N° 4

L'ARGENTURE DES MIROIRS : PASSÉ OU AVENIR ?

Daniel WOEHRLING

Les Cahiers de la SAN

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Profiter de l'expérience des chevronnés pour fabriquer votre propre télescope selon des techniques éprouvées.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

L'ARGENTURE DES MIROIRS : PASSÉ OU AVENIR ?

Daniel WOERHLING

Édition 2011

Les « ***Cahiers de la SAN*** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.
35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES
Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com
© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

Préface

L'adaptation aux miroirs de télescopes du procédé industriel d'argenture par voie chimique, a permis à la Société d'Astronomie de Nantes de remettre en honneur cette technique. Elle bénéficie d'un net regain d'intérêt du fait de l'augmentation du prix de l'aluminure, jointe aux avantages propres à une métallisation à l'argent.

Après un rappel du principe de l'argenture et une description du procédé industriel, les avantages et les inconvénients de chacune des deux options de métallisation sont comparés. La simplicité et la fiabilité de la méthode industrielle d'argenture qui donne toute satisfaction, jointe à notre expérience de plusieurs années, permettent aujourd'hui de la recommander aux astronomes amateurs.

Table des Matières

Introduction 7
La technique d'argenture par voie chimique 10
Comparaison succincte entre l'aluminure et l'argenture 19
Conclusion 22
Notes 24
Remerciements 28
Bibiographie sommaire 29
Adresses 30

L'ARGENTURE DES MIROIRS : PASSÉ OU AVENIR ?

La qualité du miroir demeure sans conteste l'élément primordial dans le jugement, empreint de subjectivité, que l'amateur porte sur son télescope, abstraction faite d'autres aspects non moins essentiels mais psychologiquement secondaires liés notamment aux caractéristiques mécaniques.

Également, dans la construction d'un instrument, le travail du verre est perçu comme la partie noble. Hormis une probable composante anthropomorphique qui fait assimiler la pièce optique principale à l'oeil humain, puissant au point de défier le ciel, l'élaboration de celle-ci, contrairement aux parties mécaniques pour lesquelles le résultat est tangible car macroscopique, est ressentie par le profane comme relevant d'une alchimie abstraite, la réussite étant la récompense de sa soumission à un ensemble de rites empiriques sur les effets desquels il n'a généralement pas prise. Ainsi, tout ce qui touche à la difficile science des miroirs, y compris leur consécration finale, la métallisation, est paré d'un voile de mystère et porte la marque du sacré.

C'est pourquoi l'appréciation d'éléments objectifs en ce domaine n'est pas toujours aisée, encore moins lorsqu'on s'attaque à des mythes tel celui de l'aluminure, procédé que l'on croyait définitivement institué. À cela s'ajoute la pression du commerce, tout orienté "aluminure" (inaccessible à l'amateur, la technique permet d'entretenir une dépendance de celui-ci), et l'on comprend que l'argenture, pourtant à l'honneur pendant

longtemps et ayant fait autrefois ses preuves en astronomie professionnelle, soit obligée aujourd'hui de se justifier.

Il est vrai également que cette option présentait quelques inconvénients car elle demande beaucoup de soins dans la préparation des produits et le dégraissage du miroir. Par ailleurs la méthode, telle qu'elle est décrite dans les manuels, constitue une opération relativement compliquée, propre à décourager le néophyte ou l'amateur qui ne souhaite pas toujours se familiariser avec un domaine supplémentaire : la chimie, et préfère confier son miroir à l'alumineur. Enfin, l'opération manuelle est relativement dispendieuse en produits de couteux, notamment le nitrate d'argent. C'est en fait l'application du procédé industriel qui a permis à la Société d'Astronomie de Nantes (SAN) de remettre cette technique à l'honneur et de la recommander pour sa simplicité, sa fiabilité et son faible coût.

Cet usage, depuis maintenant plusieurs années, a suffisamment démontré l'intérêt de l'argenture pour que l'on puisse la conseiller utilement aux amateurs, qu'ils soient constructeurs ou non, car la méthode peut s'appliquer également aux miroirs du commerce à la place d'une coûteuse re-aluminure.

Le but de cet article est de présenter les avantages de la technique préconisée par la SAN. Après avoir rappelé le principe de l'argenture, nous décrirons le procédé industriel pour finir par une comparaison succincte entre aluminure et argenture.

Pourquoi avoir pensé à l'argenture ?

Depuis que la SAN existe, et même avant, la construction de télescopes (et l'argenture des miroirs) fut très actives à Nantes grâce aux talents d'Albert LASSORT, actuel président d'honneur, et toujours en activité[1]. Les avantages d'une construction comparés à ceux d'un achat sont connus : faible coût, dépenses étalées, possibilités de « pousser » la qualité, etc. Restent certaines dépenses incontournables et notamment l'aluminure, dont le prix allait croissant pour atteindre des sommets... astronomiques[2].

À cela s'ajoutait la contrainte de l'expédition qui, outre l'addition d'un délai, occasionne à l'amateur une angoisse proportionnelle au carré de l'éloignement du fournisseur !

Il fallait donc trouver une solution. L'argenture avait bien été pratiquée à Nantes par LASSORT et ses élèves de 1940 à 1965 (avec une interruption pendant la guerre), mais la perspective pour les constructeurs actuels de se hasarder dans une cuisine savante pour un résultat qui n'était pas toujours garanti était décourageante. Et ne parlons pas du gaspillage de matière première puisque l'on procédait par bains.

C'est alors que l'idée germa : comment les industriels font-ils pour fabriquer des miroirs argentés ? Pourquoi ne pas essayer d'appliquer cette méthode à nos miroirs de télescopes ? Quelque astronome aventureux alla se rendre compte sur place... Rien de plus simple : une vaporisation de quelques instants sur la surface du verre qui miraculeusement se transforme sous vos yeux en miroir ! Le prix : exorbitant. Jugez plutôt : environ 50 € le m^2 (tarif 1992) mais, nous prévient-on, compte-tenu des pertes, on vous compte un minimum d'1/10e de m^2 (soit environ 5 € !) quelle que soit la surface à argenter. Cela correspond à un miroir de $2\sqrt{0,1/\pi}$, soit environ 360 mm de diamètre ! Il est peu probable que l'aluminure puisse un jour concurrencer un tel tarif.

$2\sqrt{0,1/\pi}$

Il restait à vérifier la validité du procédé appliqué aux miroirs de télescopes. Essai fut fait. Résultat : aspect parfait. Le test de Foucault (voir ***Cahiers de la SAN*** n° 1), à l'inverse de ce que l'on pouvait craindre, ne révéla aucune sur-épaisseur (voir plus loin). Quant à l'adhérence de la couche d'argent, moyennant la sage précaution de laisser reposer le miroir un ou deux jours avant de le manipuler, elle ne présente (quasiment) nulle faiblesse. Enfin, la tenue au temps semble excellente. Alors ? Allons un peu plus loin dans le détail afin d'aboutir à un argumentaire plus sérieux qui permette à chacun de se faire une opinion avant d'opter pour l'aluminure ou l'argenture.

La technique d'argenture par voie chimique

Petit rappel historique

Les premiers télescopes (à proprement parler télescopes réflecteurs) utilisaient directement des miroirs en métal poli (cuivre ou alliage, bronze par exemple). Leur inconvénient majeur, outre la difficulté de réaliser de grands réflecteurs en métal massif du fait des problèmes rencontrés lors du refroidissement (déformation voire éclatement), résidait dans la nécessité de procéder pratiquement à un repolissage du miroir à chaque rénovation, alors que peu d'astronomes maîtrisaient réellement la technique de surfaçage qui, de surcroît, dépendait de la nature du métal.

Le dépôt d'une couche ultra-fine d'argent sur le verre, matériau inaltérable dont le polissage était au contraire bien maîtrisé par les opticiens, apparaissait depuis longtemps comme une solution idéale mais les premières tentatives de dépôt d'amalgame d'argent par voie mécanique (dès le XVIIe siècle) ne donnaient guère satisfaction, car d'une part l'adhérence n'était pas excellente et d'autre part on n'échappait pas aux délicats repolissages.

La technique de l'argenture par voie chimique semble remonter à DRAYGTHON qui l'inventa en 1835 selon LASSORT (communication personnelle), 1843 selon DANJON et COUDER. Elle fut présentée pour la première fois à la grande exposition de Londres en 1851 et reprise par le chimiste allemand Justus Von LIEBIG qui l'améliora par l'utilisation d'un réducteur glucidique (voir explications plus loin)[3]. C'est Steinheil qui fut le premier à fabriquer par ce procédé un miroir de 10 cm en verre argenté qu'il monta sur un télescope en 1856. L'année suivante, FOUCAULT polit et argenta un miroir de 33 cm pour l'observatoire de Paris selon la méthode de Draygthon (*in BOULET*). La technique avait acquis définitivement ses lettres de noblesse.

Peu à peu, les miroirs métalliques furent abandonnés au profit des miroirs de verre argentés par voie chimique selon la méthode perfectionnée par MARTIN, puis LUMIÈRE et BRASHEAR (*in BOULET*) jusqu'à DANJON. La technique mit longtemps cependant à s'imposer aux amateurs français, encore nombreux à préférer les lunettes, malgré les avantages du télescope réflecteur (faible prix de revient à performance égale, absence d'aberration chromatique, etc.). BOULET, dans sa note de 1935, déplore cette situation qu'il attribue à la peur de nos concitoyens devant l'argenture et encourage les amateurs français à imiter leurs homologues anglais ou américains.

Les bases chimiques de l'argenture du verre

L'argenture des miroirs par voie chimique est basée sur la fameuse réaction dite fort justement du « miroir d'argent », entre le nitrate d'argent $AgNO_3$ et un sucre réducteur. Le principe de la réaction se résume à la réduction de l'ion Ag^+ en Ag^0 (argent métallique) par la fonction aldéhyde –CHO du glucide[4] qui s'oxyde en acide –COOH.

Dans le détail, le nitrate d'argent est d'abord transformé en oxyde d'argent Ag_2O par un traitement à la soude NaOH (ou la potasse KOH)[5], et c'est l'oxyde d'argent qui est réduit par le sucre. En pratique, l'hydroxyde et l'oxyde d'argent (voir note précédente n°5) étant insolubles, les précipités sont redissous par l'ammoniaque, mais comme l'excès de celui-ci ralentirait la réduction ultérieure, on ajoute ce dernier composé en quantité juste *sous-nécessaire* que l'on détermine en laissant persister un léger trouble dans la solution.

Enfin, de manière à prévenir la formation de grumeaux difficiles à redissoudre, une petite quantité d'ammoniaque est ajoutée au nitrate d'argent juste avant traitement par la soude ou la potasse. La solution de sucre réducteur est préparée, quant à elle, à partir de sucre ordinaire, dit *de table* (ou de canne), appelé en chimie ***saccharose*** ou ***sucrose***.

Je me suis longtemps interrogé sur cette fantaisie, sachant que le saccharose n'est pas réducteur ! Aucun manuel ne me tira de ma perplexité jusqu'à ce que je me rende compte que tous sans exception recommandaient de faire bouillir la solution sucrée, additionnée d'un peu d'acide (tartrique ou acétique - vinaigre par exemple -, car l'ion Cl de l'acide chlorhydrique nuirait à l'argenture[6]), pendant 10 ou 15 min selon les manuels.

Cela conduit tout bonnement à une hydrolyse, libérant à partir d'une molécule de saccharose, une molécule de glucose et une molécule de fructose, toutes deux réductrices.

Cela explique encore les constatations empiriques qui attribuaient un meilleur pouvoir réducteur aux solutions légèrement vieillies ou à l'usage du miel (composé de 50 % de glucose et de 50 % de fructose) que l'on préconise dans d'anciennes recettes. Bien entendu pour la conservation il était recommandé d'ajouter un peu d'alcool (avant l'inversion ou après) afin d'éviter le développement de micro-organismes dans ce milieu hautement fermentescible. Mais je me demande encore, compte-tenu du rôle apparemment pernicieux des impuretés, pourquoi l'on ne s'inquiète pas davantage de la qualité ni de l'origine du sucre utilisé, notamment s'il est raffiné ou non.

Le détail des procédés (quantités, proportions, modalités, etc.) figure dans maint manuels destinés aux constructeurs dont certains sont cités à la fin de cet article. Le plus complet à mon avis et aussi le plus pédagogique demeure celui de Danjon et Couder, ou encore le petit fascicule de Boulet (si vous disposez d'une ancienne collection de *L'Astronomie*). Cela n'aurait aucun sens de détailler et de comparer ici entre elles les différentes recettes, d'autant que ce n'est pas le sujet principal de cet article[7].

Si j'ai rappelé le principe des réactions et fait certaines remarques, c'est pour souligner l'essentiel et aussi parce que les manuels ne satisfaisaient pas toujours pleinement la curiosité de l'amateur dans ce domaine. Notamment, ils n'éclairent pas suffisamment le lecteur sur le *pourquoi* des recettes et recommandations qu'ils formulent.

Il est vrai que, comme le rappellent DANJON et COUDER, l'ensemble des phénomènes fait appel à pas moins de huit espèces chimiques au total ; rien d'étonnant à ce qu'on éprouve quelque difficulté à les élucider et que des *zones d'ombre* subsistent : notamment le mécanisme d'action du chlorure stanneux ($SnCl_2$) que l'on retrouve dans le procédé industriel et qui permet l'adhérence de l'argent sur le verre.

Procédé artisanal

Sans être fastidieuses, les différentes opérations de préparation des solutions, compte-tenu de toutes les précautions à prendre, demeurent délicates. Mais le grand inconvénient de la méthode *home-made* résidait dans l'opération finale au cours de laquelle le miroir, plongé dans un bain où l'on mélangeait les deux liqueurs complexes contenant les réactifs, recevait enfin sa couche d'argent : au sortir du bain, on avait quelquefois la surprise de voir le délicat feuilleté d'argent se déliter misérablement, avec comme seule ressource de recommencer.

Il va de soi qu'un tel procédé, malgré un coût inférieur à celui de l'aluminure, n'était pas toujours bon marché, le prix du nitrate d'argent étant tout de même basé sur le cours du métal. Enfin, ne parlons pas de la frustration de l'amateur confronté à une matière quelque peu récalcitrante. D'où les variantes d'un manuel à l'autre auxquelles s'ajoutent les multiples petits secrets des uns et des autres. Rien d'étonnant à ce que les générations nouvelles d'astronomes, inspirées en cela par le modèle des grands observatoires et répondant à l'appel des sirènes du commerce, se soient tournées vers l'aluminure.

Procédé industriel

Dans les procédés industriels où il convient d'optimiser les méthodes afin, d'une part de garantir une fiabilité et une qualité constantes, d'autre part de limiter les pertes, de tels inconvénients ont bien sûr été proscrits d'autant plus que l'usage de bains ne devait pas paraître très rationnel ni commode pour de grands miroirs.

Précisons que parmi les procédés industriels, seuls peuvent nous intéresser ceux qui font encore appel à l'argenture manuelle (même si le procédé a évolué par rapport à la méthode classique décrite ci-dessus), notamment pour la restauration de glaces anciennes ou des travaux particuliers (comme les *glaces d'espion*, sans peinture protectrice[8] et où le verre est recouvert d'une très fine couche d'argent d'épaisseur voulue).

En revanche, l'usage de *convoyeurs*, sortes de rampes où les glaces sont argentées automatiquement et sortent peintes et séchées coté argenture, ne convient bien entendu pas aux miroirs de télescopes[9] et certains amateurs s'étant renseigné auprès des miroitiers de leur région ont pu être déçus[10].

Dans le procédé *industriel mais manuel*, on pulvérise tout simplement les deux composantes principales de la réaction (nitrate d'argent ammoniacal et solution sucrée) sur le verre au moyen de deux buses. Le principe de base est le même : la solution de nitrate d'argent est traitée par la soude mais l'on rajoute l'ammoniaque sans prendre la précaution d'en introduire une partie avant traitement par la base ; quant à la seconde composante (solution sucrée), elle est préparée directement à partir de glucose.

À la différence du procédé classique, on y ajoute d'une part du formol[11] et d'autre part du sulfate de sodium Na_2SO_4 et du nitrate de potassium KNO_3. Autre différence : cette seconde composante est préparée en deux temps, d'une part glucose et formol, d'autre part sulfate et nitrate, les deux solutions étant maintenues séparées et mélangées au dernier moment[12].

Tout l'art de l'argenteur professionnel réside dans les proportions employées, l'ordre des manipulations et surtout l'origine des produits : on est particulièrement soucieux dans l'industrie de leur qualité, constance et pureté[13]. Il existe probablement des variantes dans lesquelles l'empirisme n'est pas exclu et qui constituent le *coup de main* de chacun et la matière d'un secret jalousement gardé.

L'argenteur insiste beaucoup sur la qualité de l'eau[14] qui doit subir une déminéralisation poussée, ce qui implique de ne

pas forcer les débits sur les résines de déminéralisation (échangeuses d'ions) et de les surveiller pour les changer à temps. L'usage de l'eau distillée s'avère en revanche inutile.

Cela rejoint certains procédés classiques qui recommandent l'eau de pluie (BOULET). Attention cependant à ne point recueillir cette eau par temps d'orage (voir note n° 14) !

Le nettoyage du miroir ne se fait pas ici à l'acide nitrique, dont les traces restant sur le miroir risquent d'abîmer l'argenture. Le dégraissage par une simple caresse au moyen d'un tampon garni d'oxyde de cérium (poudre à polir) suffit[15]. Oh, pas de crainte ! Vérification faite, cet effleurement ne modifia en rien la forme de nos miroirs. Un lavage abondant à l'eau distillée, sans oublier la préparation à l'aide de la solution de chlorure stanneux permettant l'accrochage ultérieur de l'argent, et en avant !

Sous nos yeux, voilà un verre amoureusement ébauché, puis douci et enfin poli en quelques longues dizaines d'heures qui, en quelques instants, se métamorphose en ce miroir tant convoité lequel viendra couronner notre télescope. À peine si, religieusement, nous avons la pudeur de ne pas le manipuler tout de suite, laissant à l'argent quelques 48 h pour se familiariser avec notre verre, bien à l'abri de la caisse qu'on lui avait confectionné dans cette intention et dans laquelle le mariage pourra être consommé.

Bien entendu, et surtout pour le transport, éviter tout contact et frottement avec la couche de métal. Le miroir devra reposer entre taquets, face argentée vers le bas de préférence. Surtout pas de verre rodé à la forme du miroir pour épouser ce dernier, comme le suggèrent certains auteurs pour l'aluminure ! Restons simples.

Enfin, comme dans le procédé classique le miroir, une fois argenté, est séché (au séchoir électrique, tout bonnement). On peut améliorer le pouvoir réfléchissant du miroir fraîchement argenté en le *brunissant*, c'est-à-dire en le nettoyant et le polissant en surface (très légèrement) avec une peau de chamois très usée enduite de rouge fin à polir (oxyde de fer) et conservée à l'humidité dans un récipient hermétique, à l'abri de la

poussière (j'ai, pour ma part, évité ce traumatisme inutile à mon miroir).

Le procédé industriel semble donc, au contraire du précédent, parfaitement fiable et de plus, économique, le seul « gaspillage » consistant en la pulvérisation débordant de la surface proprement dite[16].

Enfin, il est parfaitement possible de faire argenter un miroir préalablement aluminé, à condition que ce malheureux n'ait point subi le traitement de choc de la fameuse couche *protectrice* de silice[17], très difficile à détrôner[18], et condamnant l'amateur à demeurer fidèle à ses alumineurs. Néanmoins, nous avons réussi à l'atelier de la SAN à « blanchir » plusieurs miroirs ainsi protégés avec de l'eau régale et de l'oxyde de cérium. Autrement, un simple lavage à l'acide chlorhydrique ou nitrique dilué (ou bien sûr à la soude – diluée, car attention à l'attaque du verre ! –) suffit à faire partir la couche d'aluminium.

Allant jusqu'au bout de notre scepticisme, nous avons procédé à un examen au test de Foucault juste après notre premier essai d'argenture industrielle. Nous craignions surtout la présence de sur-épaisseurs voire de mamelonnage et, compte-tenu de la posture du miroir durant l'argenture, la formation de coulées.

Puisque le test met en évidence des irrégularités de surface de l'ordre du 1/20e jusqu'au 1/50e de longueur d'onde[19] (Danjon et Couder parlent de 1/100e, ce qui nous paraît très, très bien[20] !), tout défaut de surface du à l'argenture aurait paru évident au simple examen visuel. Or l'aspect des miroirs argentés s'avérait parfaitement régulier.

Il faut en conclure que la couche de 0,1 à 0,2 µm d'épaisseur[21] (Danjon et Couder) épouse parfaitement la forme du verre, conformément d'ailleurs à la faculté de l'argent ainsi produit de s'étaler très rapidement et très uniformément. Il est improbable en effet qu'un étalement inégal soit strictement de révolution et reproduise un nouveau paraboloïde d'aspect régulier.

La métallisation ne provoque donc rien de plus qu'une minime translation et respecte la forme du miroir. Il est donc inutile de procéder à de nouvelles mesures (j'ose espérer cependant que ceux qui doutent encore auraient eu la même exigence envers les miroirs revenant de l'aluminure).

Néanmoins, ces remarques ne sont valables que pour une couche d'argent relativement mince, d'où il ressort qu'il ne faut pas céder à la tentation d'en *avoir plus pour son... argent* ! HOWARD conseille comme test (pour un miroir aluminé, mais on suppose que c'est valable pour les miroirs argentés également) de regarder une lampe de 100 W à travers celui-ci (on doit voir le filament) ; la lumière doit le traverser faiblement et révéler quelques imperfections de la couche métallique. Une couche plus épaisse affecte la forme du miroir tandis qu'une couche trop fine permettrait à une partie de la lumière incidente d'être transmise au lieu de réfléchie.

Un conseil encore : les professionnels argentent généralement leurs miroirs au dos de la face réfléchissante, protégée par le verre (puis recouverte sur l'autre face par une peinture protectrice). Notre exigence de laisser la surface métallique à nu, côté réflecteur, ne leur est pas coutumière.

Par ailleurs, ils ont l'habitude de reprendre le poli par endroits pour enlever les rayures disgracieuses. Il est donc préférable les premières fois de demeurer auprès de son miroir afin de prévenir tout geste instinctif malencontreux. Bien entendu, nos argenteurs ont à présent l'habitude de nos fantaisies et si je demande à assister à l'opération, c'est davantage par plaisir que par méfiance.

En revanche, je ne peux acquiescer à l'une des remarques que j'ai recueillies après la visite lors du Congrès[22], où quelqu'un m'écrivit : « *Il est scandaleux de traiter de la sorte des miroirs de télescope* ».

Que voulait dire mon éminent collègue ? Les argenteurs ont réalisé cette opération tout à fait normalement, avec les précautions d'usage pour un matériau qu'ils connaissent bien. Aucun accident jusque-là n'est à déplorer et les résultats sont là

pour attester de la parfaite maîtrise de leur « coup de main », même si la rapidité de l'homme de métier ou son apparente désinvolture peut surprendre l'amateur, voyant ainsi manipuler « techniquement » son précieux miroir, et non « religieusement » comme il aurait peut-être fait lui-même.

Sait-il seulement, mon éminent collègue (chez qui je soupçonne une petite velléité de taquinerie), comment les miroirs que l'on donne à aluminer sont traités, déballés, empoignés, placés dans les cloches à vide, remballés puis transportés ? Peut-être les allumineurs devraient-ils recommander aux âmes sensibles d'attendre dans l'antichambre, comme l'exigent les vétérinaires lorsqu'on leur amène l'animal chéri pour éviter les évanouissements. Pardon à l'éminent collègue.

Comparaison succincte entre l'aluminure et l'argenture

Faute de reprendre de manière exhaustive les caractéristiques de l'une et l'autre technique, je m'en tiendrai provisoirement à dénoncer quelques mythes :

• « *L'aluminure "tient" plus longtemps* » ; dans cette affirmations, deux acceptions possibles :

« La couche est mieux accrochée sur le verre ». C'était peut-être vrai autrefois, ou pour des aluminures sérieuses. Personnellement, j'ai vu des miroirs aluminés depuis seulement un an présenter d'inquiétantes auréoles de défoliation alors que certains miroirs argentés tiennent très bien, même au nettoyage (dépoussiérage voire lavage au savon et à grande eau – avec respect tout de même –). Il est vrai cependant que l'argenture demeure fragile. Ma première argenture, que je voulus rénover après quelques mois, ne résista pas à un frottement léger de la main après trempage dans un bain contenant du détergent.

On peut penser qu'un bon dégraissage à l'acide nitrique avant argenture, comme le préconise la méthode classique, améliorerait l'adhérence de la couche d'argent. Rien n'empêche l'amateur de se livrer à cette opération avant d'apporter son miroir chez l'argenteur. S'il veut aller jusqu'au bout, il devra l'amener dans une bassine d'eau distillée pour lui éviter de sécher.

« Le brillant demeure plus longtemps ». Il est vrai que grâce à la micro-couche d'alumine, le miroir aluminé est protégé, mais le miroir argenté se nettoie aisément et le jour où il ne vous donne plus entièrement satisfaction, ou si vos lavages ou brunissages l'ont quelque peu dégarni, rien ne s'oppose à ce que vous le fassiez réargenter, le prix (dérisoire) n'étant plus un obstacle. Et vous aurez ainsi un miroir neuf à tout moment. Notons que le miroir aluminé doit être nettoyé lui aussi tous les ans ou tous les deux ans.

Bien entendu, si le miroir a subi un traitement protecteur (voir plus haut), sa longévité est nettement augmentée. Mais

alors, pourquoi ne pas appliquer un tel traitement (par couche de silice par exemple) à une argenture ? Rien ne s'y oppose a priori. Serions-nous à l'aube d'une révolution ?

• « *L'aluminium réfléchit davantage que l'argent* ».

Faux dans le visible (pouvoir réfléchissant de l'aluminium : environ 85 %, de l'argent environ 95 %, voir tableau 1[23], vrai pour la raie violette où c'est l'aluminium qui gagne.

Argent	93	Aluminium	83	Rhodium	78	Iridium	75
Chrome	70	Nickel	62	Platine	59		

Tab. 1.- Pouvoir réfléchissant (en %) de quelques métaux, à 0,5911 nm (5911 Å), d'après Howard

Ai-je bien compris que les caméras CCD[24] étaient moins sensibles aux courtes longueurs d'onde, vers le bleu et le violet (Patrick MARTINEZ[25]) ? Ne serait-ce pas là une autre bonne raison de choisir l'argenture ?

J'entends enfin parler de *traitement à l'argent* pour augmenter le pouvoir réfléchissant des miroirs aluminés (tiens donc ?) Il serait très intéressant d'en savoir davantage, notamment s'il s'agit d'un traitement additif, par-dessus l'aluminure (ce qui paraît tout de même curieux car alors, pourquoi aluminer ?) ou d'une argenture pure et simple (auquel cas, comment justifie-t-on le prix de ce traitement, plus élevé encore que pour l'aluminure ?)

• « *L'aluminure est une technique moderne ; si les grands observatoires l'ont adoptée, c'est sans doute avec quelque raison* ». Voilà une belle paraphrase du Bourgeois Gentilhomme : « *Les gens de bien font ainsi ? Nous ferons donc ainsi !* » Si c'est l'aluminure qui est pratiquée pour les grands miroirs, c'est sans doute parce que le problème s'inverse, les coûts directs et indirects (liés dans ce dernier cas à l'immobilisation des télescopes) qu'occasionneraient des argentures répétées ayant fait préférer la solution de l'aluminure, d'un brillant plus durable et constant à court terme. Ensuite, sans doute aussi pour les caractéristiques réfléchissantes de l'aluminium, qualitativement différentes (voir ci-dessus) et préférées pour la photographie en

raison de la sensibilité des pellicules, bien que le coefficient de réflexion soit inférieur (pour le visible) à celui de l'argent. Par ailleurs, les grands observatoires sont équipés de cloches à vide aux dimensions du miroir[26].

On pourrait, par boutade, résumer ainsi ces quelques mythes : « l'aluminure est chère, donc elle est meilleure que l'argenture, d'autant que tout le monde fait comme ça et que les grands observatoires l'utilisent ! Et même si l'argenture était meilleure, l'aluminure serait encore meilleure ! » Et d'ailleurs, bientôt, grâce aux traitements complémentaires à l'argent (!), l'aluminure aura rattrapé l'argenture et nous en aurons enfin pour notre... argent !

Conclusion

Loin de nous l'idée de préconiser une méthode à tout prix, ni de nous fâcher avec les maisons pratiquant l'aluminure. Celle-ci demeure la solution pour une option de « robustesse » ou « spéciale photographie » (et encore !), mais coûteuse et contraignante, par opposition à l'argenture dont le choix correspond à l'option « pouvoir réfléchissant » ou « spéciale CCD » (eh oui, pourquoi pas ?), simple et bon marché, mais plus fragile.

Dans cet article, j'ai essayé de comparer les deux métallisations avec un maximum d'arguments. Si j'ai exposé un peu plus en détail la technique d'argenture c'est que, tombée en désuétude, elle n'était plus très connue des amateurs. Il était donc nécessaire de rappeler les bases conduisant au procédé industriel, qui supprime les inconvénients de la méthode classique, lesquels ne sont pas tout à fait étrangers au déclin de cette option.

L'évolution du prix de l'aluminure, opposée à la facilité offerte par le procédé industriel d'argenture, doivent être des paramètres qu'il convient maintenant d'intégrer aux arguments purement techniques dont certains, fallacieux, flattaient abusivement l'aluminure au détriment de l'argenture qui souffre d'un discrédit exagéré, proportionné d'ailleurs à l'excès d'affection que l'on voue à l'aluminure. Pour beaucoup de raisons, l'argenture mérite largement d'être réhabilitée. Elle devra vaincre pour cela l'inertie d'un usage établi et, comme par le passé, la crainte de la nouveauté !

Ce travail doit être poursuivi, notamment en affinant la comparaison des deux techniques de métallisation, d'une part dans sa partie théorique (recherche plus complète des caractéristiques fines) et d'autre part dans sa partie expérimentale (performances in situ). Cela dit, on peut espérer que la présente mise au point aidera l'amateur à opter pour l'une ou l'autre métallisation selon des critères objectifs, ou tout au moins à essayer l'argenture sans crainte, contribuer ainsi aux essais in situ et augmenter le nombre de données disponibles sur les performances des miroirs argentés.

Je dois dire que peu à peu, les plus exigeants d'entre les Nantais se sont mis à l'argenture, sans regret. Notre conviction est donc faite. Mon propos était de rendre compte de notre expérience de plusieurs années et d'essayer, en apportant quelques éléments, de démythifier le sujet et d'inciter certains amateurs à tenter l'aventure sans crainte de commettre une profanation. Après tout, même les inconditionnels de l'aluminure, sauf s'ils ont une raison impérieuse de s'en tenir à cette technique, peuvent au moins essayer. Rien ne les empêche de revenir à leurs premières amours si l'expérience ne leur donnait pas satisfaction. Et enfin, puisque le miroir est sacré, quoi de plus digne que l'argent pour le consacrer ?

Pour terminer, j'entrevois une évolution intéressante qui pourrait constituer, sous l'impulsion des astronomes amateurs, une nouvelle étape (révolution ?) dans la technique des instruments : le développement des miroirs argentés protégés.

Notes

1 - Dans les meilleures périodes, l'on pouvait voir sortir annuellement plusieurs instruments de son atelier. C'est dire combien son expérience en la matière est grande, que ce soit sur le plan mécanique ou optique.

2 - Plusieurs dizaines, voire centaines d'euros. N'étant pas *aluminophile*, mes données ne sont vraisemblablement pas à jour, mais en tous cas de l'ordre de grandeur ; les collègues *aluminofans* rectifieront d'eux-même. Les prix varient non seulement d'une maison à l'autre, mais bien sûr également en fonction des traitements additionnels effectués (couche protectrice, nature de la protection, etc.).

3 - Selon Leamer. Cependant Boulet parle des « formules de Draighton » utilisant le sucre interverti.

4 - Cette fonction aldéhyde peut être franche ou masquée sous forme de liaison dite *hémiacétal* dans les formes cycliques, majoritaires, des ***oses*** (= glucides monomériques comme le glucose). Les dimères ne sont réducteurs que si la liaison entre les deux monomères n'implique pas à la fois les deux atomes de carbone porteurs des liaisons aldéhyde, laissant l'une d'elles libre (comme dans le lactose). C'est ainsi que le saccharose, ou sucre de table, n'est pas réducteur et qu'il faut le scinder en ses deux composants, glucose et fructose, pour qu'il le devienne. En même temps, de dextrogyre, la solution devient lévogyre, le pouvoir rotatoire sur la lumière polarisée étant plus élevé pour le fructose lévogyre que pour le fructose dextrogyre. C'est pourquoi l'on parle de sucre *interverti* ou *inverti*.

5 - Dans un premier temps, on obtient de l'hydroxyde d'argent suivant la réaction : $AgNO_3 + XOH \rightarrow AgOH$ (précipité blanc) + XNO_3 (X étant Na ou K). Puis l'hydroxyde d'argent se déshydrate spontanément en oxyde d'argent suivant la réaction : $2\ AgOH \rightarrow Ag_2O$ (précipité brun) + H_2O. Boulet insiste sur la pureté de la potasse caustique, *qui devra être exempte de carbonate*.

6 - Godillon recommande l'acide nitrique, ce qui semble audacieux puisque ce dernier dissout l'argent (formation de nitrate d'argent soluble). Cependant, l'acide nitrique s'évaporant à 86 °C, on peut supposer qu'au bout de 10 ou 15 min à plus de 100 °C (température d'ébullition de la solution sucrée), tout excès d'acide nitrique aura disparu.

7 - Petite remarque amusante en passant pour ceux qui ont tendance à prendre les écrits à la lettre : au cours de ma petite investigation, j'ai

remarqué que GODILLON et MADORNI décrivaient exactement le même procédé, les mêmes produits étant cités dans le même ordre, avec les mêmes remarques et jusqu'aux phrases entières répétées avec d'infimes variantes d'expression. Certes, l'on comprend qu'une banale recette puisse après tout être simplement reproduite d'un ouvrage à l'autre. Mais alors, pourquoi s'évertuer à multiplier ou diviser toutes les quantités par un même facteur sous prétexte de les adapter à un autre diamètre de miroir ?
En l'occurrence, tandis que MADORNI indique les quantités pour un miroir de 150 mm, GODILLON, les reprenant pour un 300, les multiplie tout simplement par... 2 ! (à moins que ce ne soit l'inverse, dans l'hypothèse où le premier se soit inspiré du second). Il est bien connu (n'est-ce pas ?), que lorsque le diamètre d'un cercle double, son aire double également ($\pi \times (2R)^2 = 2 \times \pi R^2$) !!!
Admettons qu'il ne faille pas obligatoirement 4 fois plus de produits pour un miroir 4 fois plus grand ; mais alors, la bassine destinée à le recevoir, elle aussi 2 fois plus large, contient théoriquement un volume ... 8 fois plus important ! Ô implacabilité des chiffres et pardon à GODILLON et MADORNI. Encore une fois, que l'amateur évite de se prosterner devant la chose écrite, la transmission étant souvent à peine meilleure que celle de la tradition orale.

8 - Certains confondent avec le *tain*, alliage d'étain (le mot lui-même est une déformation d'étain), qui faisait office autrefois dans certains miroirs de couche réfléchissante à la place de l'argent, voire du mercure. On parle encore de *glace sans tain* pour désigner les *miroirs d'espion*.

9 - C'est peut-être là l'origine d'une remarque pour le moins curieuse de GODILLON qui exhorte ses lecteurs à ne pas confier (leur) miroir aux miroitiers professionnels, *qui argentent à chaud*. C'est bien entendu impossible, l'argenture par voie chimique se faisant toujours, comme nous l'avons vu et comme me l'a confirmé l'argenteur, *à froid*. GODILLON a manifestement confondu avec l'application et le séchage de la peinture protectrice qui elle, se fait à chaud, mais uniquement chez les miroitiers utilisant des rampes automatiques.

10 - En vérité, renseignement pris, il n'existe pas beaucoup de miroitiers en France qui argentent manuellement. Curieusement, en région Nantaise il en existait deux jusqu'en 1992 (les établissements BLOUIN dont l'argenteur, M. Cadio, fut notre premier argenteur, et la société MIRVAL à qui une partie des membres de la SAN confiaient leur miroir). Seule cette dernière subsiste actuellement. Ses coordonnées figurent à la fin de cet article.

11 - Solution aqueuse saturée de *formaldéhyde*, qui est un gaz. Le formol *pur* du commerce contient environ 40 % (en poids) de *formaldéhyde* (*aldéhyde formique*). Le formaldéhyde constitue en effet le premier terme des aldéhydes (formule H_2–C=O), dérivant de l'acide formique (venin des fourmis) ; c'est un réducteur puissant.

12 - Enfin, mais cela ne s'applique pas aux miroirs de télescopes, l'argenture subit un traitement au cuivre avant vernissage.

13 - On comprend mieux certaines désillusions de l'argenteur amateur à qui l'on conseille dans certains manuels de prendre du « sucre de canne » !

14 - C'en est au point qu'il évite d'argenter par temps d'orage (présence de nitrates et d'ions divers dans l'atmosphère)

15 - Nous demeurons cependant sceptiques. Le dégraissage insuffisant ne serait-il pas à l'origine de certains décollements localisés de la couche d'argent (voir remarque plus loin) ?

16 - C'est pourquoi nous ne pûmes obtenir gain de cause lorsque nous avons demandé à additionner, pour la facturation, les aires de plusieurs miroirs dont la taille individuelle était inférieure à 1/10e de m^2, comme s'il s'était agi d'un seul grand miroir.

17 - On utilise soit le monoxyde de silicium (SiO), soit le quartz SiO2, c'est-à-dire le *verre* pur, silice proprement dite, ou encore l'un des fluorures de silicium (Howard). Cet auteur mentionne des surfaçages à l'alliage aluminium-béryllium (*Beral-coating*).

18 - Nous avons essayé sur un miroir de 400 mm apporté par un astronome amateur prestigieux et qui est reparti comme il était venu (le miroir).

19 - Soit, pour une longueur d'onde de 5000 Å (dans le vert), 250 à 100 Å, 50 Å au mieux, c'est à dire de 0,025 µ à 0,005 µ, et non 0,5 à 1 µ comme l'indique par erreur (de transcription ou d'interprétation ?) Learner dans son historique. Ô relativité de la chose écrite. Avis aux... amateurs !

20 - Les 0,01 à 0,025 µ de précision du test correspondent respectivement au 1/50e et au 1/20e de λ et sont largement au-delà de l'exigence raisonnable puisque la plupart des auteurs s'accordent à considérer le 1/4 de λ comme suffisant pour avoir une surface de miroir acceptable.

21 - L'argenteur, qui contrôle très bien la quantité d'argent qu'il pulvérise sur le verre, met 1 à 2 g de métal au m^2, ce qui représente une couche de 1 à 2 µm d'épaisseur (la densité de l'argent est de 10,5). On est loin

des *quelques atomes* (certains disent molécules !) d'épaisseur que nous susurrent certains auteurs : dans l'hypothèse d'un diamètre de 2,5 Å pour un atome d'argent (je n'ai trouvé que le rayon ionique de Ag^+, égal à 1,26 Å), on pourrait ainsi superposer 400 à 800 atomes environ !

22 - *Rencontres Européennes de l'Astronomie d'Amateurs et des Sociétés d'Astronomie*, (Journées de Nantes), 20-21 avril l991.

23 - J'ai entendu des choses étonnantes, certes avancées par des maisons pratiquant l'aluminure : 93, voire 95 %, le pouvoir réflecteur étant même augmenté par la couche protectrice (certainement pas par rapport au métal frais) ! Pour certains Celestron, on annonce 0,94 (c'est peut-être vrai pour des rayonnements invisibles !) Pourvu qu'on ne soit pas obligé de revoir les lois de la physique !

24 Pour *Charge Coupled Device* (nos amis québécois, à juste titre, défendent la traduction française de *Dispositif à Transfert de Charge*, ou DTC) ; pour résumer, disons qu'il s'agit d'un procédé d'amplification des photons incidents, tel qu'il est également utilisé dans les caméras vidéos du commerce.

25 – *Week-end Technique* de Chinon des 26 et 27 octobre 1991 consacré aux instruments, où fut présentée cette communication.

26 - Exemple à suivre : les amateurs du Québec ont la possibilité de faire aluminer leur miroir gratuitement en le plaçant dans la cloche à vide du grand miroir de l'observatoire du site de *Mégantic*, profitant de la re-aluminure annuelle.

Remerciements

Pour le présent article, j'ai bénéficié de la grande expérience en matière de construction jointe à la pertinence de son esprit critique de M. Albert LASSORT, Président d'honneur de la Société d'Astronomie de Nantes, pionnier en la matière, et qui a favorisé mon discernement dans la jungle des écrits qui manifestement pèchent d'une confrontation insuffisante avec la pratique.

Merci également à M. CADIO, Chef-argenteur aux ex-Établissements BLOUIN, pour ses précieuses indications concernant le procédé industriel et de nous avoir aimablement reçus lors des premières *RENCONTRES EUROPÉENNES DE L'ASTRONOMIE D'AMATEURS ET DES SOCIÉTÉS D'ASTRONOMIE* (*Journées de Nantes*) en 1991, ainsi qu'à M. Claude HUCHET.

Merci enfin aux établissements MIRVAL qui ont bien voulu reprendre le flambeau.

Bibiographie sommaire

- BOULET (Ch.), 1935.- « *L'argenture des miroirs de télescopes* ». Bulletin de la Société Astronomique de France, avril 1935.

- DANJON (A.) et COUDER (A.), 1935.- « *Lunettes et Télescopes* » Blanchard Ed.

- GODILLON (D.), 1967.- « *Guide de l'Astronome amateur* ». Douin Ed.

- HOWARD (N.E.), 1959.- « *Standard Handbook for Telescope Making* ». Thomas Y Crowell Company Ed.

- LEARNER (R.), 1981.- « *Fenêtres sur l'Univers* » (titre original: « *Astronomy through the Telescope* »). Denoël Ed. pour la traduction française.

- MADORNI (P.), 1974.- « *Le Vade-Mecum de l'Astronome Amateur* », 2e édition. Desforges Ed.

Pour la partie technique, j'ai également consulté mes cours de chimie minérale, organique et biologique, ainsi que maints ouvrages correspondants qu'il serait fastidieux d'énumérer ici et dont tout le monde peut trouver l'équivalent.

Adresses

Si vous n'aviez pas, dans votre région, de miroitier argentant manuellement :

Ets. MIRVAL, ZIC de Beau-Soleil - 44450 Saint-Julien de Concelles (à 16 km de Nantes, auprès de la rive gauche de la Loire). - Tél. 02 40 54 16 05. Télécopie : 02 40 36 82 69.

///

Publié avec l'aimable autorisation d'Astronomie en Touraine et Centre-Ouest,
Numéro spécial N°33, Week-end Technique de Chinon,
thème « *Les instruments* », octobre 1991.

Notes personnelles

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

L'ARGENTURE DES MIROIRS: PASSÉ OU AVENIR?

Daniel WOEHRLING

Ce fascicule explore l'argenture des miroirs de télescopes, une technique ancienne remise à l'honneur à une certaine époque à la SAN en raison de son coût avantageux face à l'aluminure. Après avoir rappelé les bases historiques et chimiques de l'argenture, Daniel Woerhling (ancien président de la SAN) évoque deux procédés : l'artisanal, délicat et peu fiable, et l'industriel, simple, efficace et bon marché.

Le procédé industriel consiste à pulvériser les solutions chimiques directement sur la surface du miroir, produisant une couche uniforme d'argent à forte réflectivité. Cette méthode ne déforme pas la surface optique et permet une excellente restitution de la forme du miroir.

D. Woehrling défend cette technique face aux idées reçues sur la supériorité de l'aluminure, souvent liée à sa popularité dans les milieux professionnels. Il soutient que l'argenture, bien que plus fragile, est facile à renouveler et plus accessible aux amateurs. Il suggère la possibilité d'utiliser des traitements protecteurs pour en améliorer la durabilité.

En conclusion, l'auteur appelle à reconsidérer l'argenture comme une alternative sérieuse, voire supérieure dans certains cas, et encourage les astronomes amateurs à surmonter les préjugés pour essayer cette méthode.

Société d'Astronomie de Nantes

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports

35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23

Internet: www.san-fr.com - E-mail: san@san-fr.com