



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le **CLEA**, Comité de liaison enseignants et astronomes, est une association déclarée à but non lucratif (loi de 1901), fondée en 1977. Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (écoles d'été) et régionaux. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école, du collège et du lycée et, de manière générale, à tous les formateurs. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc.). Le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique.

L'organe de liaison du **CLEA**, les **CAHIERS CLAIRAUT**, est une revue trimestrielle. On y trouve des articles de fond (astrophysique, histoire, philosophie, enseignement...), des comptes rendus d'expériences pédagogiques, des notes critiques de livres récents, des innovations en matière d'activités pratiques.

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés.

Présidents d'honneur

Lucienne Gouguenheim
Georges Paturel
Cécile Ferrari

Bureau du CLEA pour 2023

Président : Frédéric Pitout
Trésorière : Sylvie Thiault
Trésorière adjointe : Chantal Lecoutre
Secrétaire : Grégory Silva
Secrétaire adjoint : Vincent Bouneb

Responsables des groupes

Vie associative : Jean-Michel Vienney

Cahiers Clairaut : Christian Larcher

Productions pédagogiques : Pierre Causeret

École d'été d'astronomie : Frédéric Pitout

Site web : Jean-Michel Vienney

Réseau de correspondants : Sébastien Dhérissard



Merci à celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons :

Karl Antier, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Cécile Ferrari, Jean-Luc Fouquet, Gérard Hess, François Hurter, Johan Kero, Christian Larcher, Pierre Lauginie, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Pierre Le Fur, Benoît Mosser, Frédéric Pitout, Guillaume Poulizac, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Jean-Michel Vienney.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 182 afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Pluie d'étoiles filantes des Eta Aquarides photographiée depuis l'Atacama au Chili. Ces météores sont dus à des particules provenant de la comète de Halley. Cette photo composite a été réalisée sur plusieurs nuits entre le 28 avril et le 8 mai 2022, enregistrant près de 90 météores. On peut également y voir les planètes Vénus, Jupiter, Mars et Saturne, la lumière zodiacale (verticalement au centre) et au-dessus la Voie lactée.

Avec l'aimable autorisation de l'auteur, Petr Horálek, Institute of Physics in Opava, Tchéquie (<https://www.petrhoralek.com>).

Les Cahiers Clairaut

Été 2023

Éditorial

On sait qu'historiquement la rotation de la Terre (sur elle-même) fut difficile à admettre mais, en 1851 on pouvait mettre en évidence le phénomène d'une manière expérimentale avec le pendule de Foucault, sans que cela constitue pour autant une preuve absolue.

La simplicité de cette expérience est surprenante mais quand on cherche à en donner une interprétation théorique complète et solide, on rencontre des difficultés à fois conceptuelles et mathématiques.

Dans plusieurs numéros des CC certains aspects furent déjà abordés mais jamais complètement alors qu'il y avait une vraie demande. À partir de ce numéro nous vous proposons de revenir sur certains points un peu délicats et, parallèlement, de mettre sur le site du CLEA une étude complète de cette expérience avec les développements mathématiques correspondants.

La révolution de la Terre autour du Soleil présente moins de difficulté. On pourrait l'argumenter en remarquant que tous les étés on observe régulièrement au mois d'août, une pluie d'étoiles filantes dans le ciel nocturne, appelée « Perséides ». Ce phénomène a pour origine un essaim de débris laissés par la comète 109P/Swift-Tuttle dont l'orbite croise celle de la Terre tous les 133 ans. Chaque année, au cours de sa révolution la Terre traverse cet essaim à l'origine des Perséides. Le dossier de ce numéro est consacré aux étoiles filantes.

Nous vous souhaitons d'excellentes vacances d'été avec le plaisir d'observer gratuitement vers le 13 août un feu d'artifice d'étoiles filantes.

Christian Larcher (pour l'équipe)

Sommaire

Actualités

Brèves d'observatoires et autres nouvelles

Frédéric Pitout p 2

Article de fond

Les images comme passage vers la démarche scientifique (1)

Benoît Mosser p 5

Observation

M 42 : au cœur de la forge des étoiles

Pierre Le Fur p 9

Dossier : les étoiles filantes

Présentation p 13

Notions de base

Pierre Causeret p 14

Histoire

Histoire des météores : les Perséides

Les principales pluies d'étoiles filantes

Karl Antier p 16

Avec nos élèves

Comment photographier les étoiles filantes

Guillaume Poulizac p 22

Article de fond

Observation des météores par radars

Johan Kero p 28

Les étoiles filantes dans les anciens numéros

Mots croisés p 33

Observation

Le ciel de l'été 2023

La date du solstice d'été

Pierre Causeret p 34

Article de fond

JUICE

Cécile Ferrari p 37

Lecture pour la marquise

Mais où est donc le temple du Soleil ?

Jean-Luc Fouquet p 41

Traversée sensuelle de l'astronomie

Frédéric Pitout p 42

Article de fond

Le pendule de Foucault

Pierre Lauginie p 43

Le pendule de Foucault au pôle Nord

Pierre Lauginie p 44

Solution mots croisés p 48



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

COMMENT PHOTOGRAPHIER UNE PLUIE D'ÉTOILES FILANTES ET FAIRE APPARAÎTRE SON RADIANT ?

Guillaume Poulizac, professeur de physique-chimie et astrophotographe, association d'astronomie et d'astrophotographie La tête dans les étoiles (Amilly 45), <https://latetedanslesetoiles45.com/>

Un exemple pratique de manipulation à effectuer, à l'occasion du retour des Perséides en août.

Sans doute les plus populaires des « étoiles filantes », celles des Perséides d'août dernier ont fait l'objet d'une activité d'observation (dans le cadre de la formation DU ECU¹) ayant suscité cet article.

Il s'agissait de réaliser un comptage visuel des météores selon un protocole établi par l'IMO (International Meteor Organization). L'observateur doit simplement enregistrer les météores observés (avec un dictaphone ou une feuille de papier) en donnant quelques informations qui permettront ensuite de les classer. La réalisation d'un tel comptage présente un réel intérêt scientifique car elle permet non seulement de confirmer la présence d'un essaim à un endroit et une date précise mais elle permet également aux scientifiques de mieux connaître la structure de la comète dont sont issus tous ces débris, en l'occurrence la comète 109P/Swift-Tuttle découverte en 1862 mais dont la plus ancienne observation de l'essaim remonte en Chine à l'an 36.

Une des premières étapes dans la préparation de la soirée d'observation est la localisation du radiant. Le radiant est le point d'où semblent provenir les étoiles filantes d'un essaim. Pour les Perséides, il se situe comme son nom l'indique à côté de la constellation de Persée. Il m'est alors venu l'idée de photographier toutes les étoiles filantes dans la nuit du 12 au 13 août 2022, au moment du maximum d'activité afin de vérifier la position du radiant, un exercice que je n'avais encore jamais pratiqué, sans doute perfectible, mais dont les résultats obtenus m'ont apporté une réelle satisfaction.

Observation à l'œil nu

Comptage durant une session, d'une heure par exemple, en relevant :

- la direction (NNW vers SSE)
- l'éclat (estimation de la magnitude selon le protocole de l'IMO)
- la couleur (jaune, blanc...)
- la durée de passage (bref, long, x secondes...)

Exemple de session d'observation : 4 h 08 à 4 h 54 (en heure légale)

- Hauteur du radiant : 34°
- Hauteur de la Lune : 25°

N	Magnitude	Perséides	Direction	Description	Heure
1	0	OUI	Cassiopee SO	Petite	4h19
2	2	NON	Cassiopee N	Petite	4h18
3	-3	OUI	Persée NE	Très longue	4h26
4	0	OUI	Persée E	Très longue	4h28
5	2	OUI	Cassiopee O	Petite	4h31
6	0	OUI	Taureau E	Petite	4h32
7	-3	OUI	Pégase S	Longue	4h32
8	0	OUI	Persée NO	Petite	4h33
9	2	NON	Pégase N	Petite	4h36
10	2	OUI	Persée E	Petite	4h37
11	2	NON	Cassiopee N	Petite	4h41
12	3-4	NON	Cassiopee N	Petite	4h44

N.B. 1 : un entraînement à l'observation est bienvenu, notamment en estimant l'éclat des météores par rapport à la magnitude d'étoiles voisines.

N.B. 2 : les accros peuvent peaufiner les observations, voire présenter un rapport à l'IMO après inscription gratuite.

Photographie

Voici un protocole permettant de produire vous-même une image contenant de nombreux météores à partir de plusieurs photos unitaires :



Fig.1. Photo unitaire contenant une seule étoile filante.

1 DU ECU : Diplôme Universitaire Explorer et Comprendre l'Univers.

Le matériel nécessaire

La réalisation de cet exercice est possible avec des *moyens simples* : un appareil photo numérique sur trépied, peut-être même avec un smartphone (mais je n'ai jamais eu l'occasion de tester). Il faut pouvoir déclencher automatiquement et en continu les photos. Certains appareils récents proposent cette fonction, pour les plus anciens il faudra un déclencheur externe.

Pour les *photographes les plus équipés*, une monture équatoriale simplifiera grandement le cadrage et permettra de ne pas limiter la durée de la session, soit toute la nuit si on le souhaite. Elle permettra également d'avoir des étoiles bien rondes et ponctuelles.

Matériel minimum recommandé

- Trépied (ou monture équatoriale).
 - Appareil photo numérique avec réglage manuel (ouverture, temps d'exposition et sensibilité en ISO).
- Format d'image RAW (Siril traite aussi les jpg et les bmp).
- Déclencheur externe.

Paramètres de prise de vue

Le choix le plus simple est celui de l'ouverture, plus elle sera grande (et donc le nombre d'ouverture sera petit), plus il y aura de lumière sur le capteur. Avec de grandes ouvertures les objectifs photo présentent des défauts (vignettage, aberration chromatique...) mais le but de l'opération est d'enregistrer le plus de lumière possible et de déceler les étoiles filantes les moins lumineuses. Pour un objectif d'entrée de gamme, elle sera en général de f/3.5.

Pour la sensibilité, il faut déterminer celle qui est la plus adaptée à son appareil. Le but est d'amplifier le signal des étoiles et étoiles filantes pour les rendre plus visibles sans trop amplifier la luminosité du ciel : c'est le rapport signal/bruit. Augmenter la sensibilité amplifie le signal mais aussi le bruit et n'augmente pas la quantité de lumière qui arrive sur le capteur. L'utilisation d'un filtre généraliste antipollution lumineuse permettrait d'augmenter le rapport signal/bruit en supprimant une partie de la lumière générée par les éclairages publics mais il n'est pas indispensable. Il est plus facile de se déplacer en campagne... Une valeur standard est 800 ISO².

Enfin, le temps d'exposition est le plus difficile à déterminer, il doit :

- être suffisamment court pour bien visualiser les étoiles filantes sans les noyer dans la luminosité du ciel³ et pour obtenir des étoiles assez rondes en vue

de leur alignement ;

- être suffisamment long pour ne pas se retrouver avec plusieurs milliers d'images en fin de nuit.

Pour la photographie sur trépied, le choix du temps d'exposition est primordial. Il dépend de plusieurs facteurs : la focale, la taille des photosites du capteur numérique et la déclinaison de l'objet photographié. Il conviendra donc de choisir la focale la plus petite possible ce qui permettra un temps d'exposition plus long mais également de photographier un champ de ciel plus important. La taille des photosites dépendra de votre matériel. La déclinaison imposera la durée maximale d'exposition. Pour les Perséides, la déclinaison est de 58° environ, pour un Canon EOS 60D avec un objectif de 15 mm, la durée d'exposition théorique est d'environ 8 s. Il est évidemment possible en pratique de dépasser cette valeur en effectuant des essais préalables, l'important étant de ne pas voir apparaître de trop importants filés étoiles⁴. Si vous disposez d'une monture équatoriale vous vous affranchissez de cette limite de durée d'exposition car en dessous d'une minute, avec une bonne mise en station, l'erreur périodique est négligeable.

Ma configuration

- Canon EOS 60D avec objectif Canon 15-85 mm IS USM f/3.5-5.6.
- Déclencheur externe.
- Monture équatoriale Skywatcher AZ-EQ6.
- Résistance chauffante pour éviter d'écourter la séance par la buée se formant sur la lentille frontale de l'objectif.
- Alimentation externe pour l'appareil photo.
- Carte SD de 128 Go.

Mes réglages

- **Focale** : 15 mm (pour obtenir le champ le plus grand possible).
- **Ouverture** : f/3.5 (la plus grande ouverture possible).
- **Temps d'exposition** : 20 s (un premier essai à 60 s s'est avéré désastreux car aucune étoile filante n'était visible, une durée plus courte aurait peut-être été meilleure mais sur une nuit j'ai enregistré près de 1000 images... il faut penser au traitement et à l'espace colossal occupé par tant d'images lors du traitement !).
- **Sensibilité** : 800 ISO.

Protocole expérimental (à adapter) :

- Installer l'appareil sur le trépied (ou faire la mise en station si utilisation d'une monture équatoriale).
- Régler l'appareil : 15 mm ; f/3.5 ; 20 s ; 800 ISO.
- Pointer le ciel pour réaliser la mise au point.
- Choisir le cadrage final en anticipant le mouvement du ciel.
- Bloquer le déclencheur externe pour la réalisation d'images en continu.

4 Ces essais permettront également de vérifier que l'on n'a pas laissé trop monter le fond de ciel.

² Un exemple pour affiner les réglages : <https://www.astrophotography.app/EOS.php>

³ Pour que la nuit soit bien noire, évitez la présence de la Lune et attendez la fin du crépuscule astronomique si possible.

Remarques pratiques

Utiliser le mode rafale permet de réduire le délai entre deux images, même en pose longue.

Penser à bloquer la bague de mise au point avec un adhésif et également le zoom de l'objectif avec un gros élastique !

Réaliser la mise au point avec le LiveView en essayant d'obtenir les étoiles les plus fines possibles.

Traitement des images

Les images seront traitées avec le logiciel Siril⁵. Le traitement d'image proposé dans cet article est très simplifié pour être accessible aux débutants mais de nombreux tutoriels sont disponibles sur internet pour des utilisations plus avancées, notamment pour la réalisation d'images calibrées (avec dark, flat et offset).

Le logiciel est divisé en deux : la partie gauche de visualisation et la partie droite de prétraitement avec les onglets « Conversion », « Séquence », « Alignement » et « Empilement » nécessaires.

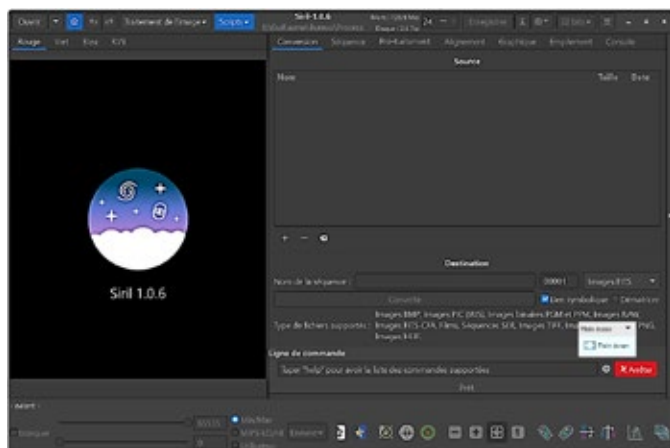


Fig.2. Fenêtre principale du logiciel Siril.

Après avoir téléchargé et installé Siril, créer sur le bureau de Windows un dossier nommé « Process » dans lequel il faut déposer, dans un sous-dossier, les photos originales. Relier le logiciel au dossier « Process » en cliquant sur l'icône en forme de maison sur fond bleu (en haut et à gauche). Le chemin du dossier apparaîtra en haut de la fenêtre du logiciel.

L'ensemble des fichiers générés pendant le traitement apparaîtra dans le dossier « Process ».

Étape 1 : Conversion de la séquence d'images en format .FIT

Le .FIT est le format d'image standard utilisé en astronomie. Dans l'idéal il faudrait utiliser des fichiers photos brutes .RAW (.cr2 chez Canon, .nef chez Nikon...)

à convertir en .FIT mais le processus fonctionne tout de même avec des fichiers .JPEG.

Choisir l'onglet « Conversion » puis ajouter les fichiers à convertir en cliquant sur le petit « + » en bas de l'onglet. Indiquer « Brutes » dans « Nom de la séquence », sélectionner l'option « Dématiser » pour obtenir une image en couleurs, et ne changer aucun des autres paramètres puis cliquer enfin sur « Convertir ».

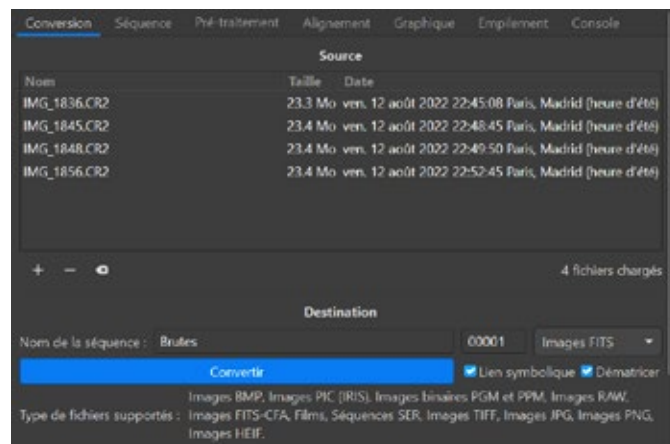


Fig.3. Réglages de l'onglet « Conversion ».

La première image de la séquence s'affiche dans la fenêtre de gauche. Pour visualiser l'image en couleurs et pour la suite du traitement choisir RVB dans les onglets situés au-dessus de l'image (ajuster au besoin les seuils de visualisation avec les deux curseurs en bas de l'écran et laisser en linéaire).

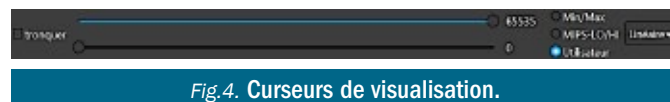


Fig.4. Curseurs de visualisation.

Il se peut que cette image soit marquée d'un fort gradient, si la photo est prise proche de l'horizon, peu après le coucher du Soleil ou si la Lune est présente. Dans ce cas il est conseillé de suivre l'étape 3 après avoir réalisé l'alignement des images.

Étape 2 : Alignement des images

L'alignement est une étape indispensable avant d'additionner les hautes lumières de toutes les images car il permet de calibrer la position des étoiles de toutes les photos par rapport à une image de référence.

Pour cela, choisir l'onglet « Alignement », veiller à bien choisir « alignement global (ciel profond) », ne modifier aucun autre paramètre et cliquer sur « Aligner ». L'alignement se fait sur l'image avec le plus petit FWHM (Full Width at Half Maximum) qui est un indicateur de mise au point.

⁵ Logiciel gratuit et entièrement capable de prétraiter et de traiter des images astronomiques (<https://siril.org/fr/>)

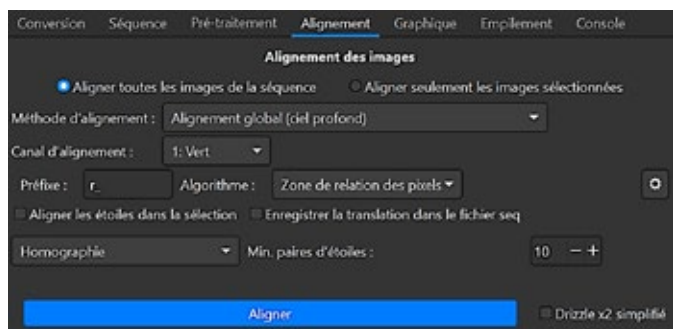


Fig.5. Réglage de l'onglet « Alignement ».

Étape 3 : Correction du gradient de l'image

Cette étape est facultative mais elle augmente nettement la qualité du résultat final.

Cliquer sur le menu traitement de l'image situé en haut de la fenêtre, à côté de la maison sur fond bleu et choisir « Extraction du gradient ». Utiliser la méthode d'interpolation « Polynomiale » d'ordre 1 puis cliquer sur « Générer ». L'image devrait se couvrir intégralement de carrés rouges, si ce n'est pas le cas, augmenter la « Tolérance de la grille ». Laisser la correction sur « Soustraction » puis cliquer sur « Calculer le gradient ».

Une image corrigée s'affiche à l'écran. Si le résultat est satisfaisant, cocher « Appliquer à la séquence » puis sur « Appliquer ».

Étape 4 : Empilement des images

L'empilement permet d'ajouter toutes les informations des différentes images pour en créer une seule et unique. En général les astrophotographes utilisent cet empilement pour ajouter la lumière captée pendant plusieurs heures de pose et augmenter la qualité. On l'utilise un peu différemment ici pour ajouter les hautes luminosités sans perdre d'informations.

Pour cela, dans l'onglet « Empilement » choisir la méthode d'« Empilement du pixel maximum ». Le nom du fichier .FIT final généré est indiqué en bas de l'onglet. Cliquez sur « Débute l'empilement ».

Étape 5 : Amélioration et enregistrement de l'image

Replacer les curseurs de réglage des seuils de visualisation aux valeurs extrêmes (Min/Max) puis dans le menu « Traitement de l'image » choisir « Transformation de l'histogramme ». Ajuster la luminosité de l'image pour lui donner plus de contraste. Pour cela déplacer la flèche gauche (noire) et la flèche droite (blanche) de manière à

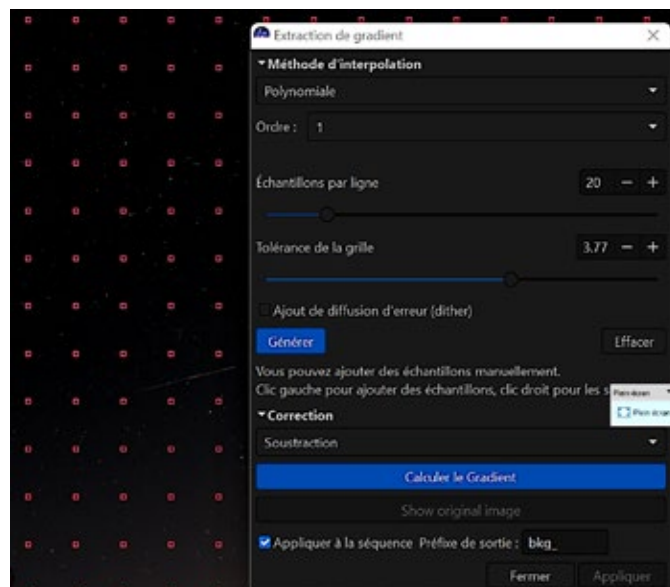


Fig.6. Réglage de « l'Extraction de gradient ».

bien encadrer l'histogramme sans trop les resserrer pour éviter une saturation de l'image⁶. La flèche du milieu permet de modifier la courbe de réponse de l'histogramme. Cliquer sur « Appliquer ».

Lorsque l'image est terminée, réaliser un clic droit sur la photo et l'enregistrer dans le format souhaité : elle apparaîtra dans le dossier « Process ». L'image obtenue contient un grand nombre de lignes : météores appartenant ou non aux Perséides, traces d'avions ou de satellites...

Image finale et exploitation

La suite est simple, on ouvre l'image précédente dans un logiciel permettant de tracer des lignes (Paint convient très bien). Tracer des lignes dans la continuité de toutes les traces de l'image avec deux couleurs différentes : une pour les Perséides et une pour les autres traces. Avec suffisamment de météores on devrait pouvoir positionner le radiant des Perséides.

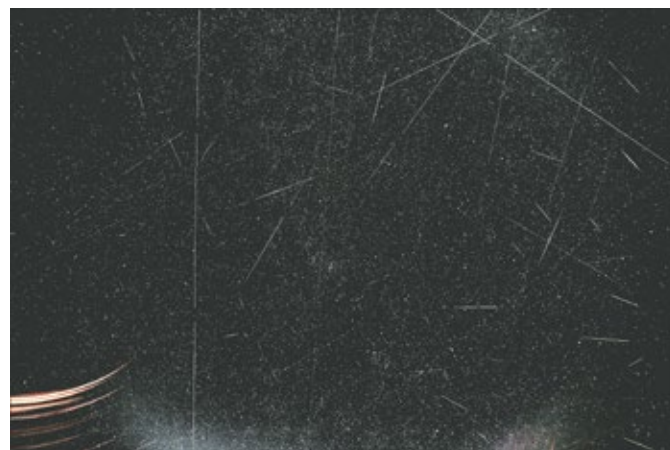


Fig.7. Image finale après empilement.

⁶ Il est également possible d'utiliser l'auto-ajustement (bouton avec une roue dentée sous l'histogramme).

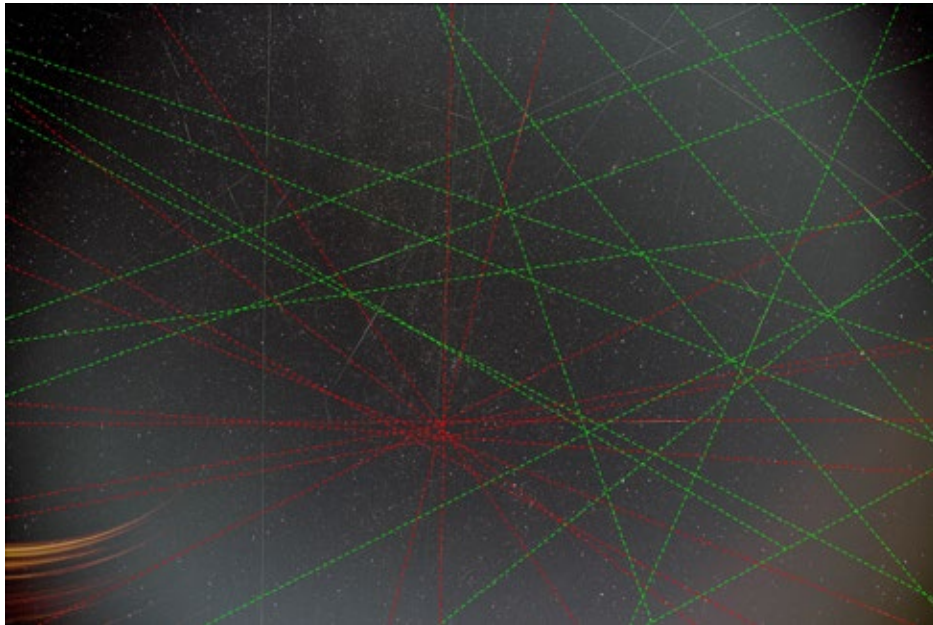


Fig.8. Détermination de la position du radiant.

Image obtenue avec un traitement d'image avancé

Voici l'image que j'ai obtenue après un traitement d'image complet : calibration des images (offset, dark, flat), sélection des images sans arbres pour réaliser un joli fond de ciel, extraction du gradient, utilisation de calques...

En observant cette image avec attention j'ai ajouté, en plus de la détermination du radiant des Perséides, les constellations visibles dans le champ et j'ai identifié quelques objets du ciel profond dont la célèbre galaxie d'Andromède M31.



Fig.9. Mon image finale.

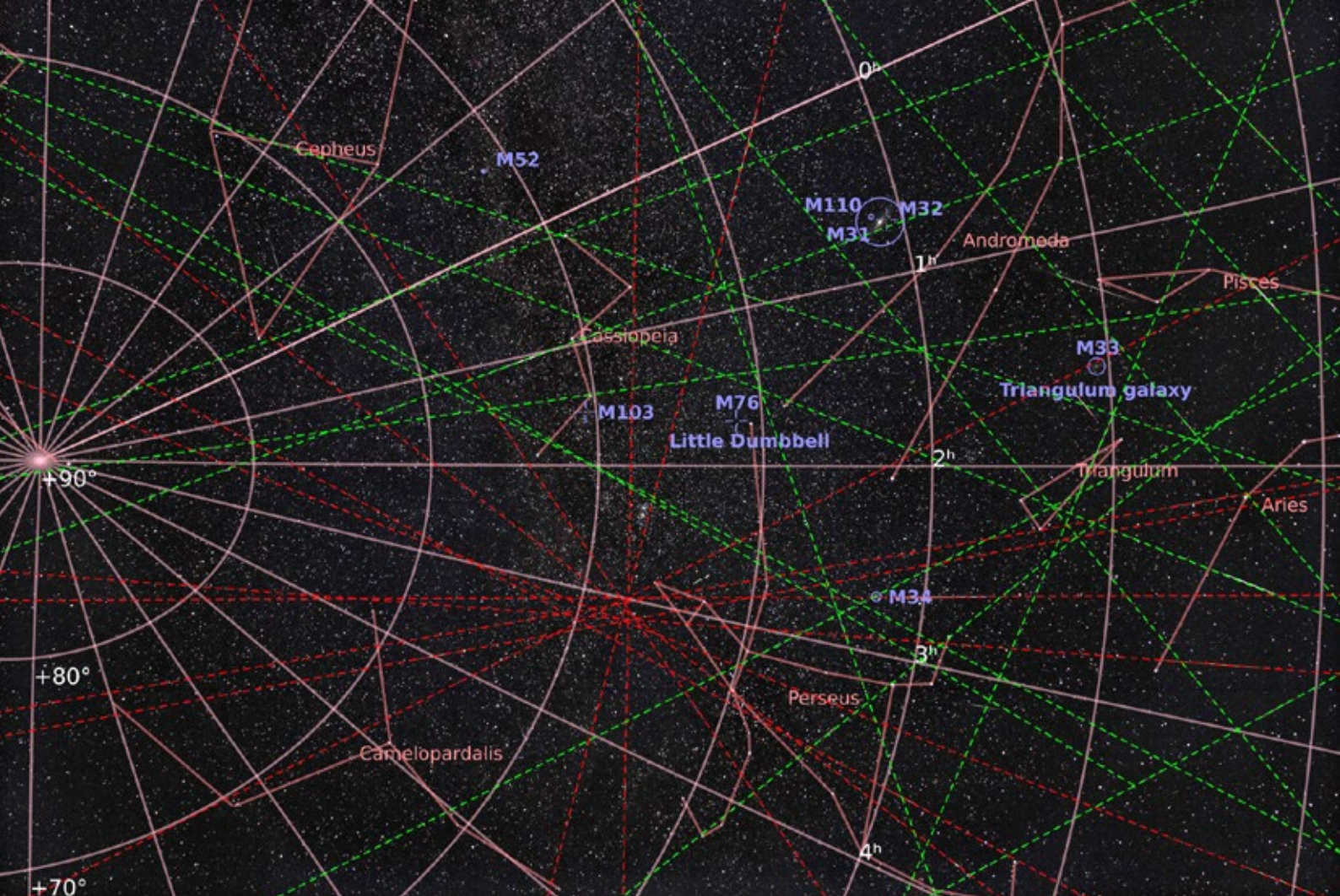


Fig.10. Détermination de la position du radiant et annotations.

L'IMO donne comme position du radiant des Perséides 48° d'ascension droite (soit 3 h 12 min) et 58° de déclinaison.

Shower	Activity	Maximum Date	Maximum $\lambda_\odot$	Radiant α	Radiant δ	V_∞ km/s	r	ZHR
Perseids (007 PER)	Jul 17–Aug 24	Aug 13	$140^\circ 0$	48°	$+58^\circ$	59	2.2	100

Fig.11. Les prévisions de l'International Meteor Organisation pour les Perséides en 2022.

En comparant ces valeurs de l'ascension droite et de la déclinaison avec la grille de l'image de la figure 10, nous constatons que la position correspond bien aux prédictions (α légèrement inférieur à 60° et $\delta \approx 3,2$ h).

Conclusion

Cette année, malgré la pleine Lune le spectacle était moindre mais au rendez-vous. Nos observations ont confirmé les prédictions relatives au nombre de météores observables par heure. Théoriquement nous aurions pu observer 100 météores par heure dans des conditions idéales. Avec la présence de la Lune, nous n'en avons compté qu'environ 10 par heure. La pollution lumineuse a sans doute eu également un impact non négligeable sur notre comptage.

En août prochain, l'observation des Perséides vers leur maximum, les 12 et 13 août, ne pâtira pas de l'éclat de la pleine Lune contrairement à l'été dernier. Celle-ci ne se lèvera qu'à environ 3 h du matin, vous profiterez donc d'une magnifique nuit bien noire de 23 h à 3 h.

Informations complémentaires :

Tutoriels pour apprendre à compter les étoiles filantes :

<https://www.vigie-ciel.org/2022/08/05/campagne-observation-des-perseides/>

Protocole de l'IMO pour l'observation (parcourir le menu pour accéder à toutes les informations) : <https://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/major/>

Remerciements : Barbara de Brito avec qui j'ai réalisé ces activités, Gérard Hess pour m'avoir encouragé, à tous deux pour leurs remarques.



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

LA MISSION EUROPÉENNE JUICE EN ROUTE VERS LE SYSTÈME DE JUPITER

Cécile Ferrari, Professeure à l'Université Paris Cité,
& Institut de physique du globe de Paris, CNRS, F-75005 Paris, France

*Une description détaillée du programme de la mission JUICE ayant comme objectif prioritaire
d'essayer d'expliquer les conditions d'émergence de la vie.*

Grâce aux acteurs du Centre spatial guyanais de Kourou, l'Agence spatiale européenne ESA, le Centre national d'études spatiales CNES et la société Ariespace, la sonde JUICE aura triomphalement été lancée par la mémorable fusée Ariane 5 le 14 avril 2023 à 14 h 14 heure de Paris. Quelle fierté de savoir l'Europe en 2023 toujours capable, dans un monde secoué à l'échelle globale par de nombreuses mutations, de lancer une fusée d'une telle puissance et d'une exceptionnelle fiabilité ! Le moteur Vulcain sera toujours de la partie dans la version 6 de la fusée Ariane, désormais appuyé pour la poussée du deuxième étage, d'un moteur Vinci. Une fine équipe espérons-le. Il aura fallu un court épisode de suspens aux abords du survol de l'Australie, dans l'attente de l'émission radio de la sonde libérée de son propulseur, pour nous rappeler, si nécessaire, que ces lancements restent des prouesses scientifiques et humaines.

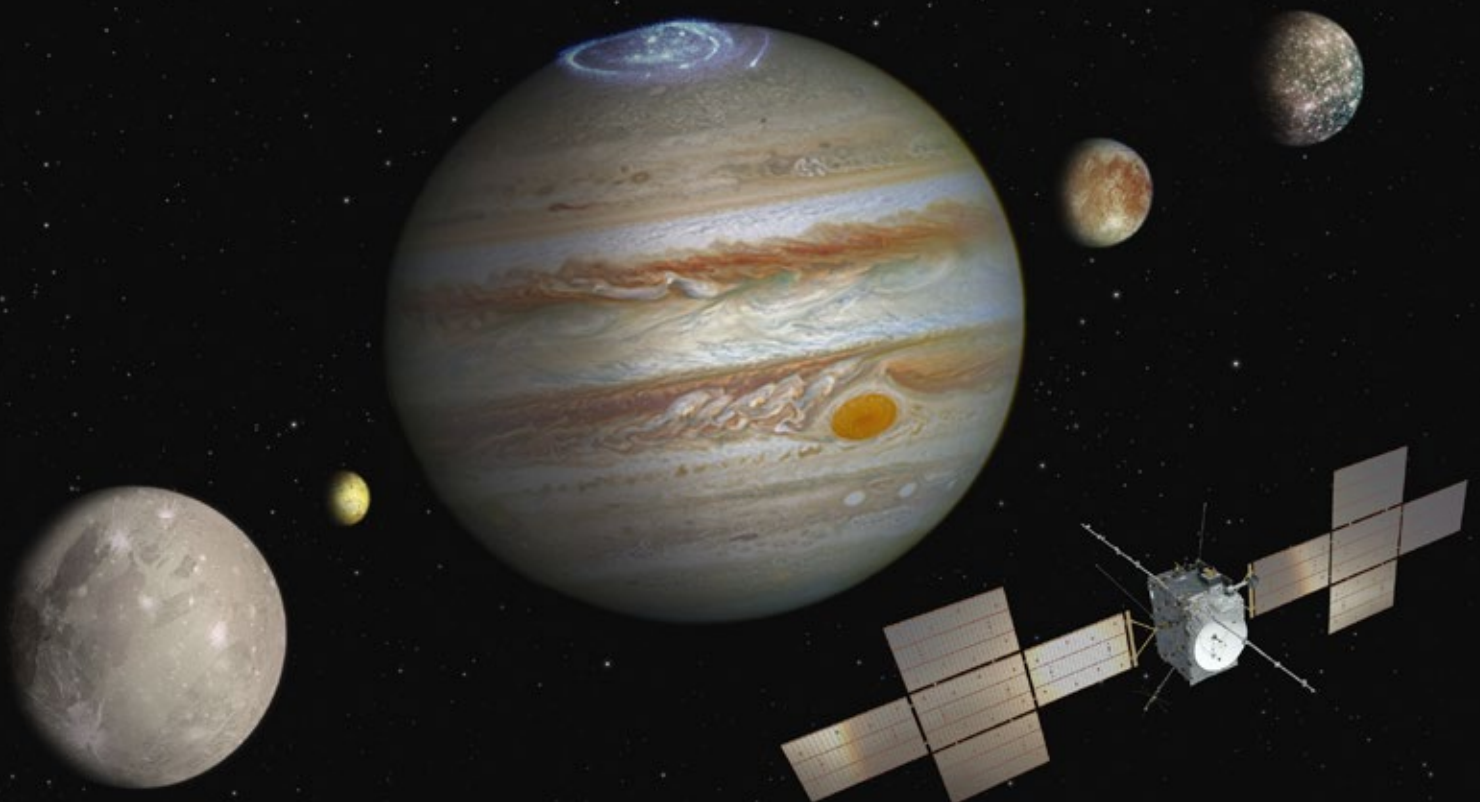
Pour accélérer la sonde et viser une insertion en orbite autour de Jupiter en juillet 2031, l'ESA a planifié 3 survols de la Terre et un survol de Vénus jusqu'en 2029. Après sept ans et demi de croisière, la sonde entamera une série de 35 survols des satellites galiléens, Callisto (21), Ganymède (12) et Europe (2), dont la chronologie peut être visionnée sur le site de l'ESA à :

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2022/03/Juice_s_journey_and_Jupiter_system_tour.

Elle sera mise en orbite autour de Ganymède en décembre 2034 jusqu'en septembre 2035 date à laquelle elle sera amenée à s'écraser à sa surface.

Anatomie d'une sonde. La sonde JUICE, dès sa libération du lanceur, a commencé le déploiement de ses panneaux solaires pour atteindre son autonomie énergétique. À l'instar de la sonde Juno, elle est aussi équipée de

Fig.1. Vue d'artiste de Jupiter et des satellites galiléens Ganymède, Io, Europe et Callisto (de gauche à droite). La sonde JUICE apparaît avec ces panneaux solaires et l'antenne du radar RIME déployés (Crédits spacecraft : ESA/ATG medialab ; Jupiter : NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester) ; Ganymede : NASA/JPL ; Io : NASA/JPL/University of Arizona ; Callisto and Europa : NASA/JPL/DLR).



panneaux solaires, de 85 m² de surface, qui lui fourniront 850 W pour fonctionner. La sonde de 6,3 tonnes emporte 3,6 tonnes de propergol pour les corrections de trajectoire lors de la mission, 2,4 tonnes de masse pour le système et 300 kg environ de charge utile scientifique. La charge instrumentale est conséquente, celle d'un vaisseau amiral en mission longue durée vers les satellites galiléens.

JUICE, Jupiter ICy moons Explorer. La sonde est effectivement destinée à l'exploration prioritaire de Ganymède, le plus gros satellite du Système solaire, mais aussi de Callisto et d'Europe. D'ici là les instruments vont être allumés et testés, le planning des observations par les différents instruments va être affiné pour atteindre les objectifs scientifiques fixés. Les grands télescopes au sol ou le télescope spatial James Webb (JWST) permettront dans le même temps d'affiner nos connaissances sur ces cibles. Même si la résolution spatiale va être limitée en

comparaison, les scientifiques vont pouvoir affiner leur modèle aux contacts de nouvelles données plus récentes ou plus riches que la dernière mission spatiale de la NASA Galileo (1995-2003), dédiée à l'étude de ces lunes.

Les grandes questions

De nombreuses questions taraudent les esprits des scientifiques engagés dans cette mission auxquelles ils vont tenter d'apporter des réponses avec les instruments embarqués et la trajectoire choisie. Un des grands enjeux de la recherche actuelle en géophysique et en astrophysique est la compréhension des conditions d'émergence de la vie, l'exobiologie au-delà de nos frontières terrestres. Les pistes de recherche de forme de vie ailleurs dans le Système solaire se glissent dans les réservoirs d'eau liquide que nous savons exister sous la croûte glacée de certains satellites des planètes géantes

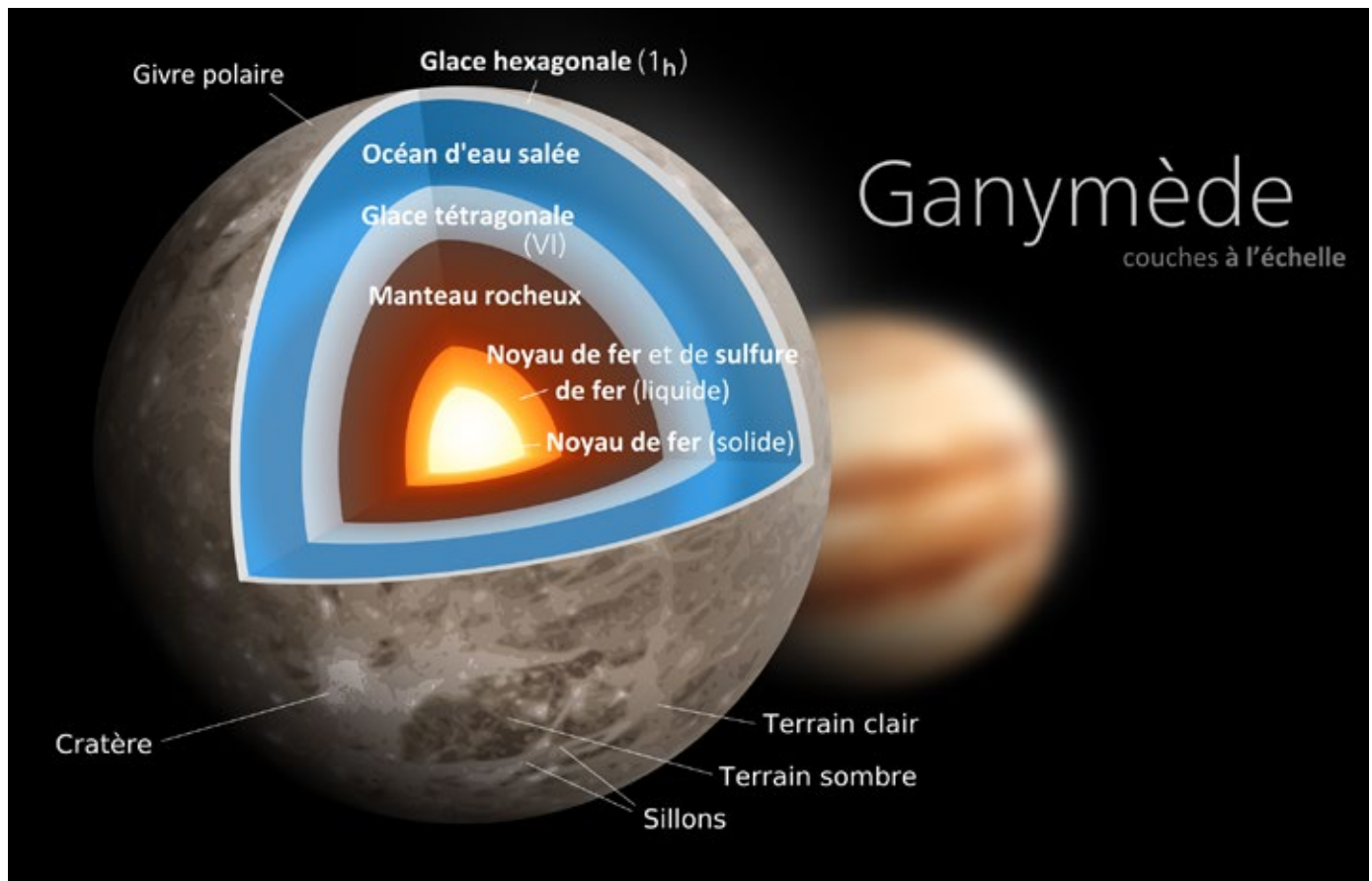


Fig.2. Illustration de la structure interne possible de Ganymède montrant un océan d'eau liquide entre deux couches de glace, au-dessus d'un noyau de fer liquide en partie, apte à générer le champ magnétique propre connu du satellite (image Kelvinsong, traduction Flappiefh).

Jupiter et Saturne. Certes il s'agit de potentiels habitats en profondeur et non en surface. Ces surfaces-là semblent en effet invivables car exposées depuis des lustres aux rayonnements et particules de haute énergie, entre autres. À une profondeur de 10 km dans la fosse des Mariannes dans l'océan Pacifique, quelques aventuriers n'ont-ils pas réussi l'exploit d'y observer quelques poissons... Il ne s'agit certes pas (encore) de réaliser cet exploit sous les

glaces des lunes Europe ou Encelade.

Évidemment cet enjeu-là n'est pas le moteur unique de l'investissement fait pour aller jusque là-bas. Ces lunes d'eau glacée-là, nous fascinent depuis les survols des sondes Voyager il y a 50 ans. Des mondes pleins d'énergie, tant il en faut pour maintenir l'eau à l'état liquide alors qu'il ne fait pas plus de -180 °C ou -140 °C en plein soleil.

Des océans souterrains

Les lunes Europe, Ganymède et Callisto ont des masses volumiques comprises entre 1800 et 3000 kg/m³, typiques d'un mélange de roche et de glace. Grâce à la mission NASA-Galileo, la morphologie de la surface d'Europe, en particulier ses zones chaotiques d'icebergs, ces fissures et la présence de sels détectée en leur sein, de possibles geysers détectés par le télescope spatial Hubble et la détection d'un champ magnétique local induit par le champ magnétique jovien dans une eau salée souterraine conductrice de courant (par la loi de Lenz), prouvent la présence d'un océan souterrain. Les questions en suspens sont de savoir quelle est l'épaisseur de la croûte glacée, les mécanismes de chauffage et de maintien de cet océan, la température en profondeur et l'état de la glace. Les modèles de structure interne estiment pour l'instant l'épaisseur de la croûte de glace à une quinzaine de kilomètres, un océan d'une centaine de kilomètres de profondeur qui reposerait sur un noyau rocheux. Si la mission JUICE effectuera deux survols d'Europe seulement, le satellite sera la cible unique de la mission Europa-Clipper de la NASA qui sera lancée en octobre 2024 et arrivera en avril 2030 pour entamer 45 survols de la lune à des altitudes comprises entre 25 et 2 700 km.

Pour Ganymède et Callisto, l'état des lieux pour l'instant est un peu différent. Si de l'eau liquide peut exister en sous-surface de Ganymède, elle ne serait pas en contact avec le noyau rocheux (figure 2). Callisto pourrait ne pas être différencié, c'est-à-dire être un mélange relativement homogène de glace et de roche. Ce sont les multiples

survol de Ganymède et Callisto qui vont permettre de préciser leur structure interne possible.

L'instrument 3GM (Gravity and Geophysics of Jupiter and the Galilean Moons) apportera de nouvelles mesures de haute précision sur le champ de gravité des lunes, grâce au suivi de la porteuse radio de la sonde lors des courtes approches et de l'effet Doppler qu'elle subira du fait des accélérations subies à ces endroits-là. Le potentiel gravitationnel d'une lune dépend de sa structure interne et de son inhomogénéité qui peuvent être contraintes à partir de l'accélération de la sonde mesurée en fonction de la distance au centre de la lune. Un modèle de structure interne qui prend en compte :

- la structure du noyau ;
- le degré de mélange entre roches et glace ;
- la quantité d'eau liquide ;
- l'épaisseur des différentes couches ;
- les échanges thermiques entre elles ;
- les sources de chaleur internes (radioactivité ; dissipation des effets de marée, apports énergétiques au moment de l'accrétion initiale ;
- l'état de la matière aux températures et pressions internes.

doit pouvoir reproduire la densité volumique globale de la lune ainsi qu'un coefficient noté k_2 , nombre de Love, qui intervient dans l'expression du potentiel gravitationnel $U(r)$ pour une lune déformée par la rotation ou les effets de marée ou bien encore inhomogène :

$$U(r) \sim \frac{GM_L}{r} (1 - K_1 \times J_2 + K_3 \times C_{22})$$

où G est la constante de la gravitation, M_L la masse de la lune, K_1 et K_3 sont calculables analytiquement étant données les coordonnées de la sonde. Les grandeurs J_2 et C_{22} sont proportionnelles à ce nombre de Love k_2 et peuvent être estimées à partir de l'accélération mesurée par la sonde en fonction de la distance r au satellite lors des survols. Une valeur de k_2 peut en être déduite et comparée à des valeurs théoriques calculées à partir du profil de densité de la lune en fonction de la profondeur ainsi que des propriétés rhéologiques des différentes couches présentes. Ainsi le suivi de l'accélération de la sonde à partir du décalage Doppler de son faisceau radio de communication lors de multiples survols de la lune permet-il de contraindre sa structure interne.

Le radar RIME pour l'exploration des lunes glacées apportera certainement les mesures les plus innovantes

quant à l'exploration des lunes glacées, en particulier pour le sondage de leur sous-surface, la structure interne et l'épaisseur des croûtes potentielles de glace. À l'instar du radar MARSIS sur les dépôts de la calotte polaire Sud de Mars (figure 3), RIME a été construit pour sonder la sous-surface d'Europe, Callisto et Ganymède. La glace d'eau est en effet assez transparente aux ondes radio de basses fréquences n , aux alentours du MHz.

L'atténuation de l'onde radio est de l'ordre de 1 dB/km d'épaisseur à $n = 1$ MHz lorsque la température de la glace est de 150 K. Cependant elle augmente avec la fréquence utilisée. Par ailleurs, afin de pouvoir à la fois mesurer la distance et la direction relative de la lune par rapport à la sonde au cours de la mesure radar, le signal radio doit être modulé en fréquence autour de la fréquence

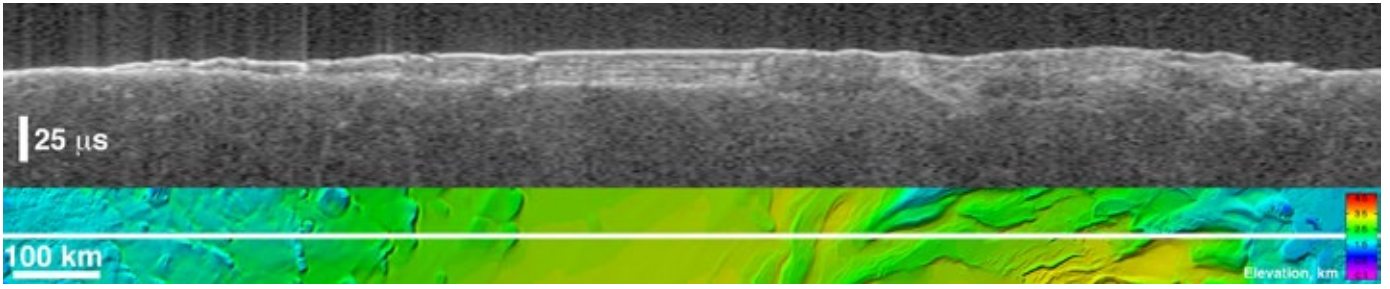


Fig.3. Image composée d'un radargramme du radar MARSIS embarqué sur la sonde Mars Express (haut) et d'une image de la calotte polaire Sud de Mars en fausses couleurs (bas), barrée d'une ligne blanche qui figure la trajectoire suivie par le faisceau du radar leur du survol de la sonde. Le radargramme constitue une image en profondeur de la surface à l'aplomb de cette ligne. L'échelle verticale est donnée ici en temps qui peut être convertie en distance connaissant les propriétés du milieu. On y distingue les différentes couches superposées renvoyant un écho de puissance variable. La ligne fait 1 500 km de long et les couches les plus profondes observées sont à 2,7 km de profondeur (Crédits NASA/JPL/ASI/ESA/Univ. of Rome/MOLA Science Team).

centrale n_0 , qui sera de 9 MHz pour le radar RIME. Le signal envoyé est riche en fréquences, c'est un « chirp » dont la largeur de bande B est de l'ordre du MHz. Si la traduction littérale correspond à un « gazouillis » (à l'instar de twitt !), ce terme signifie en fait « Compressed High Resolution Pulse radar » et constitue aussi une technique astucieuse pour utiliser des fréquences aptes à pénétrer la glace en profondeur et en même temps à pouvoir séparer facilement dans le signal de retour les échos des différentes couches éventuellement présentes en sous-surface.

Le théorème de Shannon règle cependant le temps minimal t_E qui doit séparer deux signaux « chirp », la contrainte étant $t_E \geq 1/2B$. La vitesse de propagation de

l'onde radar dans les couches de glace est $V_P = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ où c

est la vitesse de la lumière dans le vide et ϵ_r la permittivité relative de la glace d'eau. Entre deux « chirps » envoyés, séparés du temps t_E , l'onde parcourt une distance

$$h = V_P t_E = \frac{c}{2B\sqrt{\epsilon_r}}, \text{ distance qui constitue donc la}$$

distance minimale d'échantillonnage spatial du radar. La résolution spatiale d'un radar qui observe donc au nadir (« à l'aplomb » de la cible) est d'autant meilleure (petite) que sa bande passante B est grande. Cette bande passante ne peut cependant pas être plus grande que la fréquence de la porteuse n_0 qui, elle-même, ne peut pas être trop importante pour que le radar reste « pénétrant ». Il faut donc trouver un compromis entre une atténuation

raisonnable et une largeur de bande B la plus grande possible. Pour des fréquences de l'ordre du MHz, la permittivité relative de la glace ϵ_r est de l'ordre de 3 à 4. Le radar RIME possède deux modes d'observation, basse et haute résolution pour deux largeurs de bande B de 1 et 3 MHz, qui porteront donc sa résolution spatiale verticale entre 150 et 50 m respectivement. Si des couches d'au moins cette épaisseur, de propriétés physiques et chimiques différentes structurent la sous-surface, elles renverront chacune des échos d'amplitude et de temps de retour différents. Ces échos seront figurés dans un radargramme, à l'instar de ce qui a été fait pour le radar Marsis (figure 3) qui est un radar pénétrant de performances comparables. Espérons que le déploiement, qui rencontre à cette heure quelques difficultés, pourra être mené à son terme.

La route de JUICE est encore longue mais elle le sera tout juste assez pour la génération d'ingénieurs et de chercheurs désormais en charge de préparer les observations et d'assurer le succès de son exploitation scientifique. Un certain nombre d'entre eux ont appris à naviguer ou se sont aguerris sur le vaisseau amiral CASSINI. Gageons que cela sera une grande réussite. Bon vent. ■



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>