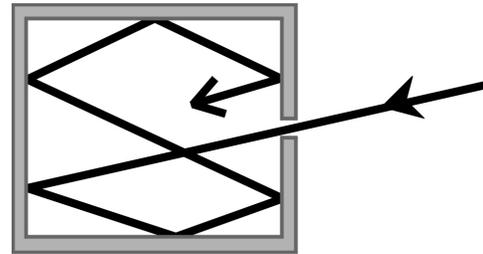


La couleur du Chien

Même si notre vision nocturne n'est pas très sensible à la couleur, toutes les étoiles ne nous paraissent pas identiques : certaines sont plutôt bleues, d'autres franchement rouges. Albireo, fameuse étoile double de la constellation du Cygne, visible en été, se compose d'une étoile rougeâtre et d'une étoile verdâtre. Notre Soleil, l'étoile la plus proche de la Terre, est jaune. Pourquoi ces différences ? À quoi sont-elles dues ? Une étoile peut-elle changer de couleur ? Nous allons tenter ici de répondre à ces questions.

1. La couleur du corps noir

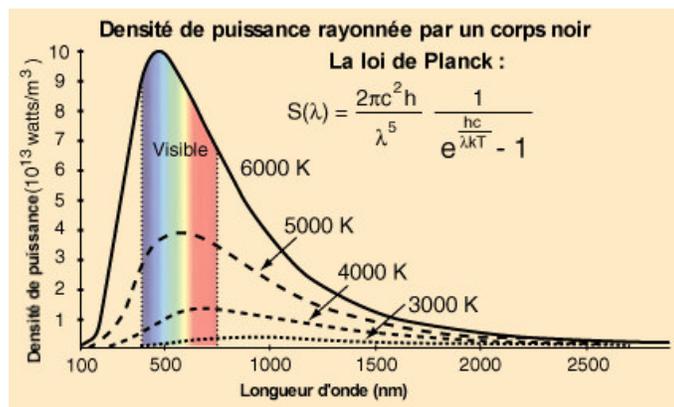
La physique moderne nous apprend que la couleur intrinsèque d'une étoile ne dépend que d'un seul facteur, sa température : c'est le fameux problème du « corps noir » ; la résolution de ce problème par Max Planck à la fin du XIX^e siècle entraîna une révision profonde de la physique classique et le début prometteur d'une nouvelle physique, la physique « quantique ».



Un four percé d'un petit trou constitue une excellente approximation d'un corps noir idéal.

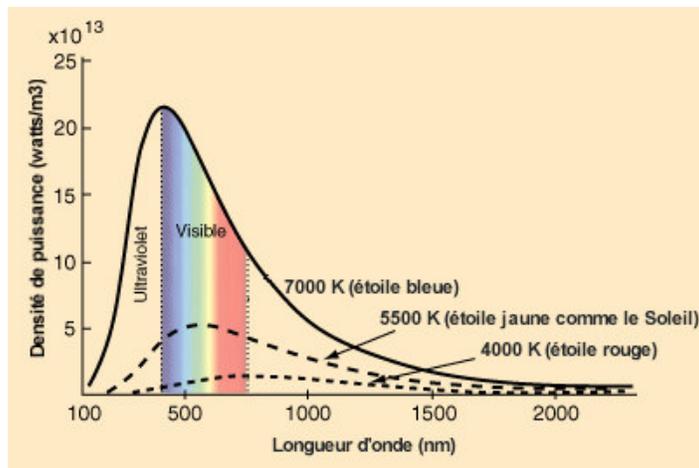
Théoriquement, un corps noir est un corps qui absorbe la totalité des rayonnements qu'il reçoit. On qualifie un tel corps de noir car si on l'éclaire, il ne réfléchit aucune lumière, et apparaît donc noir (pour autant que l'on ne tienne pas compte du rayonnement qu'il émet naturellement !). On peut réaliser un corps noir en construisant un four hermétiquement fermé, mais percé d'un petit trou ; de la lumière envoyée à travers cette petite ouverture se réfléchit un si grand nombre de fois à l'intérieur du four qu'aucun rayonnement *réfléchi* n'en ressort (une partie de la lumière incidente est absorbée par les parois à chaque réflexion) : on a donc bien affaire à un corps noir. D'autre part, les molécules des parois chaudes du four vibrent, et émettent donc un rayonnement électromagnétique. Le petit trou nous permet cette fois d'observer ce qui se passe à l'intérieur : une fraction infime du rayonnement sort par le trou, et nous permet d'étudier le rayonnement *émis* à l'intérieur de la cavité.

Ce rayonnement possède des propriétés très particulières, qui ne dépendent que de la température des parois du four ! Tout d'abord, plus le corps est chaud, et plus il émet de rayonnement : l'énergie émise par unité de surface et par unité



de temps par un corps noir est proportionnelle à la quatrième puissance de sa température absolue ; par exemple, lorsque la température absolue double, la quantité totale de rayonnement émis chaque seconde est multipliée par 16. Plus curieux encore : plus l'objet est chaud, et plus la fréquence moyenne du rayonnement émis augmente (ou, de façon équivalente, sa longueur d'onde moyenne diminue). Ainsi, si l'on chauffe une barre de fer, elle prend d'abord une teinte rouge sombre, puis rouge plus clair, jusqu'à atteindre des teintes jaunâtres, et tourner finalement à un blanc éclatant ; observée dans un spectroscopie, la lumière émise contient de plus en plus de bleu, ce qui va à l'encontre de notre intuition : le bleu n'est-il pas généralement considéré comme une couleur « froide », et un robinet à tête bleue ne dispense-t-il pas de l'eau froide ?

Jolie expérience, direz-vous, mais quelle est son utilité ? Il est vrai qu'aucun objet naturel ne se comporte comme un corps noir « parfait », mais certains s'en approchent diablement, comme

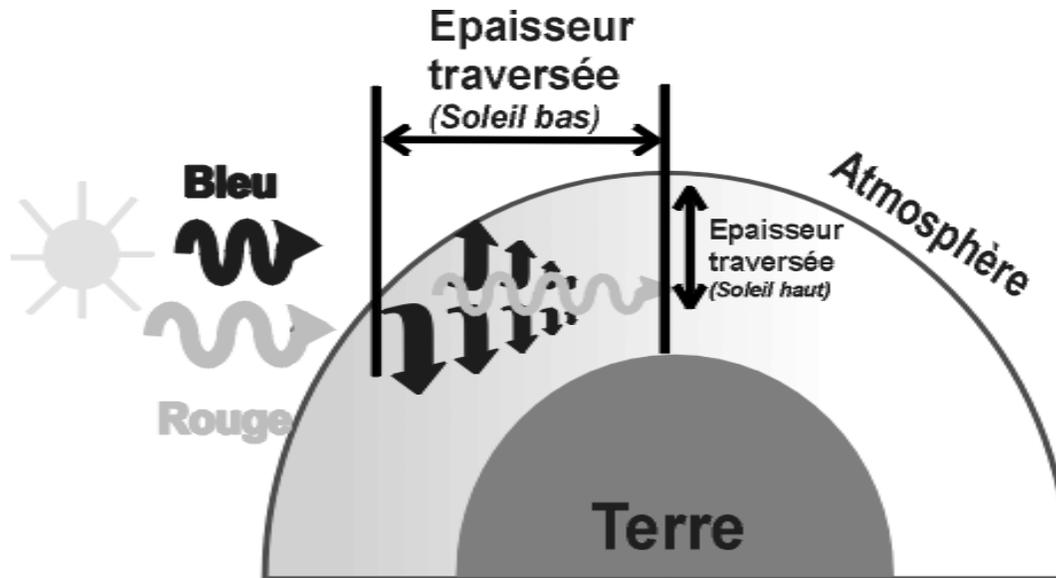


par exemple... les étoiles. Lorsque l'on étudie le spectre de la lumière émise par une étoile, on s'aperçoit que la distribution de lumière possède, en première approximation, l'allure générale caractéristique de celle du corps noir ; la composition de son rayonnement révèle donc sa température superficielle ! Pour notre Soleil, les mesures indiquent que sa température de surface est de l'ordre de 5 500 K, ce qui correspond à de la lumière émise principalement dans le jaune... Les étoiles rouges, quant à elles, ont des températures superficielles « basses » – quelque 3 000°C –, mais les étoiles bleues peuvent atteindre 50 000°C. Insistons sur le fait qu'il ne s'agit pas ici de la température centrale des étoiles, qui se chiffre en millions de degrés.

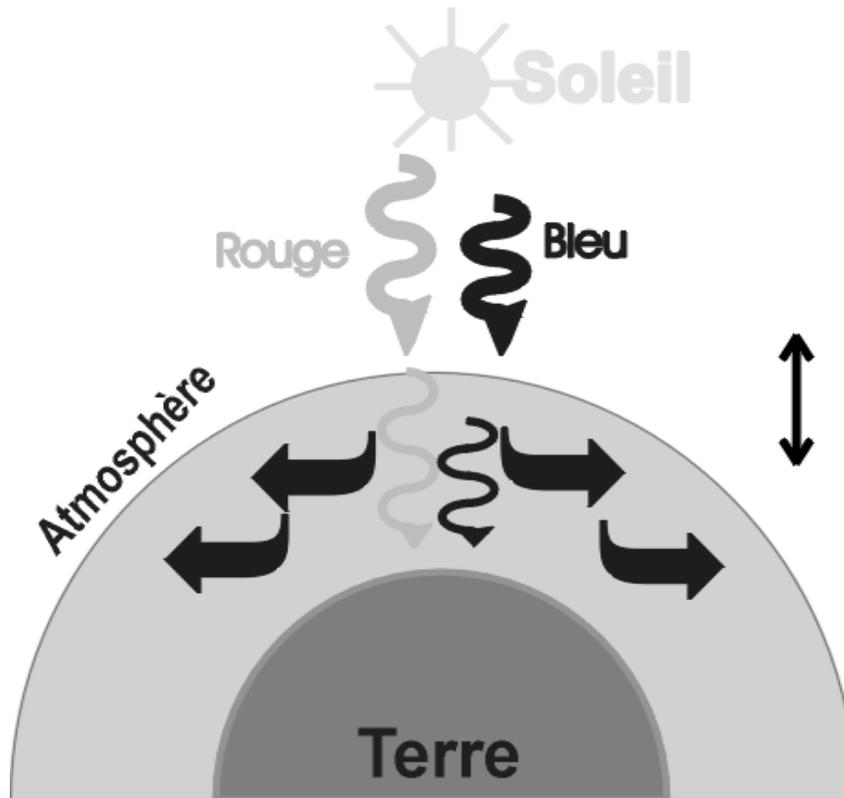
2. La couleur empoussiérée

Mais ce n'est pas tout. Car une étoile bleue, observée depuis la Terre, peut paraître... rouge ! Comment cela est-il possible ?

Nous avons tous en mémoire de merveilleux couchers de Soleil aux teintes pourpres. Pourtant, personne ne remet en question la couleur dorée de notre astre du jour ! La responsable de ces transitoires teintes vermillon, c'est l'atmosphère. En effet, les molécules et les poussières qui composent l'air que nous respirons ont une curieuse propriété : elles diffusent la lumière dans toutes les directions, mais la lumière bleue beaucoup plus efficacement que la lumière rouge. Dès lors, lorsque la lumière solaire atteint notre atmosphère, le destin de ses différentes composantes va différer selon leur couleur.



L'épaisseur d'atmosphère traversée par la lumière lorsque le Soleil est bas sur l'horizon est nettement plus grande que lorsque le Soleil est haut dans le ciel. À son lever ou à son coucher, le Soleil nous apparaît rougeâtre, car la composante bleue de la lumière est complètement diffusée en cours de route : à l'arrivée, seule la lumière rouge subsiste.

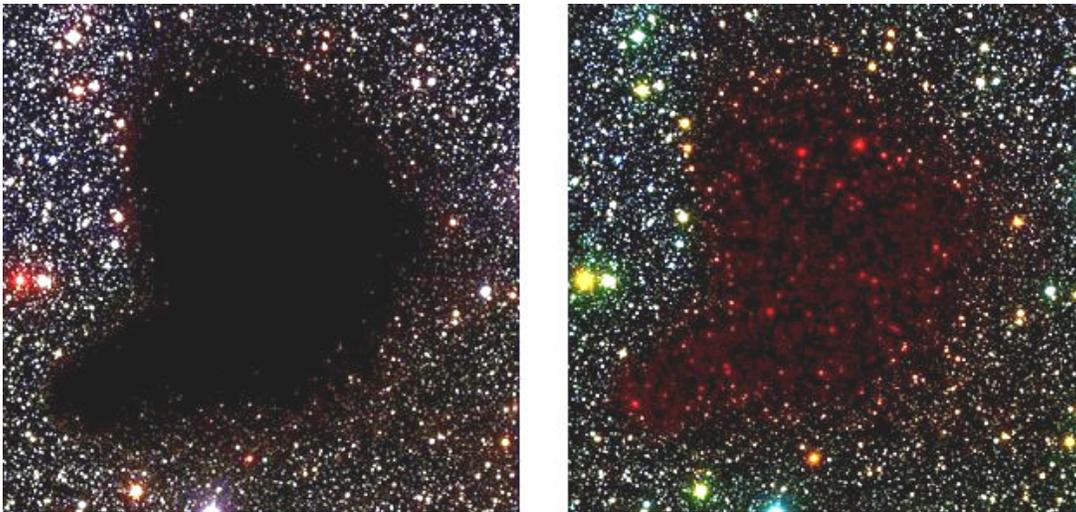


En plein midi, la lumière en provenance directe du Soleil contient encore à l'arrivée toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, même si une partie du bleu s'est perdue en cours de route, donnant au ciel sa caractéristique teinte bleue.

Imaginons un faisceau lumineux en provenance d'un Soleil très bas sur l'horizon : au fur et à mesure de sa progression dans l'atmosphère, le bleu est fortement diffusé, alors que le rouge poursuit son bonhomme de chemin pratiquement sans perturbation. Si l'épaisseur de la couche d'air est suffisante, le faisceau qui atteint l'œil de l'observateur ne contiendra plus que de la lumière rouge, car toute la lumière bleue aura été diffusée en cours de route ! Y a-t-il un peu moins ou un peu plus de poussières dans l'air, et voilà que le Soleil couchant perd ou gagne des teintes pourpres. Durant la nuit, le même phénomène se répète avec la lumière en provenance des étoiles, et une étoile bleue peut nous paraître rougeâtre lorsqu'elle est basse sur l'horizon !

Par contre, quand le Soleil est très haut dans le ciel, sa lumière traverse une épaisseur d'atmosphère nettement plus petite, et à l'arrivée, il reste encore du bleu dans le faisceau : on n'observe donc jamais un Soleil rouge en plein midi... Mais, si vous regardez le ciel dans une direction autre que celle du Soleil (et pour autant qu'il n'y ait pas de nuages en vue !), la lumière que vous percevez ne vient plus en ligne directe du Soleil : c'est de la lumière diffusée, composée majoritairement de bleu... et il est dès lors normal que le ciel vous paraisse bleu.

Dans l'espace interstellaire, il y a de petits grains de poussière, qui produisent le même effet diffuseur que notre atmosphère : ils « détournent » les rayons bleus, et ne laissent plus passer que la partie « rouge » de la lumière stellaire. Si donc un nuage de poussière s'interpose entre une étoile et vous, il vous est impossible d'observer sa véritable couleur ! Il y a, dans certaines régions de l'espace, tellement de poussières que presque toute la lumière des étoiles devant lesquelles elles forment écran est diffusée : l'étoile disparaît de notre vue, et seuls les rayons infrarouges parviennent jusqu'à nous. Heureusement, certains télescopes



Un nuage de poussières dans la constellation d'Ophiucus, photographié par le VLT. On voit sur l'image de gauche que les étoiles situées derrière ce nuage ont totalement disparu, alors qu'une partie d'entre-elles apparaît sur celle de droite, prise en infrarouge.

capables de « voir » ces rayons infrarouges nous permettent aujourd'hui de percer le secret de ces nuages, et de découvrir ce qui se cache derrière-eux.

2. La couleur changeante

Enfin, toutes les étoiles évoluent au cours du temps, et leur température peut en principe changer. Dans 4,5 milliards d'années environ, notre Soleil deviendra ainsi une géante rouge plus froide, pour terminer sa vie sous la forme d'une naine blanche très chaude, qui se refroidira ensuite peu à peu... Mais les effets de l'évolution stellaire sur la couleur d'une étoile ne se manifestent qu'au bout de millions d'années. Alors, qu'est-il arrivé à Sirius ?

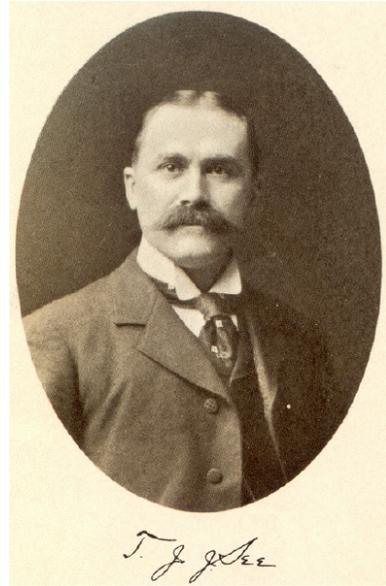
Sirius est actuellement l'étoile la plus brillante du ciel. Reine incontestée de la constellation du Grand Chien, elle brille d'une superbe couleur bleutée. Mais dans l'« Almageste » de Ptolémée, Sirius est décrite comme « rougeâtre », avec Arcturus, Bételgeuse, Aldébaran, Antarès et Pollux. Et le poète Sénèque écrit « [...] dans le ciel aussi la couleur des objets n'est pas uniforme, mais autant le rouge de l'étoile Chien est perçant, autant celui de Mars est doux, et Jupiter n'en a pas, car son éclat est transformé en pure lumière » (Naturales Questiones). De rouge à bleu, en moins de 2 000 ans, quelle évolution !

La controverse débuta dès 1632. Un célèbre professeur de l'Université de Louvain, Libert Froidmont, commente le passage de Sénèque : « *As-tu jamais regardé Sirius, Sénèque ? Je l'ai fait, et sa flamme est plus proche de l'argent ou de l'acier que du bronze* ». Mais les véritables débats durent attendre encore un peu. À la fin du XVIII^e siècle, l'idée d'évolution des astres et du cosmos était entrée dans les mœurs. On étudie les étoiles variables avec ferveur, et sans arrière-pensée aristotélicienne. On tombe même dans l'excès inverse. Thomas Barker, astronome anglais, publie ainsi un premier article présentant les preuves historiques de la rougeur de Sirius. C'est le triomphe de la variabilité et de l'évolutionnisme à tout crin : même l'étoile la plus brillante du ciel a changé, le changement est donc bien dans l'ordre du Monde...

Cette idée persistera plus de 100 ans, soutenue même par les plus grands génies de l'époque, dont Sir William Herschel. Ce grand astronome ne se contente évidemment pas d'admettre l'existence passée d'un Sirius vermillon, il tente aussi de l'expliquer... par la « nébulosité cosmique » : il s'agit bien sûr des nuages de poussières dont nous venons de parler, et dont le génial Herschel avait entrevu l'existence. En 1850, l'idée est si largement acceptée que von Humbolt écrit « *Sirius est le seul exemple d'un changement de couleur démontré historiquement* ».

Mais la fin du XIX^e siècle sonne le glas du Chien rouge. Les premiers modèles d'évolution stellaire se mettent en place, et l'on prouve que les étoiles rouges sont d'anciennes étoiles blanc-jaune en train de mourir... Impossible donc que Sirius soit passé du rouge au blanc ! Les scientifiques tentent donc de réfuter les textes anciens. Un seul homme résistera à la contre-attaque : Thomas Jefferson Jackson See. Cet astronome farfelu – il alla jusqu'à falsifier ses données – soutint la thèse, alors peu en vogue, d'un Sirius rouge dans l'Antiquité. Il écrivit un premier article en 1892, et récidivera 30 ans plus tard, malgré les

critiques de ses collègues, Schiaparelli en tête. En effet, See n'accumule dans son article que bouts de phrases en latin et textes tronqués, qui ne donnent aucune indication décisive sur la couleur de Sirius ; mais surtout, il ne mentionne aucune des allusions antiques à un Chien « blanc » ! Schiaparelli le lui signale, et suggère même une explication des observations discordantes ; mais See n'en a cure, et répète les mêmes erreurs dans son second article. Le malheur veut que les travaux de See aient été publiés dans un magazine prestigieux, en anglais, et constituent ainsi, aujourd'hui encore, LA référence sur la question, alors que l'astronome piémontais s'est contenté d'une obscure revue italienne. Et si les théories de l'évolution stellaire du XIX^e siècle ne donnaient aucune explication de la rougeur de l'étoile, le XX^e siècle va relancer la polémique en s'appuyant sur une découverte sensationnelle remontant à 1862 : Sirius possède un compagnon, une naine blanche, c'est-à-dire un cadavre...de géante rouge !



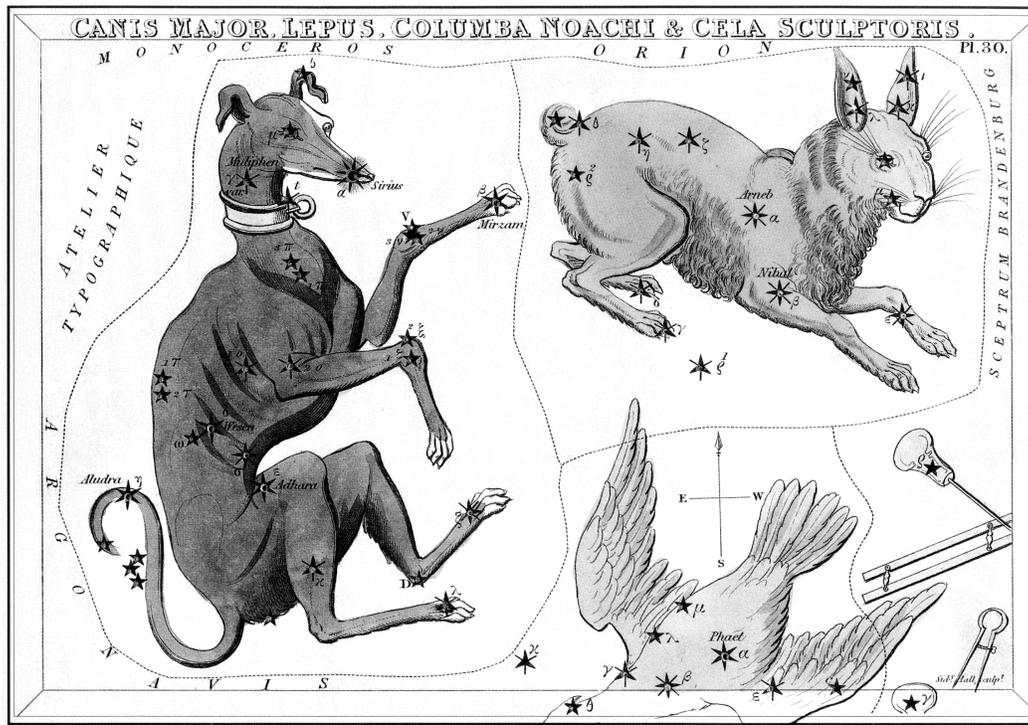
Un astronome américain plus qu'original : Thomas Jefferson Jackson See (1866-1962).

Alors, résumons : si Sirius a été rouge dans le passé, comment se fait-il qu'elle ait pu changer de couleur ? Les astronomes d'aujourd'hui proposent plusieurs théories :

- Un nuage « cosmique », pour paraphraser Herschel, est venu s'intercaler entre Sirius et nous il y a quelque 2 000 ans. Malheureusement, l'effet de ce nuage n'est pas seulement de « rougir » la lumière de Sirius, mais aussi de l'affaiblir, d'au moins 2 magnitudes : même si elle était restée l'une des étoiles les plus brillantes du ciel, elle aurait toutefois perdu son arrogant statut de Reine des étoiles...Or, si la couleur Sirius est parfois remise en question, ce n'est pas le cas de sa luminosité !
- Ce n'est pas Sirius qui était rouge, mais son compagnon ! La naine blanche observée actuellement aux côtés de Sirius a dû en effet passer par le stade de géante rouge. Et si les théories prédisent que cette évolution – comparée à la vie humaine – dure une éternité, la gémellité de Sirius pourrait accélérer le processus. Malheureusement, ce genre de mécanisme donne toujours pour résultat une naine blanche très chaude, ce qui est incompatible avec la température actuelle de l'astre !
- Ce serait de la matière entourant la naine blanche qui « s'enflammerait » périodiquement près de sa surface, à la manière de ce qui se passe pour une nova...Mais où est passée cette matière ? Il devrait rester une nébuleuse autour du couple infernal, et elle n'est pas observée !
- Ce n'est ni Sirius A, ni Sirius B, mais bien Sirius C qui serait responsable de la couleur rouge de l'astre dans le passé : l'étoile ne serait pas double, mais triple ! Un troisième larron, en orbite elliptique très allongée autour des deux premiers, serait capable

d'arracher de la matière au système binaire lorsqu'il s'en approche. Cette interaction pourrait expliquer une teinte rouge transitoire... mais aucune trace de ce compagnon supplémentaire n'a encore été trouvée, en dépit d'intenses recherches.

On peut donc raisonnablement douter de la rougeur de Sirius il y a quelques millénaires, d'autant plus que nombreuses sont les sources antiques qui ne font pas allusion à un Chien rouge. Pour Manilius (*Astronomica*, 15 ap. J.-C.) et Avienus (*Arati Phænomena*, 360 ap. J.-C.), Sirius est *cæruleus*, d'un bleu qui rappelle l'océan. Hyginus (*De Astronomia* II,



10 av. J.-C.) parle de *candor* (blancheur éclatante) ; il en est de même en Chine où Sima Qian (*Shiji* XXVII, 91 av. J.-C.) le décrit comme *bai* (blanc). Un poème persan du IX^e siècle av. J.-C. exalte aussi la blancheur de l'astre. Sirius a donc vraisemblablement toujours été d'un blanc-bleu perçant. Mais si l'on peut excuser une erreur de la part d'un Sénèque – un philosophe, pas un physicien – et d'autres poètes antiques, comment pardonner Ptolémée ? Comment cet éminent astronome a-t-il pu commettre une telle erreur ?

Eh bien, même si sa véritable couleur est le blanc, Sirius peut paraître rouge... de temps en temps. Il reste en effet une dernière solution : notre atmosphère. Comme déjà expliqué au début de cet article, l'atmosphère rougit la lumière de tout astre, surtout si celui-ci est bas sur l'horizon. Elle peut même diffuser tellement la lumière stellaire qu'une étoile peu brillante disparaît : même la brillante Véga n'est jamais visible quand elle est très bas sur l'horizon. Seule Sirius est assez éclatante pour ne pas disparaître, et elle brille alors d'un éclat rouge sang à son lever – plus rouge même que Bételgeuse. De nombreux peuples utilisaient la couleur de l'astre à son lever – et particulièrement son lever héliaque (lorsqu'après sa conjonction avec le Soleil, un astre est pour la première fois visible le matin, juste avant le

lever du Soleil, on parle de lever *héliaque*) – pour prédire l’avenir. Hephæstion de Thèbes rapporte ainsi qu’en Égypte « *si Sirius se lève brillant et blanc, [...] alors la crue du Nil sera importante, et l’abondance régnera ; mais s’il se lève ardent et rouge, alors ce sera la guerre* ». En Chine aussi, on observe Sirius, « l’Étoile-Loup » : « *À l’Est il y a la nommée le Loup. La corne du Loup change de couleur, beaucoup de voleurs* ».

Eh oui, Sirius est souvent associée à l’apparition de problèmes... Ne parle-t-on pas, lorsque Sirius se lève et se couche avec le Soleil, de *canicule* (du latin *canicula*, littéralement « petite chienne », qui était chez les Romains le nom familier de Sirius) ? Cette période, la plus chaude de l’année, est propice à la rage, aux fièvres, parfois appelées dans l’Antiquité « *siriasis* » (maladie de Sirius), et encore à la guerre, car la chaleur malsaine qui enserre le cœur des hommes à ce moment peut enflammer leur esprit et provoquer les mésententes ! Nul doute que la tradition antique associe Sirius au « rouge », à la guerre, au Mal... Alors, Ptolémée, astrologue tout autant qu’astronome, a-t-il voulu respecter la tradition, en attribuant au Chien son caractère « astrologique » plutôt que sa véritable teinte ? Ou bien un de ses disciples, féru d’astrologie, l’a-t-il rajouté peu après la première rédaction de l’Almageste, et l’erreur n’est pas due à la main de l’Alexandrin ? Il est en effet troublant que le même Ptolémée ne mentionne aucunement Sirius parmi les étoiles rouges dans son « *Tetrabiblos* »... Enfin, ce cher Ptolémée n’est pas un génie créateur à l’aura sans tache : de nombreux détails suggèrent que son catalogue de l’Almageste n’est en fait qu’un vulgaire recopiage de sources plus anciennes ! Ptolémée aurait-il été jusqu’à recopier la couleur de Sirius, pour préserver ses théories de cieux immuables, incompatibles avec un changement quelconque ? Quoi qu’il en soit, le secret de l’Almageste s’est perdu depuis longtemps...

Alors, Sirius a-t-elle été rouge ? Sans doute, tous les modèles d’évolution stellaire le suggèrent. Mais pas il y a 2 000 ans. D’aucuns assurent que la tradition de la rougeur de Sirius remonterait aux hommes de Neandertal qui, eux, auraient pu assister « en direct » à l’évolution de l’astre. Un peu de licence poétique, une erreur (voulue ou non) dans l’Almageste, et voilà 400 ans de controverses ! Assurément, la couleur des étoiles suscite un débat aussi passionné que le sexe des anges...

Yaël Nazé (IAGL)

L’auteur remercie le Prof. Pierre Magain (ULg) et le Dr. Alain Jorissen (ULB), ainsi que M. Francesco Lo Bue (UMH), pour leur aide et leur relecture attentive.

Références :

See T. J. J., « *History of the color of Sirius* », *Astronomy and Astrophysics* **11**, 269 (1892) ; *ibid.*, p. 372, p. 457, p.550.

See T. J. J., « *Historical researches indicating a change in the color of Sirius, between the epochs of Ptolemy, 138 and Al Sufi, 980 A.D.* », *Astronomische Nachrichten*, **229**, 245 (1926) ; *ibid.*, p. 272 (1927).

Pesch P. R., « *The Dogon and Sirius* », *The Observatory* **97**, 26 (1977).

- Schlosser W. and Bergmann W., « *An early-medieval account on the red colour of Sirius and its astrophysical implications* », *Nature* **318**, 45 (1985).
- Van Gent, R. H., « *The colour of Sirius* », *The Observatory* **109**, 23 (1989).
- Bonnet-Bidaud J. M. and Gry C., « *The stellar field in the vicinity of Sirius and the color enigma* », *Astronomy and Astrophysics* **252**, 193 (1991).
- Tang T. B., « *Did Sirius Change Colour ?* », *Nature* **352**, 25 (1991).
- Chapman-Rietschi, P. A. L., « *The colour of Sirius in ancient times* », *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* **36**, 337 (1995).
- Ceragioli, R. C., « *The debate concerning 'Red' Sirius* », *Journal of the History of Astronomy* **26**, 187 (1995).
- Ceragioli, R.C., « *Solving the puzzle of 'Red' Sirius* », *Journal of the History of Astronomy* **27**, 93 (1996).
- Bonnet-Bidaud J. M., Colas F. and Lecacheux J., « *Search for companions around Sirius* », *Astronomy and Astrophysics* **360**, 991 (2000).