être affinée en cours d'acquisition en profitant des trous de turbulence.



Tolérance sur la mise au point

L'erreur de mise au point peut être considérée comme une aberration optique supplémentaire.

Pour un aberration maximale de defocus de $\lambda / 4$ (P-V) au foyer, la tolérance de mise au point est :

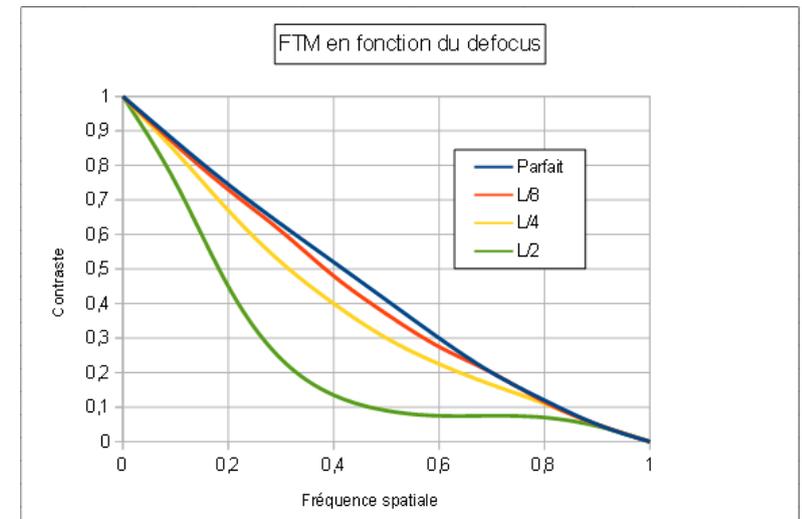
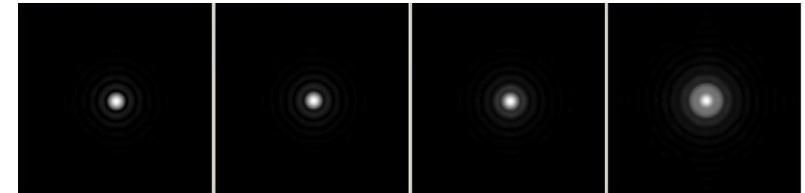
$$\pm \delta f = \pm 2 \lambda (F/D)^2$$

La tolérance d'autant plus faible que F/D et λ sont faibles.

	450	550	650
F/D	Bleu	Vert	Rouge
2	4	4	5
4	14	18	21
5	23	28	33
6	32	40	47
7	44	54	64
8	58	70	83
10	90	110	130
11	109	133	157

Valeurs en microns

Tolérance très serrée sur les Newton très ouverts



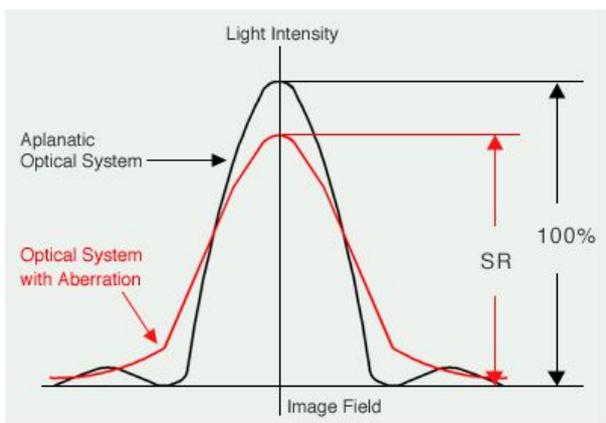
F / D à considérer = celui de l'élément mobile (donc F/D 2 sur un SC si map par miroir primaire)



Un peu d'optique ...

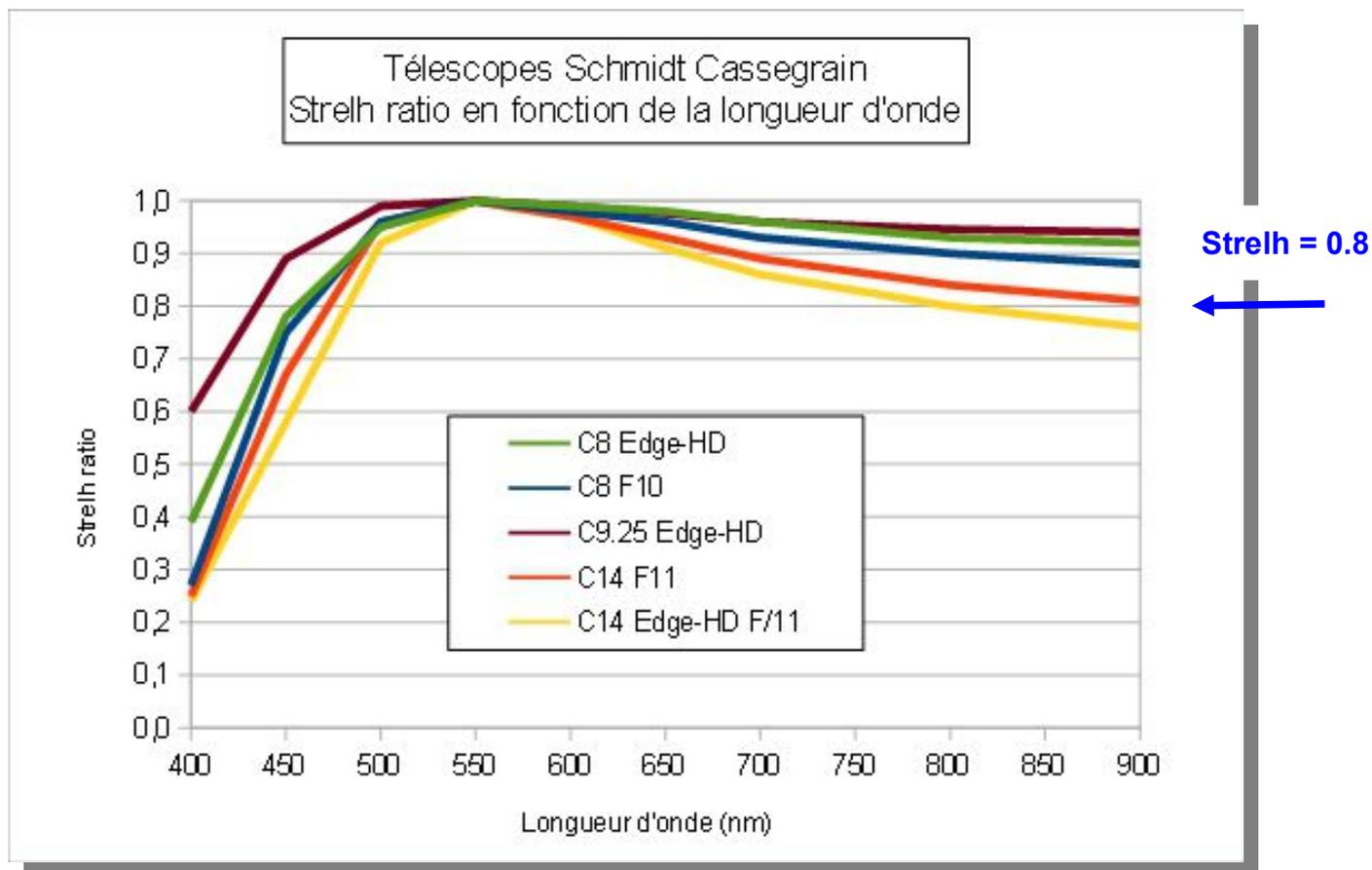


Performances théoriques des Schmidt-Cassegrain en fonction de la longueur d'onde



Optique limitée par la diffraction quand (critère de Rayleigh) :

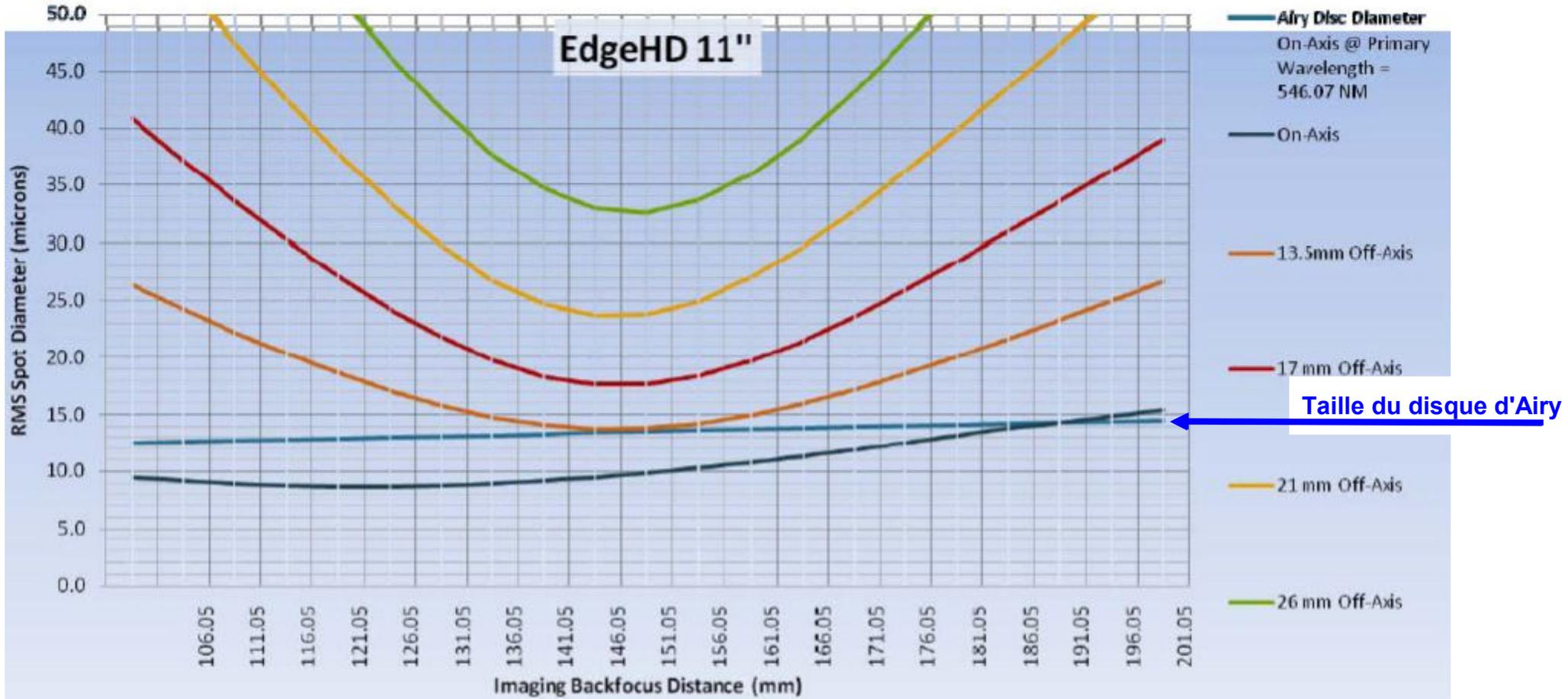
P-V $< \lambda / 4$
 Strehl > 0.8
 rms $< 0.07 \lambda$



Corrigés à partir de 486 nm



Influence du backfocus sur performances C11 EdgeHD



Quel échantillonnage ?



Echantillonnage optimal ?

Échantillonnage (ou échelle des images sur le capteur) : nombre de secondes d'arc par pixel

Échantillonnage = arctg (taille pixel / focale résultante)

$$E_{\text{(secondes d'arc)}} = 206 \times \text{taille pixel}_{\text{(microns)}} / \text{focale résultant}_{\text{(mm)}}$$

Quel échantillonnage pour avoir toute la résolution de l'instrument ?

- Théorème de Shannon : échantillonnage doit être > à 2 X le pouvoir séparateur. X2 OK, si le but est juste de séparer les composantes d'une étoile double.
- Mais pas suffisant s'il s'agit de détecter les détails les plus petits possible (ie. peu contrastés) : on a intérêt à suréchantillonner.
- L'expérience montre que sur la Lune on gagne encore en résolution / détection de détails avec un échantillonnage à X3.5 le pouvoir séparateur
- Exemple Celestron 14 : échantillonnage de 0.11 à 0.12" / pixel dans le rouge (PS théorique de 0.40").



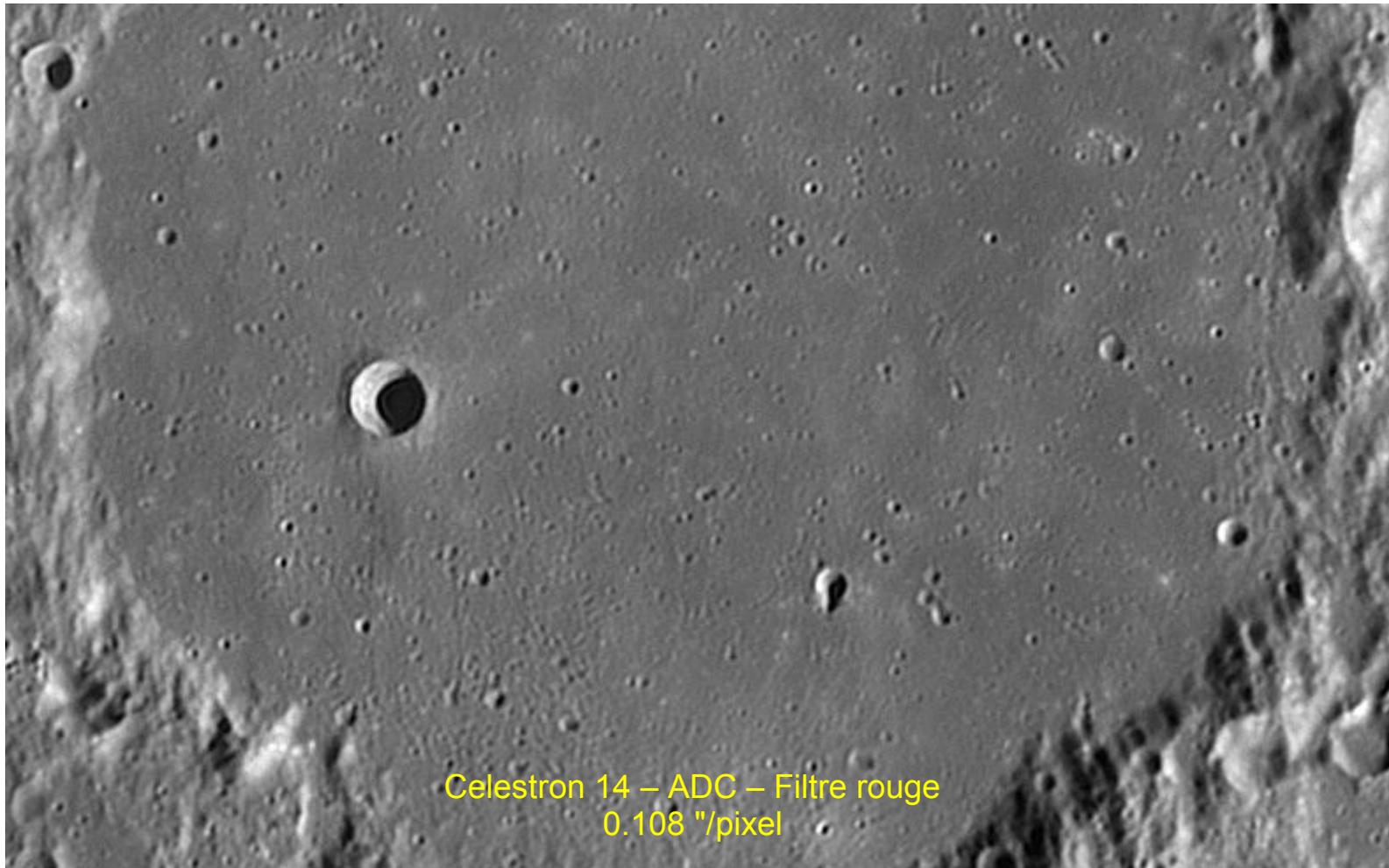
Echantillonage X2.8



Celestron 14 – 0.14"/pixel -Filtre jaune



Echantillonage X3.7



Celestron 14 – ADC – 0.108"/pixel -Filtre rouge
IDS 3370 - Pose 30 ms – 900 images

Rainure à l'intérieur de la Vallée des Alpes
600 à 900 m de largeur, soit ~ 0.22 à $0.35''$

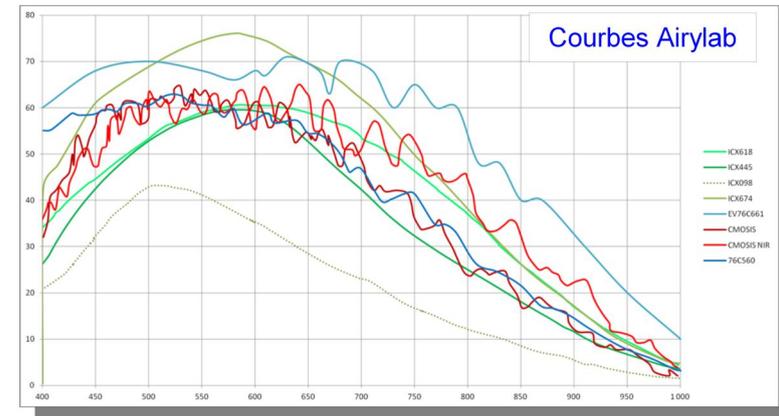
70 cratères visibles dans Platon ?

Caméra et réglages ...



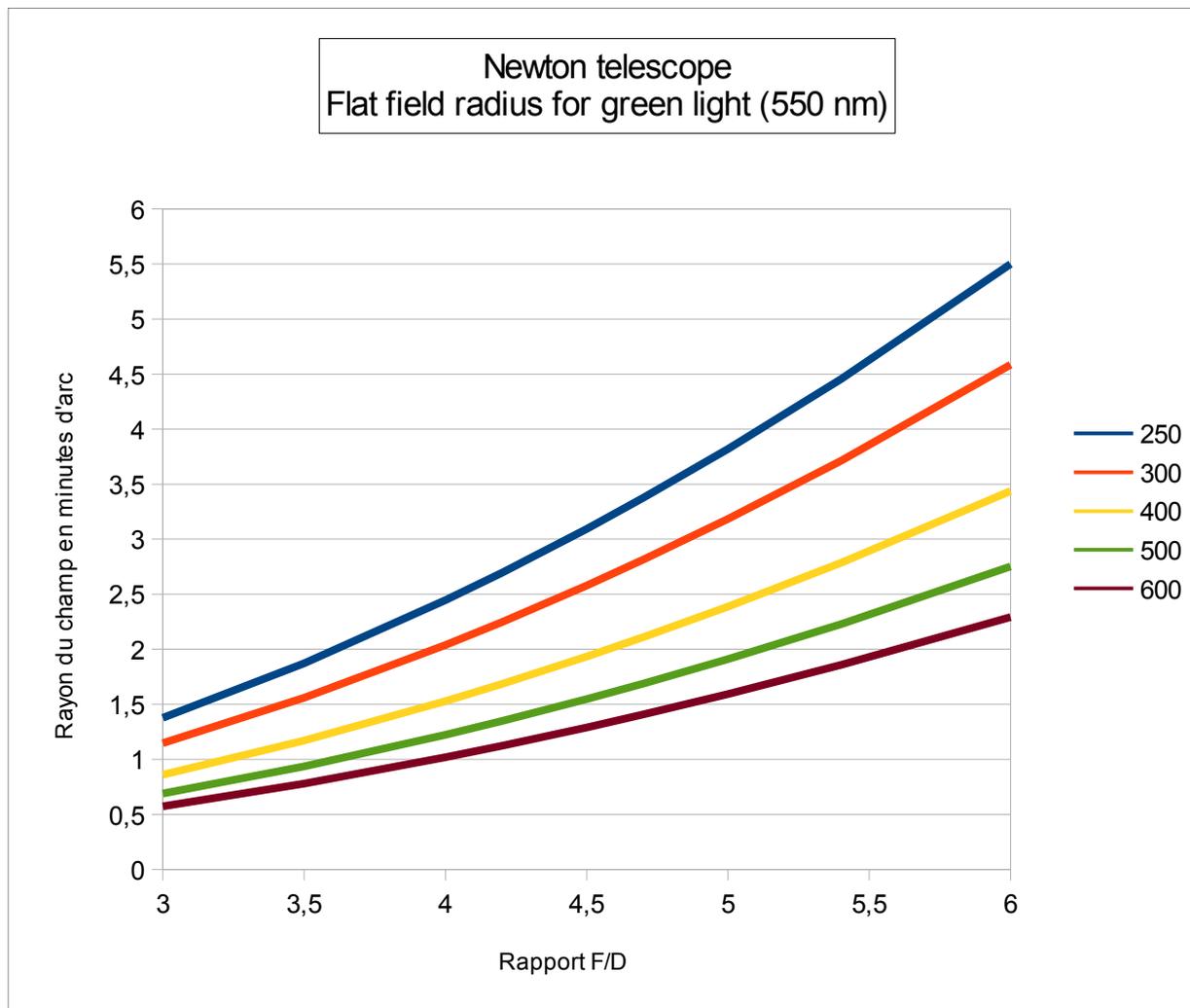
Quelle caméra pour la lune ?

- Avoir capteur avec beaucoup de pixels pour couvrir un champ important sans devoir faire une mosaïque.
- Capteur HD (1920 x 1080 pixels) ou plus (2000 x 2000 pixels)
- Limite des gros capteurs :
 - le champ de netteté de l'instrument doit être assez grand.
 - performances PC : taille fichiers, vitesse écriture du disque.
- Quelle cadence max utile ?
 - 50 fps \Leftrightarrow pose de 20 ms, 33 fps \Leftrightarrow pose 30 ms
- Bonne sensibilité dans le R et le V.
- Bruit le lecture le plus faible possible.
- Quelques capteurs récents intéressants : Aptina, E2V, ICX674, CMOSIS 4000, (ICX 174?)



Télescope Newton et gros capteur ?

Taille du champ plan limité par la diffraction



Rapport F/D minimal du Newton pour couvrir diagonale du capteur si échantillonnage égal à X3 PS :

- capteur 1392 x 1040 pixels => $F/D > 3.9$
- capteur 1900 x 1200 pixels => $F/D > 4.5$
- capteur 2000 x 2000 pixels => $F/D > 5$

Suppose que la collimation est parfaite...

Les Barlow peuvent augmenter ou diminuer le champ de netteté (selon formule optique).

Intérêt éventuel Barlow corrigeant la coma (X2.7 ED APM conçue pour F/4)



Acquisition en 12 bits ou 8 bits ?

Dynamique : capacité max (en e^-) / bruit lecture (en e^-)

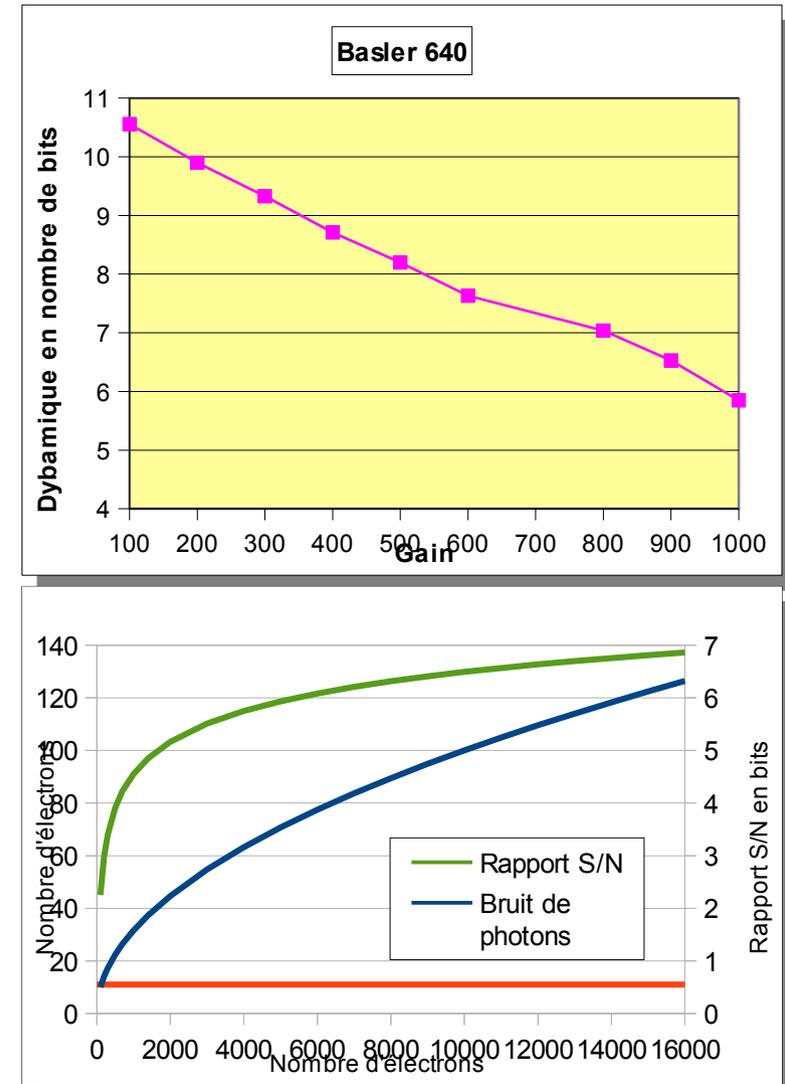
- Rapport entre le signal le plus fort et le signal le plus faible que l'on peut enregistrer simultanément sur la même image.
- Flans des cratères brillants / mers au terminateur.
- La dynamique diminue quand le gain augmente.

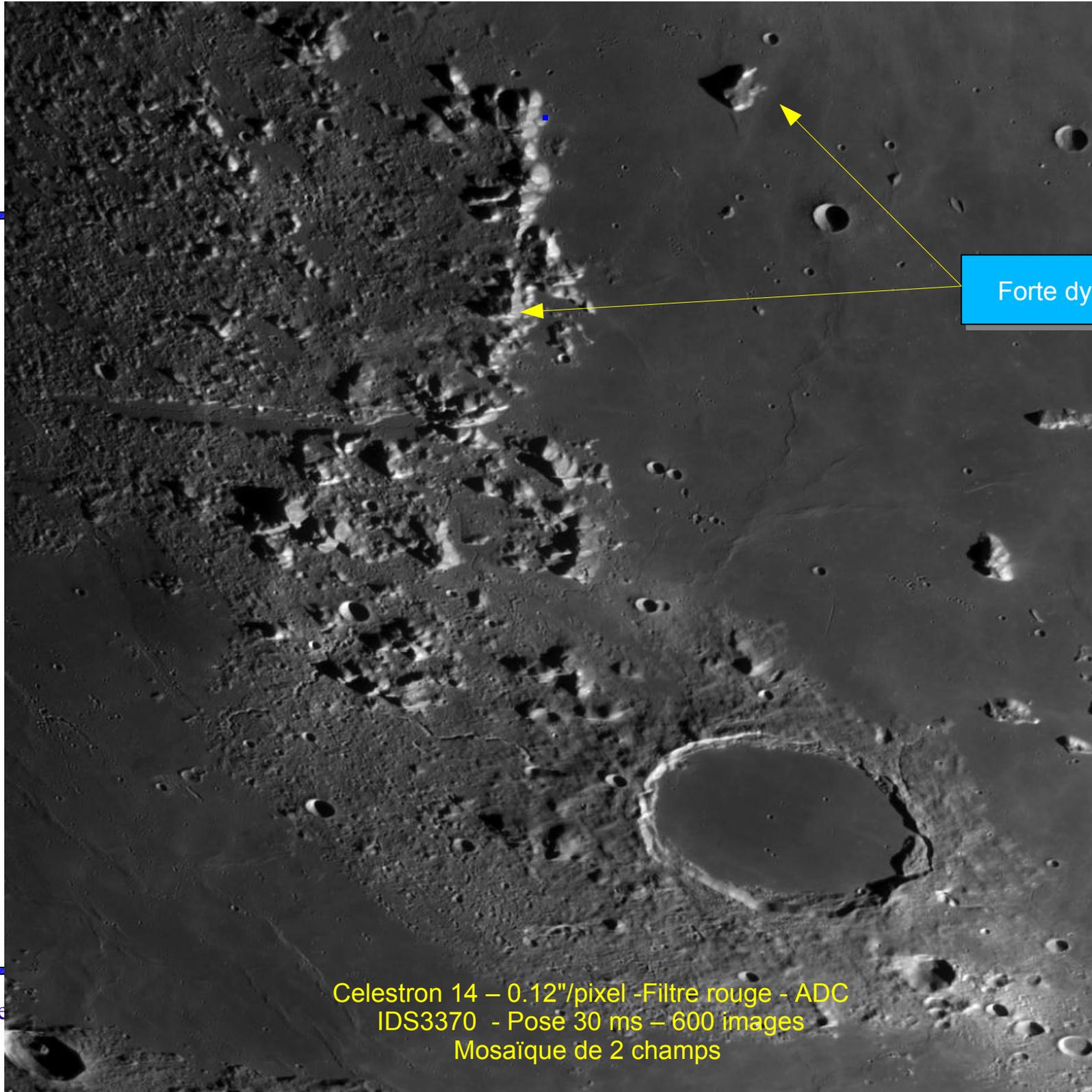
Rapport S/N : bruit de photons + lecture (e^-) / bruit lecture (e^-)

- C'est ce qui va faire que l'on aura besoin de composer plus ou moins d'images.
- S/N augmente avec le temps de pose et diminue avec le gain.
- S/N augmente avec racine (nb images additionnées).

En pratique :

- Les valeurs de gain utilisés en lunaire font que 8 bits suffisent.





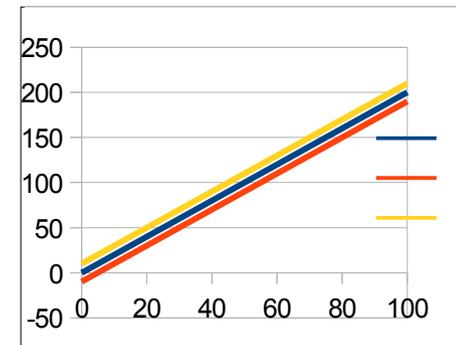
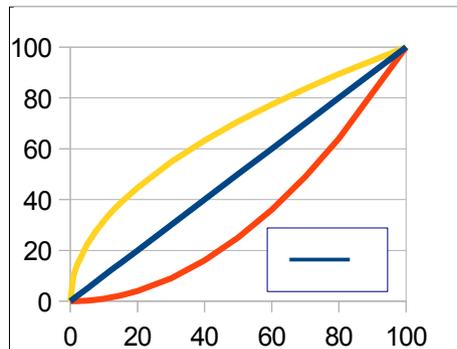
Forte dynamique

Celestron 14 – 0.12"/pixel -Filtre rouge - ADC
IDS3370 - Pose 30 ms – 600 images
Mosaïque de 2 champs



Autres réglages de la caméra ...

- On fixe d'abord le temps de pose : (10 ms), 25 à 40 ms, (50 ms)
- On règle ensuite le gain pour remplir l'histogramme sans saturer les zones les plus lumineuses (pas toujours facile ...)
- Gamma = 1, car pourra être réglé plus tard au traitement



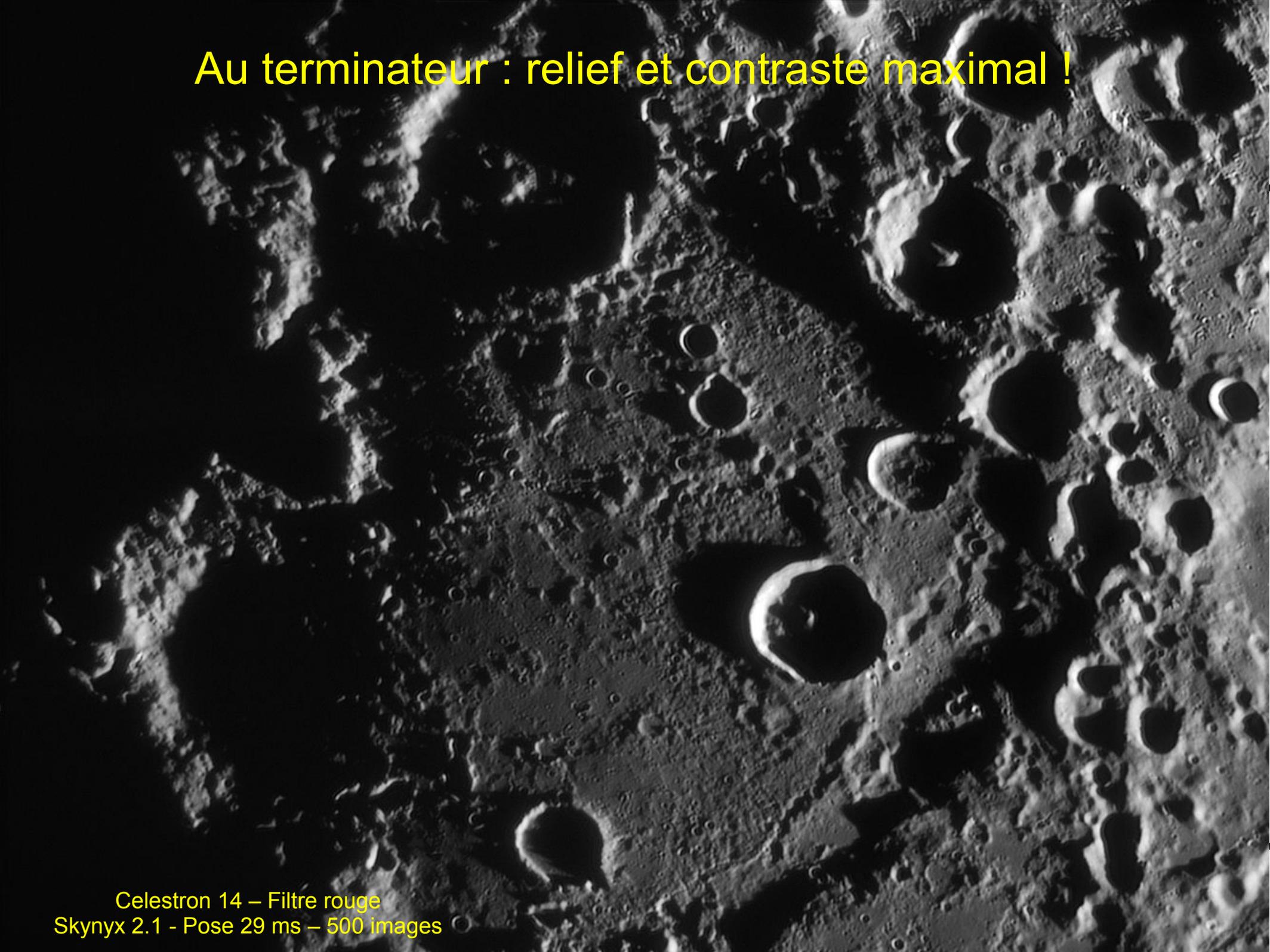
- Si réglage possible du black ou de l'offset : le fond du ciel doit être > 0 (autour de 5)
- **Durée acquisition : acquérir le plus grand nombre d'images possible (5000 à 6000 ...)**
- Fichier de sortie : le format SER car compatible avec les logiciels les plus performants (AS2, AV2, R6)



Images douces ou dures ?
Dépend de la hauteur du soleil...

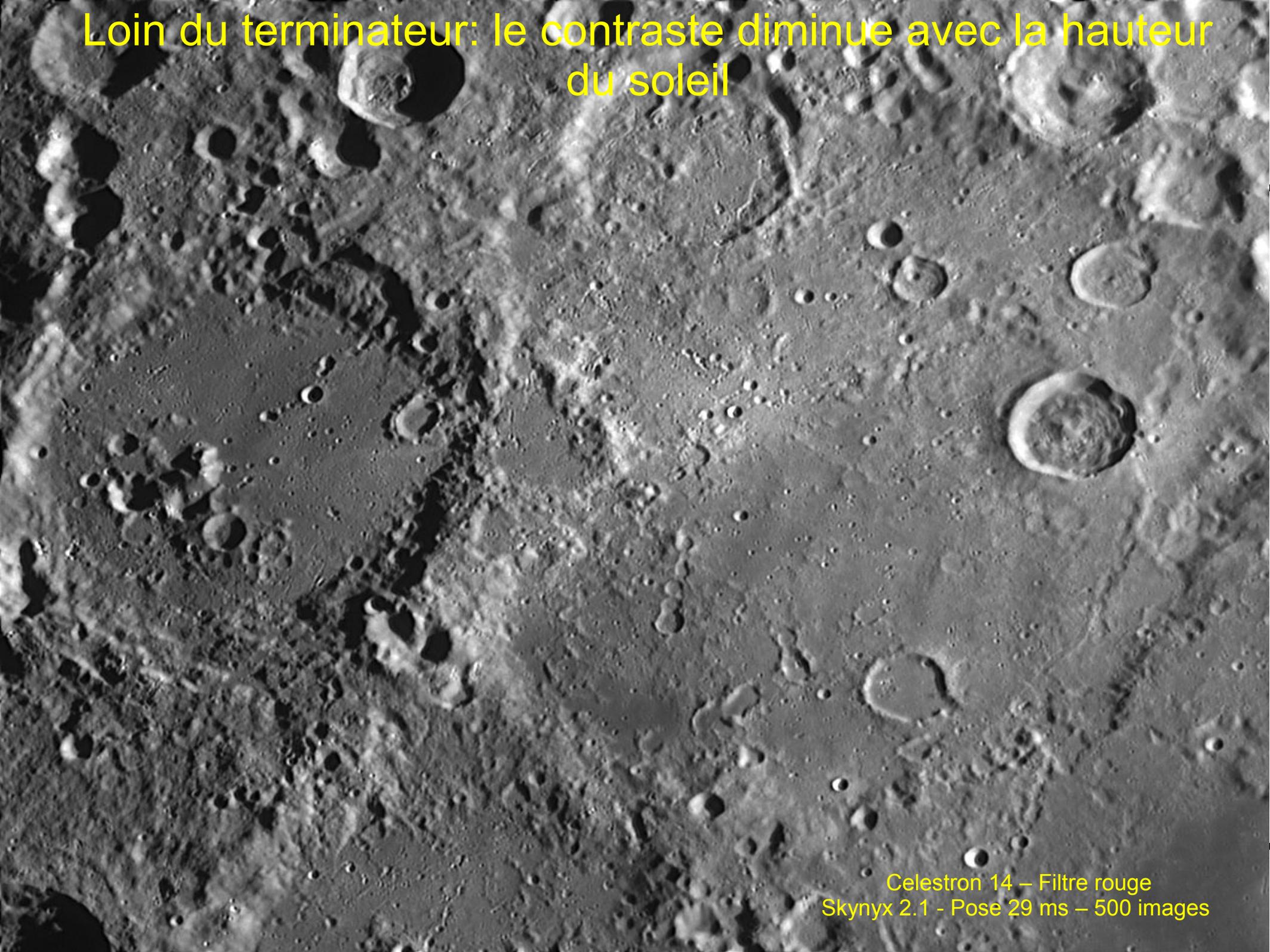


Au terminateur : relief et contraste maximal !



Celestron 14 – Filtre rouge
Skynyx 2.1 - Pose 29 ms – 500 images

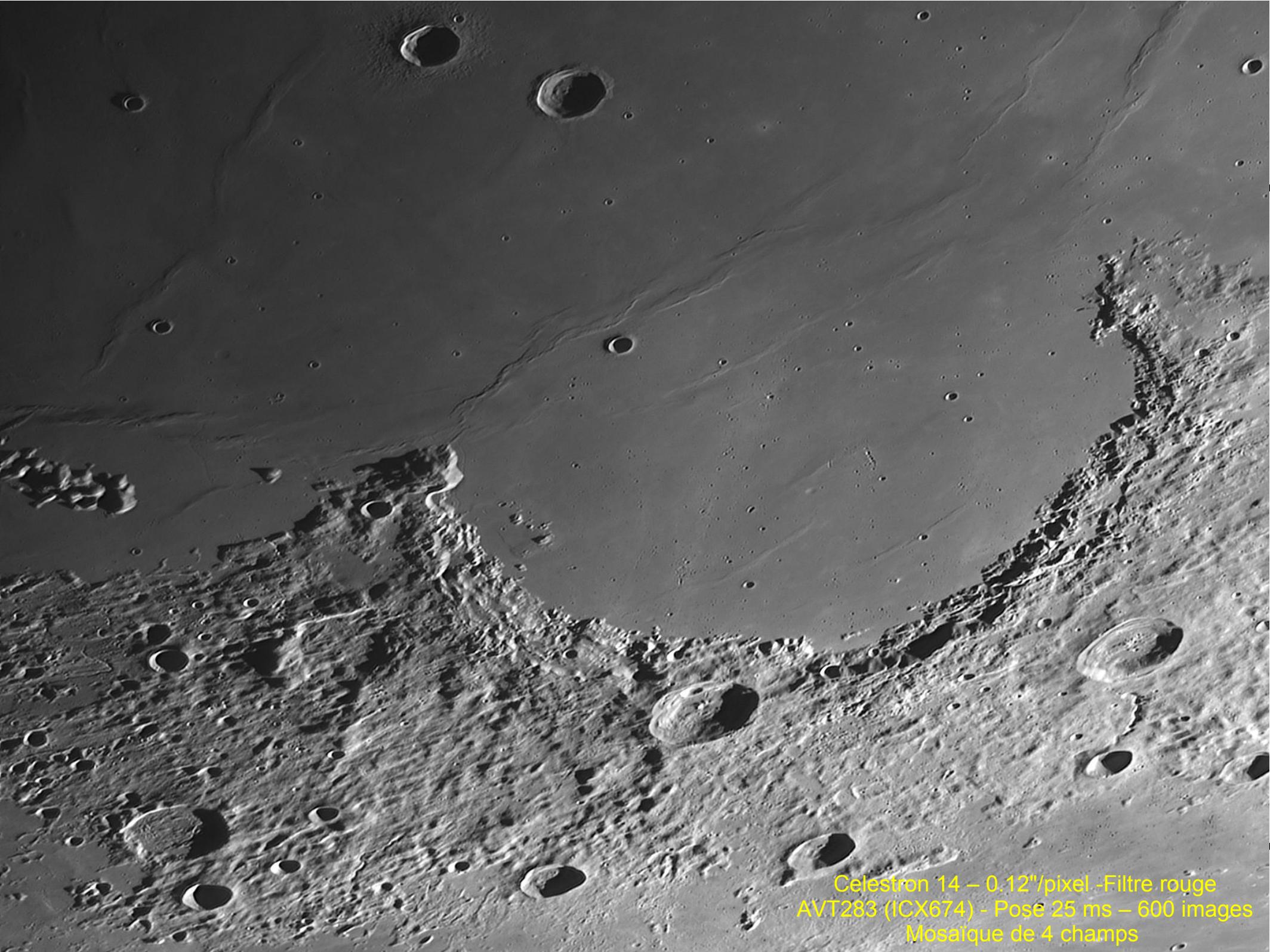
Loin du terminateur: le contraste diminue avec la hauteur
du soleil



Celestron 14 – Filtre rouge
Skynyx 2.1 - Pose 29 ms – 500 images

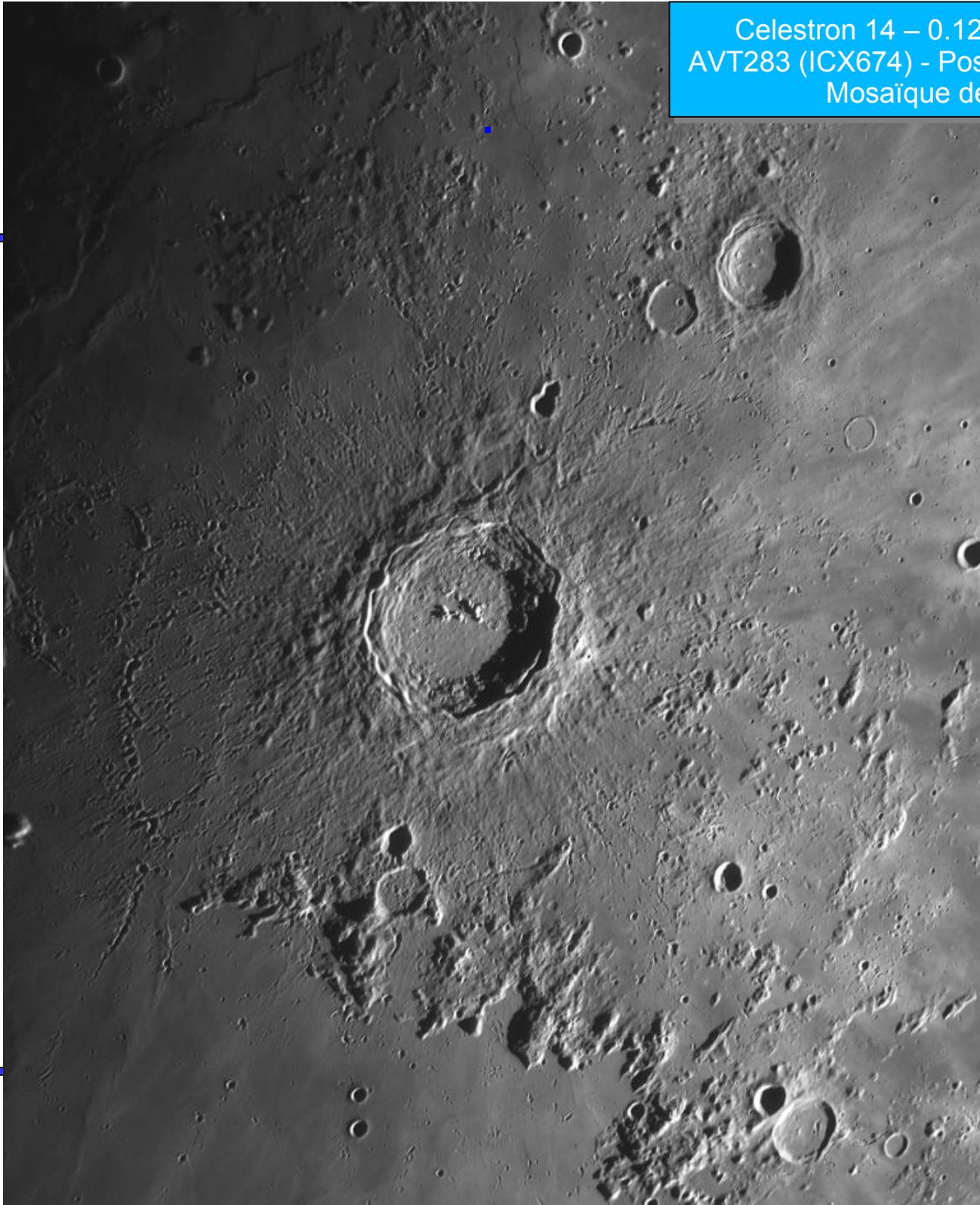
Comparaison champs capteurs :
1920 x 1080 pixels versus 2000 x 2000



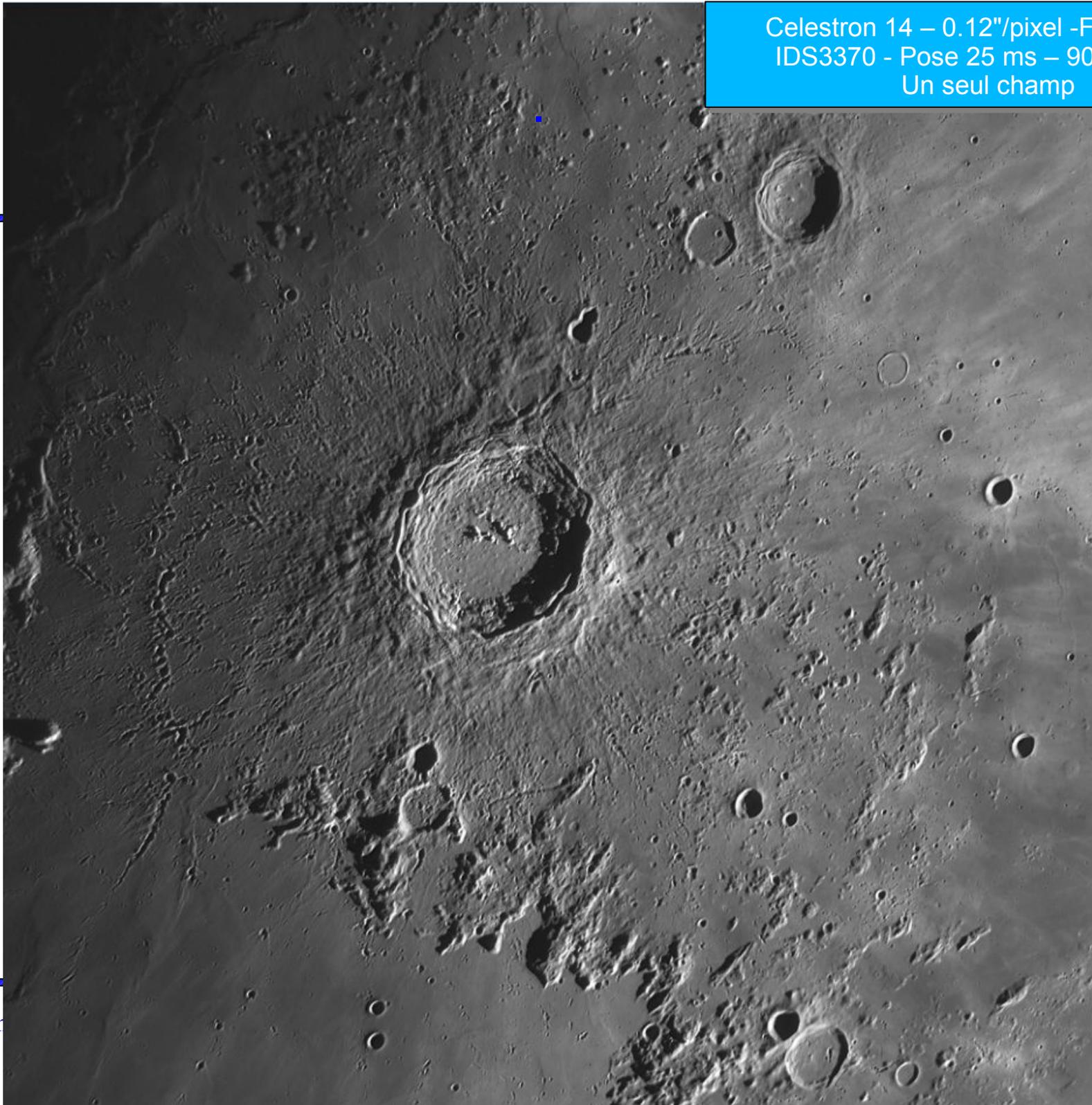


Celestron 14 – 0.12"/pixel -Filtre rouge
AVT283 (ICX674) - Pose 25 ms – 600 images
Mosaïque de 4 champs

Celestron 14 – 0.12"/pixel -Filtre rouge
AVT283 (ICX674) - Pose 25 ms – 600 images
Mosaïque de 4 champs



Celestron 14 – 0.12"/pixel -Filtre rouge
IDS3370 - Pose 25 ms – 900 images
Un seul champ



Un mot sur le traitement des images...



Traitement de base

Trois logiciels sensiblement équivalents:

→ Autostakkert (moins de réglages et moins sujet aux artefacts), Avistack, Registax,

→ Principe :

- Recentrage multi-points : correction de la distorsion des images.
- Images décomposés en sous-parties : sélection des meilleures sous-parties de chaque image.
- Image compositée = addition des meilleures sous-parties.

→ Mode batch : permet lancer traitements en série (et éventuellement comparer résultats différents logiciels)

Nombre d'images à additionner :

→ Selon le niveau de turbulence : entre 10 – 20% des images acquises.

→ Faire des essais : intérêt de Autostakkert qui peut faire 4 tailles différentes de pile dans le même traitement, ce qui permet ensuite de choisir le meilleur résultat.



Les réglages dans Autostakert 2

The screenshot displays the Autostakert 2 software interface. The main window shows a grid of alignment points (red dots) overlaid on a grayscale image of a celestial body. The interface is divided into several panels:

- 1) Open:** Contains options for Image Stabilization (Surface, Planet (COG)), Jumpy Recordings, Stack Size (Expand, Crop), and Quality Estimator (Edge, Gradient).
- 2) Analyse:** Includes a Reference Frame section with checkboxes for Last Stack is Reference and Auto size (quality based), and a Quality Graph showing a green line representing quality over time.
- Stack Options:** Features radio buttons for TIF and PNG, a table for Number of frames to stack (400, 600, 900, 1200 #), and a table for Frame percentage to stack (0, 0, 0 %). It also includes checkboxes for Sharpened and Save in Folders, and a Prefix input field.
- Advanced Settings:** Includes checkboxes for HQ Refine and Drizzle (Off, 1.5 X, 3.0 X).
- 3) Stack:** A button to initiate the stacking process.
- Image Size:** Sliders for Width (1808) and Height (1344), and an offset (-12, 23).
- Visualisation:** Checkboxes for Details and Draw AP's, and a Play button.
- Alignment Points:** A section with 515 APs, a Clear button, and a Manual Draw checkbox.
- AP Size:** A dropdown menu set to 100, with radio buttons for 25, 50, 100, and 200.
- Auto AP:** A checkbox that is checked.
- Min Bright:** A slider set to 15.
- Place APs in Grid:** A checkbox that is checked.
- Replace:** A checkbox that is checked.

At the bottom of the interface, there is a status bar showing "5000 Frames", "Irisb_2013-07-31_T_04-34-38-0557_L.ser Done", and "1/1".

4 tailles de piles

- Un point d'alignement tous les 100 pixels.
- Image découpée en cellules de 200 x 200 pixels.



Merci de votre attention

Des questions ?