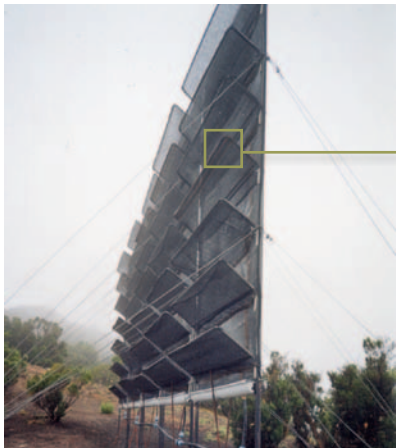




Des plantes variées sont utilisées pour capter l'eau du brouillard depuis des siècles : des lauriers à El Hierro (à gauche, le laurier replanté à l'emplacement de celui qu'utilisaient les premiers habitants de l'île), des agaves sur les îles du Cap-Vert (au centre)... Autrefois recueillie dans des puits, l'eau est désormais souvent collectée par des systèmes de canalisation (à droite) et de réservoirs.



F. Moudard, IFEA-IRD



Natural Aqua Canarias



Les attrape-brouillards sont des filets qui capturent l'eau du brouillard, en suspension dans l'air. La forme de la structure de soutien peut être simple, comme à Atiquipa, au Pérou (à gauche), ou plus élaborée. Celle d'El Hierro (à droite) est étudiée pour empêcher le vent de décoller les gouttes qui se sont formées. L'eau ruisselle ensuite sur les filets, puis est collectée par divers systèmes.

montagneuse, de sorte que sa topographie impose des déplacements courts et à faible vitesse. Les voitures électriques, qui sont encore peu autonomes mais dotées d'une bonne accélération au démarrage, y sont bien adaptées. Leur généralisation sera plus difficile sur le continent, où les déplacements peuvent être longs et rapides, notamment sur les autoroutes.

De façon générale, l'utilisation concomitante de plusieurs énergies renouvelables devrait permettre de pallier en partie leur intermittence. Il faudra aussi développer des moyens de stockage. Une solution envisagée pour stocker l'électricité est la technique du *Vehicule-to-Grid* (littéralement du véhicule au réseau), ou V2G : l'électricité est stockée dans les batteries des voitures à l'arrêt lorsque la production est excédentaire et disponible pour le réseau en cas de demande. En juin 2012, ENDESA, la compagnie qui fournit El Hierro en électricité, a déjà inauguré une station-service électrique réversible de ce type à Malaga, en Andalousie, et va en ouvrir une seconde à La Graciosa, une autre île des Canaries, en 2014 ou 2015. Cela devrait aussi venir à El Hierro. En revanche, en France, les constructeurs de

voitures freinent l'adoption de ce type de dispositif, craignant notamment une usure accélérée des batteries.

El Hierro est passée en 50 ans du stade rural au stade postindustriel avec des inconvénients mineurs, d'où une bonne acceptation du nouveau modèle par la population. Sur le continent, il sera plus difficile de faire ce saut dans le développement durable, notamment en raison d'une industrie et d'un tourisme de masse exigeant une forte offre énergétique.

Un modèle surtout applicable aux îles

Si certaines solutions pourront être développées à plus grande échelle, le modèle mis en œuvre à El Hierro est donc pour l'instant surtout applicable aux îles. Un projet légèrement antérieur est celui de l'île danoise de Samsø (114 kilomètres carrés et 4 400 habitants), où toute l'électricité est d'origine éolienne et solaire et où l'essentiel du chauffage est assuré par la biomasse (bois). Les habitants commencent à s'y doter de véhicules électriques. Notons que si cette île produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme, elle est connectée avec

le réseau électrique du continent, afin de gérer l'intermittence de la production. El Hierro sera donc la seule à la gérer de façon autonome, par l'intermédiaire de sa STEP. Quelques autres îles sont en train d'adopter un fonctionnement plus écologique.

L'exemple d'El Hierro montre qu'il est possible d'enclencher une transition énergétique et écologique sans nuire au développement, même en temps de crise économique aiguë. Le chômage n'y est pas plus élevé qu'ailleurs aux Canaries – soit de l'ordre de 30 pour cent, un chiffre qui a triplé depuis le début de la crise économique espagnole en 2008 –, malgré une éruption volcanique et des séismes qui ont interrompu le tourisme et la pêche depuis fin 2011. Au contraire, les nombreux travaux créent des emplois et l'imbrication inédite de techniques vertes engendrera un savoir-faire précieux.

À l'occasion du sommet de la Terre en 2012 à Rio, le WWF (Fonds mondial pour la nature) a mis en garde contre de nombreux problèmes : « bombe » démographique et énergétique, réchauffement climatique, gâchis de l'eau, perte accélérée de la biodiversité... Sur tous ces points, El Hierro propose des solutions. ■

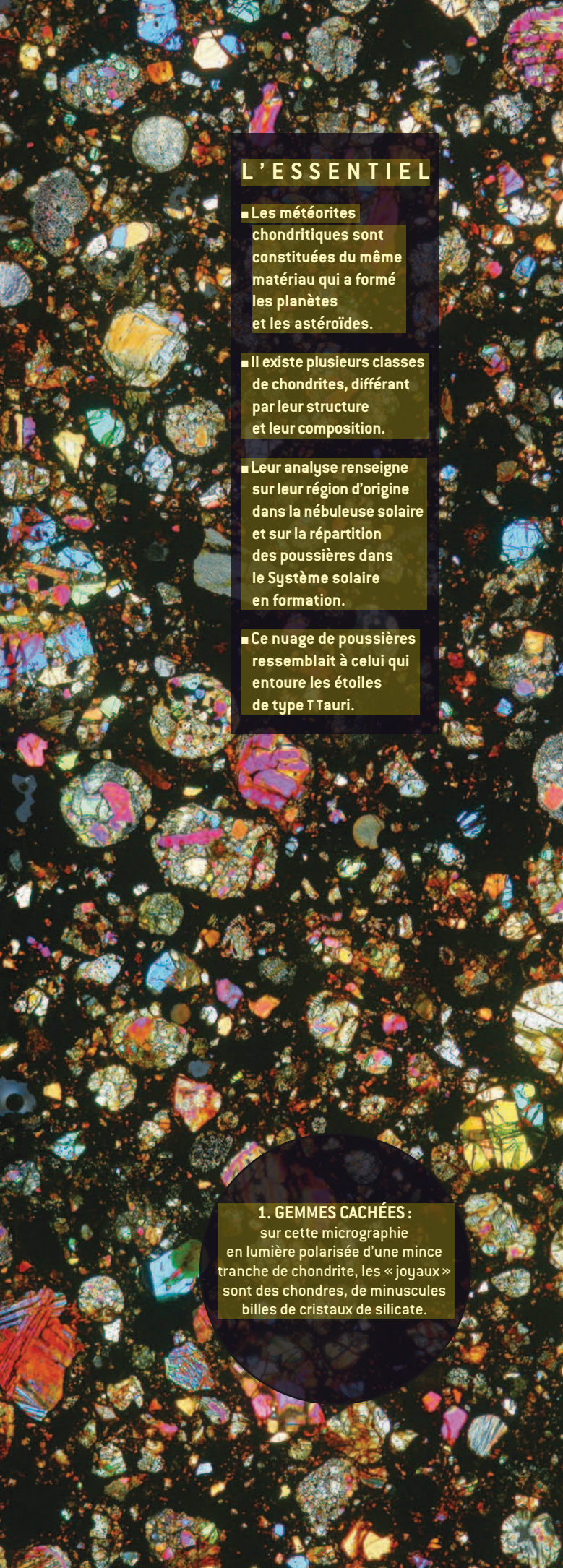
A detailed microscopic image of a meteorite sample, showing a dense field of small, colorful mineral grains in various shapes and sizes, set against a dark background. The grains exhibit a wide range of colors including red, orange, yellow, green, blue, and purple, indicating different mineral compositions.

Astrophysique

Les secrets des météorites primitives

Alan Rubin

L'analyse microscopique
des chondrites, les plus vieilles roches
du Système solaire, laisse entrevoir
ce qu'était la nébuleuse solaire
peu avant la formation des planètes.



L'ESSENTIEL

■ Les météorites

chondritiques sont constituées du même matériau qui a formé les planètes et les astéroïdes.

■ Il existe plusieurs classes de chondrites, différenciant par leur structure et leur composition.

■ Leur analyse renseigne sur leur région d'origine dans la nébuleuse solaire et sur la répartition des poussières dans le Système solaire en formation.

■ Ce nuage de poussières ressemblait à celui qui entoure les étoiles de type T Tauri.

1. GEMMES CACHÉES : sur cette micrographie en lumière polarisée d'une mince tranche de chondrite, les « joyaux » sont des chondres, de minuscules billes de cristaux de silicate.

J. Deroclette

Les astronomes étudient des objets si éloignés – étoiles, galaxies, quasars – qu'ils ne les observent que sous forme d'images sur des écrans d'ordinateur ou d'ondes lumineuses projetées par des spectrographes. Mes collègues et moi, qui travaillons sur les planètes et les astéroïdes, avons beaucoup de chance. Nous avons parfois l'occasion de toucher des fragments de ces corps célestes et de les manipuler pour leur faire révéler leurs secrets les plus intimes. Lors de mes études d'astronomie, j'ai passé de nombreuses nuits glaciales à observer au télescope des amas d'étoiles et des nébuleuses, et je peux aujourd'hui témoigner qu'il est plus gratifiant émotionnellement de tenir dans ses mains un éclat d'astéroïde : c'est un lien tangible avec quelque chose qui, autrement, resterait lointain et abstrait.

Les fragments d'astéroïdes qui me fascinent le plus sont les chondrites, lesquelles représentent plus de 80 pour cent des météorites qui tombent sur Terre. Les autres sont issus d'objets plus massifs, sièges de réactions physico-chimiques ayant modifié la composition des roches au fil des temps géologiques. Au contraire, les chondrites, qui doivent leur nom aux chondres qu'elles contiennent presque toutes (de minuscules perles de matériau fondu, souvent plus petites qu'un grain de riz) se sont formées durant les premiers stades du Système solaire. Quand on examine au microscope des lames minces de chondrites, elles se révèlent d'une grande beauté, qui n'est pas sans rappeler des tableaux de Vassily Kandinsky ou d'autres peintres abstraits.

Les plus anciennes roches

Les chondrites sont les plus anciennes roches que les scientifiques aient touchées. La datation par isotopes radioactifs montre qu'elles ont plus de 4,5 milliards d'années, c'est-à-dire qu'elles datent d'avant la période de formation des planètes, quand le Système solaire n'était encore qu'une nébuleuse, un disque de gaz et de poussières turbulent et en rotation. Leur âge et leur composition indiquent qu'elles sont constituées des matériaux primordiaux à partir desquels les planètes, les lunes, les astéroïdes et les comètes se sont assemblés. La plupart des chercheurs pensent que les chondres se sont formés au cours d'événements violents, quand des agrégats de poussières riches en silicates ont fondu et formé des gouttelettes. Ces dernières se sont rapidement solidifiées et agglomérées avec des poussières, des métaux et autres matériaux, formant des chondrites qui ont poursuivi leur croissance et sont devenues des astéroïdes. Les collisions violentes entre astéroïdes ont entraîné une fragmentation, certains débris finissant par tomber sur Terre sous forme de météorites. Ces dernières sont des témoins de la naissance du Système solaire, et constituent nos liens les plus directs avec les conditions dans lesquelles la planète s'est formée.

Mais comme les paléontologues le savent bien, trouver des fossiles n'est que la première étape de la reconstitution historique. Les découvertes doivent être replacées dans un contexte. Et il a été difficile de retrouver le lieu de naissance des différentes chondrites et l'environnement qui a été leur berceau, parce que nous avons peu de données sur les structures détaillées de ces roches. Il y a quelques années, j'ai fait une analyse systématique de toutes les propriétés physiques des chondrites, comblant beaucoup de lacunes. En exploitant ces données, j'ai dressé une carte approximative de la structure de la nébuleuse dont ont émergé ces chondrites.

La répartition de poussières sur la carte, bien que grossière, ressemble à celle de certains des systèmes stellaires T Tauri. Ces objets ont une luminosité qui varie de façon erratique et sont enveloppés d'atmosphères étendues, si bien qu'on pense qu'il s'agit d'étoiles jeunes. Beaucoup sont entourés de disques de poussières. La concordance de la carte de poussières de la nébuleuse solaire avec la structure de certains systèmes T Tauri conforte l'idée que ces derniers sont les précurseurs de systèmes solaires similaires au nôtre. Les chondrites donnent donc non seulement accès à notre propre passé lointain, mais aussi à d'autres systèmes stellaires jeunes de la Voie lactée. Ainsi, en élucidant la physique de ces systèmes, les scientifiques comprendront mieux les processus qui ont conduit à la formation des astéroïdes et planètes du Système solaire.

Une classification en douze groupes

Afin d'explorer le Système solaire primordial *via* l'analyse des chondrites, les planétologues doivent d'abord répertorier les propriétés de ces roches. Les chercheurs ont classé les chondrites en douze groupes principaux répartis en quatre classes ; ils se distinguent par des caractéristiques telles que leur composition chimique, les proportions des différents isotopes (éléments dont les noyaux ont le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons), le nombre, la taille et le type de leurs chondres, et enfin la quantité de matrice fine, qui sert de ciment aux différents composants des chondrites. Les caractéristiques distinctes de chaque groupe laissent penser que les chondrites retrouvées sur Terre doivent provenir d'astéroïdes différents.

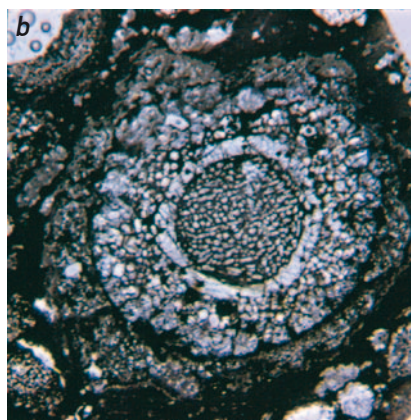
■ L'AUTEUR



Alan RUBIN est géochimiste à l'Université de Californie à Los Angeles. Il est spécialiste des météorites chondritiques.



Collection Mark Maudhner Macovich



Alan Rubin

2. DANS LES CHONDRITES CARBONÉES (a), les chondres ont tendance à être gros et complexes. Vu au microscope, un chondre (b) contient un noyau de silicate (bille centrale de quelques centaines de micromètres de diamètre revêtue d'une mince coque), entouré d'une coquille secondaire (la bande large) et d'une couche externe nommée enveloppe ignée (la zone noire irrégulière).

Les chercheurs ont imaginé de nombreux modèles pour expliquer la formation initiale des différents groupes de chondrites. Ces modèles font intervenir des facteurs tels que la turbulence du gaz de la nébuleuse, les champs magnétiques et les différentes vitesses avec lesquelles les particules se sont agencées dans le plan nébulaire médian. Mais en définitive, est restée la conclusion vague que les divers types de chondrites s'étaient formés dans des « conditions différentes ».

Espérant me faire une meilleure idée de ce qu'étaient ces conditions, j'ai commencé en 2009 à compiler les études antérieures pour construire un tableau recensant les propriétés essentielles des principaux groupes de chondrites. J'avais l'intention de rechercher des corrélations entre les propriétés, susceptibles d'éclairer l'histoire de chaque groupe. Mais à la fin de ce travail de synthèse, mon tableau était à moitié vide ; peu de chercheurs, semblait-il, avaient jugé intéressant de récolter ce type de données.

Il ne me restait plus... qu'à le faire moi-même. J'ai ainsi examiné au microscope 91 lames minces de 53 météorites appartenant aux différents groupes chondritiques. De nombreux minéraux deviennent transparents lorsque leur épaisseur est égale ou inférieure à 30 micromètres ; il est alors possible d'étudier leurs propriétés optiques. Les lames minces ont révélé des chondres de tailles, de formes, de structures et de couleurs fort variées. Certes, l'analyse de milliers de chondres peut être fastidieuse, mais en m'astreignant à cet exercice de « microscopie astronomique », je suis parvenu à remplir mon tableau en quelques mois. Sans résoudre totalement l'énigme des « conditions différentes », mes résultats précisaient les idées que l'on avait sur l'origine, dans la nébuleuse solaire, des différents groupes de chondrites.

Intéressons-nous tout d'abord à une classe rare de chondrites, les chondrites à enstatite, qui représentent environ deux pour cent de toutes les météorites chondritiques recueillies sur Terre. Ces roches doivent leur nom à leur principal constituant minéral, l'enstatite (MgSiO_3). Il existe deux formes de chondrites à enstatite, EH (H pour *high*) et EL (L pour *low*), selon qu'elles contiennent beaucoup ou peu de fer. Les abondances des isotopes de l'azote, de l'oxygène, du titane, du chrome et du nickel de ces chondrites ressemblent à celles de la Terre et de Mars. Ces chondrites à enstatite se sont probablement formées à l'intérieur de l'orbite de