

# La classe au Soleil

## 1 Le Soleil des hommes et des enfants, des peintres et des poètes...

" Il n'est aucun de vous, braves enfants, qui n'ait vu le Soleil, ou tout au moins qui n'en ait entendu parler "...Certes ! C'est à peu près (mais au lieu d'enfants c'est à des collègues que s'adressait l'orateur ; et il parlait de la Lune et non du Soleil) la phrase par laquelle le président Barbicane, s'adressant à l'Assemblée Générale du Gun-Club commença le discours qui devait l'emmenner autour de la Lune - selon Jules Verne en tout cas. C'est à coup sûr la façon dont un enseignant d'aujourd'hui pourrait parler à ses élèves.

Car il est bien vrai que l'on connaît assez peu le Soleil. On en a d'abord une image un peu mythique. On a dit, en se souvenant d'Icare ou de Phaéon, qu'il ne fallait pas le regarder les yeux ouverts sous peine d'être brûlés. Et cette expérience, quand elle a été osée, a le plus souvent été douloureuse....L'avertissement est on ne peut plus sérieux. Alors, timide et effarouché, on a vu des photos, on a lu des livres... on l'a regardé notre Soleil, mais bien rapidement, au moment de son coucher (plus rarement de son lever)...Il est rouge alors...Pourtant, la définition même, la lumière " blanche ", c'est une lumière qui a le même " spectre ", la même intensité relative des différentes couleurs de l'arc-en-ciel, que la lumière, précisément, du Soleil...Mais pas à son coucher ! Et il est rare en effet qu'un enfant ait bien vu, même une fois dans la vie, le Soleil. Et comme les enfants, les poètes ou les peintres connaissent surtout le Soleil lorsqu'il est bas...

*Pause : petite anthologie francophone  
(un seul vers par poète... Trouvez les autres ! ...et trouvez en d'autres...)*

Victor Hugo : *Le soleil s'est couché ce soir dans les nuées...*  
Charles Baudelaire : *Le soleil moribond s'endormir sous une arche...*  
Stéphane Mallarmé : *...Se traîner le soleil jaune d'un long rayon.*  
Arthur Rimbaud : *J'ai vu le soleil bas taché d'horreurs mystiques...*  
Robert Desnos : *Le soleil ce jour-là couchait dans la cité...*  
René Char : *La teinte du caillot devient la rougeur de l'aurore..*  
G. Gratiat : *De ma chambre j'ai vu un soleil tout de sang...*

Et les peintres ne sont pas en reste !

Soleil orangé couchant sur un port - vu par Claude Lorrain  
Soleils couchants ou levants - de Claude Monet  
(dont le fameux : « Impression, Soleil levant »)  
Soleil couchant sur le semeur - de Van Gogh  
Soleil rouge des abstractions - de Klee ou Kandinski  
Soleil noir - d'Albrecht Dürer (« le soleil noir de la mélancolie, selon Nerval)  
et mille autre soleils, rouges, oranges ou noirs.

Concours pour les élèves d'une petite classe : trouver à la bibliothèque, ou chez papa-maman, des oeuvres de peintres ou de poètes où le Soleil est représenté... L'est-il souvent comme un soleil brillant, ou plus souvent comme un soleil rouge ?

Parfois ce n'est qu'un symbole (divin ou héraldique) : une représentation soit, mais pas une véritable description, pas l'oeuvre d'un peintre qui aurait regardé le Soleil !! ...Et pour cause !

Car le mythe d'Icare nous poursuit. Dans le célèbre tableau de Brueghel, « la chute d'Icare », Icare est déjà tombé dans l'eau. Le Soleil est doublé. Au ciel, c'est un éblouissement brillant mais informe, celui qui a tué Icare, mais au soir de cette tragique équipée, c'est un Soleil orange et net, à l'horizon du couchant, un Soleil de paix et de calme.

Et le poète Gérard de Nerval reprend l'avertissement à son compte :

*Quiconque a regardé le Soleil fixement  
Croit voir devant ses yeux voler obstinément  
Autour de lui, dans l'air, une tache livide...*

Alors ?

Il me semble que si j'avais la chance (mais oui !) d'enseigner l'astronomie à des enfants d'une école ou d'un lycée, je leur dirais d'abord : "*Ne regardez jamais le Soleil en face*"... Certes. "*Mais regardez le partout autour de vous. La lumière qui éclaire et colore les fleurs du jardin, les rochers de la falaise, qui étincelle sur la mer*" en mille et mille idoles du soleil" (Paul Valéry)... "*c'est toujours la lumière solaire*". "Et", continuerais-je, "*vous savez bien que le Soleil nous chauffe aussi. Et que toute l'énergie que nous recevons du Soleil suffit à maintenir notre Terre à une température acceptable pour tous ses habitants ; il fait parfois un peu chaud, parfois un peu froid... Mais enfin, sans Soleil, ce serait le zéro absolu, ou presque ; un froid mortel, des océans de glace, l'impossibilité de toute vie...*"... Et je citerais enfin un poème, pour terminer mon introduction, l'*Hymne au Soleil*, par exemple, tiré du *Chantecler*, d'Edmond Rostand :

*"Je t'adore Soleil ! tu mets dans l'air des roses,  
Des flammes dans la source, un dieu dans le buisson !  
Tu prends un arbre obscur et tu l'apothéoses !  
Ô Soleil, toi sans qui les choses  
Ne seraient que ce qu'elles sont !"*

"*La première question que je vous poserais donc, chers enfants, à propos du Soleil, c'est : d'où vient toute cette énergie qui nous fait vivre ?*"...

La réponse ne s'impose pas... Et je quitte ici ma chaire, pour me transformer en tableau noir, ou plutôt en une ébauche de manuel. Car je crois que l'enseignant se doit non seulement de "faire savoir", ou de montrer quand c'est possible, mais surtout de "**faire comprendre**" ne fût-ce qu'un peu, que partiellement, pour bien le montrer sur quelques exemples, que la connaissance scientifique s'appuie d'abord sur une compréhension des phénomènes observés, et sur une compréhension qui est unique, la même dans tous les pays et dans toutes les langues. En ce sens, la connaissance scientifique diffère, par son caractère universel, de toute autre forme imaginable de connaissance... Cela peut et doit être compris très tôt dans la vie...

Et bien sûr, pour comprendre le Soleil, il faut **observer**, **mesurer**, et que l'enfant mette son savoir-faire au service de cet apprentissage. Des expériences faciles (cadran solaire, chambre noire) peuvent déjà lui montrer les mouvements apparents du Soleil, et l'image du Soleil avec ses taches. Ces petites expériences (et celles que je propose ci-après ; mais on peut en imaginer d'autres, les CC

en ont proposé) peuvent donner à l'enfant l'intuition qu'avec de plus gros moyens, ceux des astronomes professionnels, il pourrait en savoir observer beaucoup plus et comprendre beaucoup mieux.

Montrer aussi à l'enfant que la physique qui régit les astres est la même que celle qui régit notre physique, sur Terre (chute des corps, champs magnétiques...) ne serait-ce pas une bonne prévention contre les tentations médiévales de l'astrologie, auxquelles les enfants, hors de la classe, sont continuellement exposés ?

## 2 L'origine de l'énergie solaire

Je reviens à ma question sur l'origine de l'énergie solaire, si essentielle pour nous, habitants de la Terre. Une vieille question, à laquelle il a fallu des dizaines de siècles pour répondre... Et, de fait, comment y répondre tant qu'on ne savait ni la **distance**, ni les **dimensions** du Soleil ?

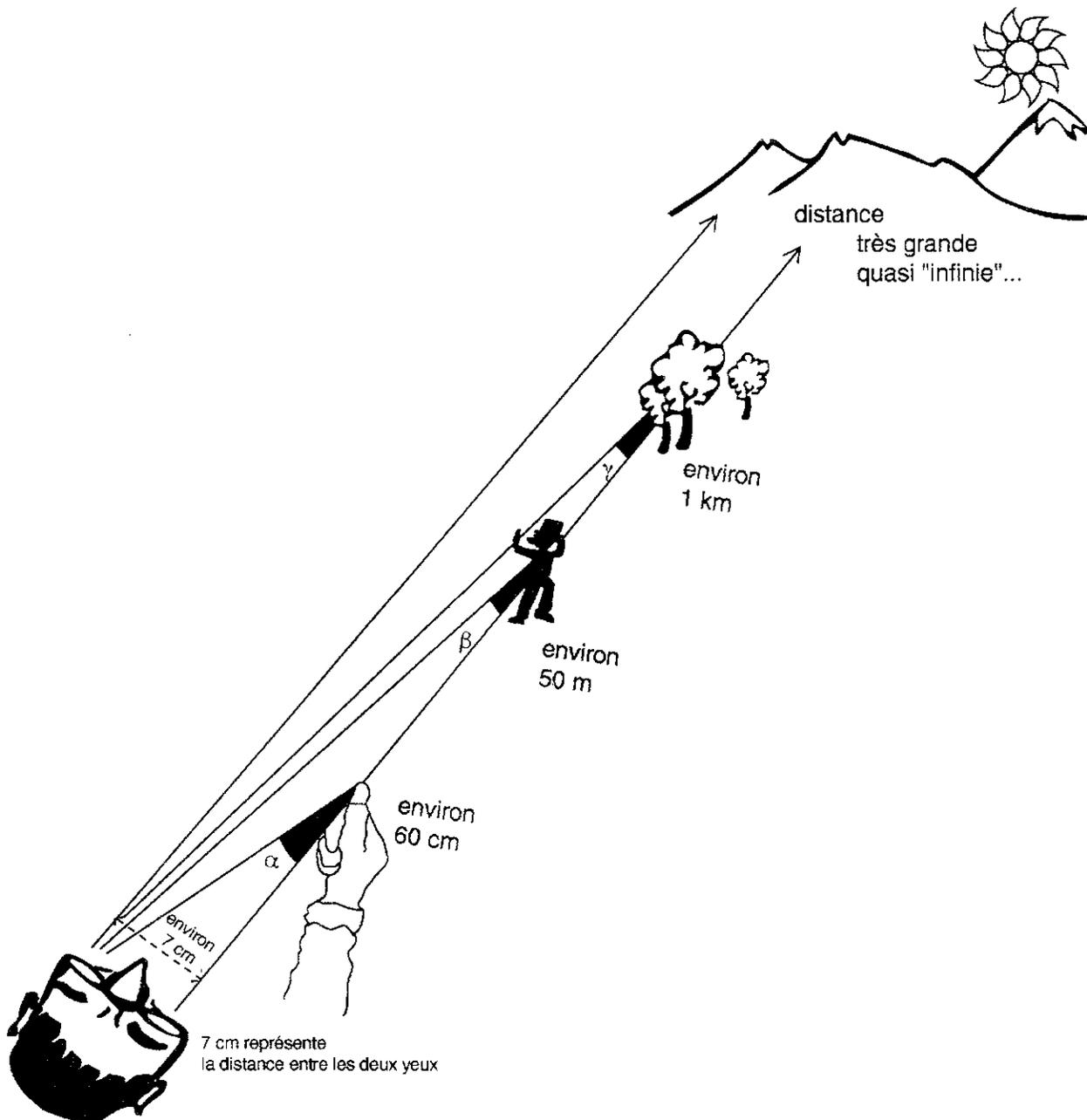
**Distance** donc d'abord. Ceci est facile (en principe !) à mesurer. L'astronome grec Aristarque de Samos (vers -310 ; -230), avait déjà imaginé une bonne méthode, en utilisant la Lune à l'un des ses quartiers, quand elle nous montre exactement une demi-face éclairée ; alors le triangle Terre-Lune-Soleil est droit, l'angle sous lequel on voit la distance Lune-Soleil est une mesure de la distance du Soleil si on connaît celle de la Lune (bien sûr, il faut connaître celle de la Lune ; mais d'autres méthodes géométriques ont été mises au point, depuis l'antiquité, tout comme la mesure du rayon de la sphère terrestre.: excellents exercices pour les élèves ! Notamment à l'occasion d'une prochaine éclipse de Lune...). Une autre, c'est, comme le touriste qui regarde la tour Eiffel, d'utiliser ses deux yeux, de cligner des yeux (fig.1). la distance se déduit de la position apparente de l'objet proche, tour ou Soleil, par rapport aux objets lointains, quasiment à l'infini (colline de Meudon, ou étoiles)... Oui, me direz-vous, mais il n'y a pas d'étoiles en plein jour ... Voire ! pendant une éclipse totale de Soleil... Mais c'est rare. Alors le doigt, ce peut être une planète comme Vénus, ou un astéroïde comme Eros, et c'est le Soleil qui est la montagne, quasiment à l'infini, lui aussi... De savantes déductions permettent de connaître le rapport des deux distances ; des mesures directes la nuit permettent de connaître la distance de Vénus. Bref, c'est possible. Mais pas à un élève de cinquième, pas même à un astronome chevronné : il faut une équipe avec des observateurs en différents sites distribués sur la Terre. Ce sont des mesures que l'on fit déjà, presque parfaites au XVII<sup>e</sup>s, et qu'aujourd'hui, l'utilisation de radars, de satellites, rend encore plus précises... L'élève de cinquième, lui, peut mesurer la distance d'un arbre, sachant la distance entre ses deux yeux, et en supposant que la montagne est à l'infini... Voilà un exercice simple !

150 000 000 km

Et pour revenir au Soleil, sa **distance** est de 1 500 000 km (en chiffres ronds ; on la connaît beaucoup mieux que cela) ; la lumière met 8 mn (à 300 000 km par seconde) à nous en parvenir (combien de km dans la distance d'une année de lumière ?). On connaît aussi son **diamètre apparent** (mesurez-le, c'est facile, avec une droite graduée ou un double décimètre au bout de votre bras tendu, au moment du coucher du Soleil bien sûr, pour éviter les brûlures) ; il est de un demi-degré, environ. On en a déduit son diamètre : environ 1 400 000 km.

Car il est essentiel, comme premier contact avec l'astronomie, de se rendre compte que le Soleil est environ cent fois plus grand, un million de fois plus volumineux que la Terre, de se rendre compte que les distances des astres sont énormes, et que le ciel est extrêmement profond, que certaines étoiles visibles sont des millions de fois plus loin que le Soleil... Le ciel n'est pas la voûte étoilée à laquelle croyaient les anciens. C'est un espace immense. Nous connaissons des galaxies qui contiennent des milliards d'étoiles et sont à des distances de plusieurs milliards d'années de lumière.

C'est dire que la lumière que nous observons a quitté ces astres (qui ont bien du mal à changer depuis lors !) depuis des milliards d'années. L'Univers est au moins aussi vieux !...



*Figure 1* : Mesurer simplement la distance d'un objet proche

Avec deux yeux, et un doigt, on voit, en clignant des yeux, l'objet proche se déplacer par rapport à l'objet lointain d'un certain angle. Cet angle (mesurable !) est  $\alpha$  pour un objet proche (le doigt),  $\beta$ , pour un personnage,  $\gamma$  pour un élément de paysage, et, par définition, zéro pour la montagne ou le Soleil, quasiment à l'infini. La mesure des angles  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  est une mesure de la distance de ces objets. Il suffit de connaître la distance entre les deux yeux, et de calibrer les angles par rapport à  $\alpha$ , connu, si l'on connaît la longueur de son bras tendu, 60 cm à peu près... On procède ainsi avec le « doigt de Vénus », et le Soleil... Pour déterminer la distance du Soleil, on utilise le rapport (connu grâce aux lois de Kepler) entre la distance de Vénus au Soleil et celle de la Terre au Soleil.

Un autre exercice pratique, facile. Mesurer l'énergie qui nous vient du Soleil. Un petit calorimètre, plein d'eau, dont on mesure la température, sera notre outil. Face au Soleil, de combien l'eau s'est-elle réchauffée en une heure ? Facile à mesurer. On en déduit (mettez au point les détails !) la température de la surface du Soleil... puisque l'on sait la distance du Soleil, et puisque l'on sait quel est le rayonnement émis par un  $\text{cm}^2$  de surface portée à telle ou telle température T (depuis Planck, 1900). Je vous épargne ce calcul !... La température de la surface du Soleil est en moyenne (c'est sa température "effective") de  $5770^\circ\text{K}$ .

La question toute naturelle qui vient ensuite, c'est : "le Soleil brûle-t-il ?"... Ou plutôt, comment le Soleil produit-il l'énergie qu'il produit ?

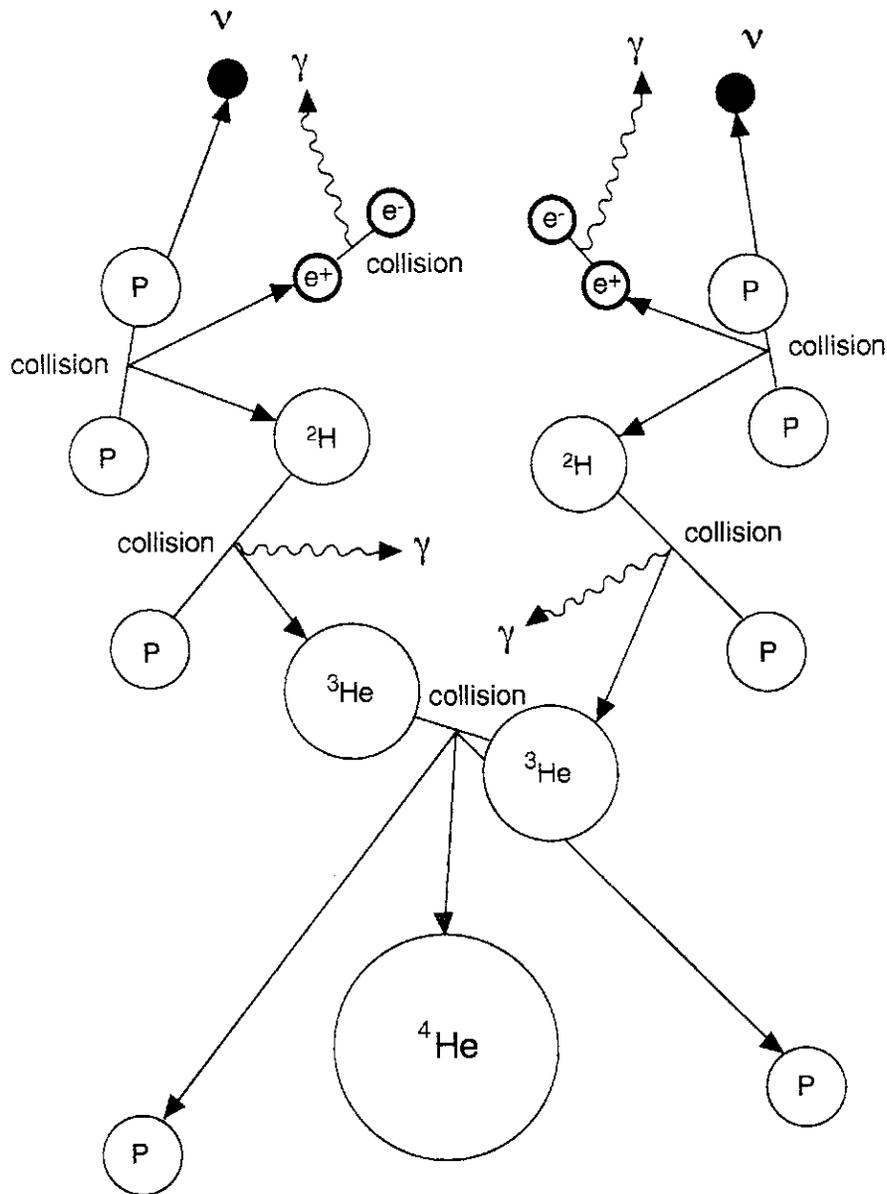
Est-ce une réaction chimique comparable à une oxydation, à une combustion, comme celle du charbon, voire à une réaction très exothermique, comme celle du sodium avec l'eau ? L'énergie mise en jeu, quelle que soit la réaction exothermique considérée, est du même ordre de grandeur, quelques calories par molécule-gramme. Là encore, connaissant la masse du Soleil, un calcul rapide doit permettre de montrer que la combustion aurait raison du Soleil en quelques milliers d'années... Compte-tenu des déterminations géologiques de l'âge de la Terre (quelques millions d'années : cela aussi on doit expliquer comment on peut le mesurer, avec les rapports d'isotopie d'éléments radioactifs de la croûte terrestre).

Et le Soleil s'effondrant sur lui-même lentement, avec libération donc de l'énergie potentielle, est-ce explication plausible ? Connaissant le rayon et la masse du Soleil on peut très vite se livrer à une approximation en calculant l'énergie libérée par une demi-masse solaire, tombant d'un rayon solaire sur le centre solaire, où la moitié de la masse solaire est supposée concentrée... Là encore, le temps de chute, calculable, correspondant à l'énergie libérée, est de quelques centaines de milliers d'années... C'est encore insuffisant.

D'où l'idée ("Eureka !" , dit Einstein en swysserdütch, en sautant hors de son bain, ou à peu près) : il y a équivalence entre masse et énergie, soit :  $E = mc^2$  ...Cela, c'est une hypothèse. Mais elle est confirmée largement par l'analyse des données physiques : un noyau d'hélium résulte (dans un astre, comme dans la bombe H) de la "fusion", dans des régions de haute température et de haute pression de 4 noyaux d'hydrogène (fig.2). Consultez les tables de masses atomiques : cela représente une perte de masse. C'est cette masse qui devient énergie, et c'est cette énergie qui est rayonnée ... Si l'on admet que tout l'hydrogène du Soleil (75% de sa masse) se transforme en hélium, et au taux de (environ)  $4.10^{33}$  ergs par seconde rayonnés par le Soleil, on voit que le Soleil pourrait si cette idée est correcte, durer cent milliards d'années. Certes, avant d'avoir consommé tout son hydrogène, le Soleil sera instable, et ceci est une autre histoire... Au moins comprend-on maintenant la grande durée de la vie Solaire.

### 3 Le Soleil est une étoile

On peut se poser des tas d'autres questions, on doit même se les poser, en classe, à propos du Soleil. Tout d'abord, ce Soleil dont nous connaissons maintenant la distance et la température est-il une étoile ? Pour le savoir, il faut connaître aussi la distance des étoiles, celle des planètes, et leur éclat...Distance d'abord : c'est encore plus difficile, bien sûr que de connaître celle du Soleil. Cependant, depuis près de quatre siècles (Copernic, Kepler...), on sait faire cette mesure pour les planètes, en évaluant la dimension de la "boucle de rétrogradation" d'une planète (fig.3), qui est en quelque sorte l'image de l'orbite de la Terre autour du Soleil.



**figure 2** : La série des réactions thermonucléaires dans le cœur solaire (schéma simplifié de la chaîne P1)

Les cercles représentent des particules d'autant plus complexes que le cercle est grand. Des collisions (fréquentes à haute densité et haute température) ont lieu dans le milieu où protons libres et électrons libres se déplacent rapidement...Elles sont du type :  $p + p$  ( $p$ =proton), et conduisent à des noyaux de deutérium (ou hydrogène « lourd »  $^2\text{H}$ ), à des neutrinos  $\nu$ , et à des électrons positifs ( $e^+$ ) ; ceux-ci rentrent en collision avec des électrons ( $e^-$ ) libres, et un photon  $\gamma$  de lumière est produit. Les noyaux  $^2\text{H}$  formés entrent en collision avec les protons libres : production d'un photon  $\gamma$  de lumière, et d'un noyau d'hélium léger instable ( $^3\text{He}$ ). Deux noyaux  $^3\text{He}$  entrent en collision, produisant un noyau stable d'hélium ( $^4\text{He}$ ) et deux protons. Bilan : six protons en collision, en sortent un noyau d'hélium et deux protons, ainsi que deux neutrinos et quatre photons, véhicules ultrarapides de l'énergie produite...



Pour les étoiles (fig.3), depuis environ 1830-1840 (W. Struve, Bessel, Henderson), en observant le mouvement des étoiles brillantes (a priori plus proches de nous) par rapport aux étoiles les moins brillantes (à priori les plus lointaines), on peut mesurer aussi la dimension de l'orbite apparente qu'elles décrivent sur le ciel, dont la dimension est celle qu'aurait l'orbite terrestre, si le Soleil était à la distance de l'étoile considérée... Ainsi, petit problème : connaissant la distance Terre-Soleil quelle est (en km ou en années de lumière) la distance d'une étoile dont l'orbite apparente sur le ciel a un demi-diamètre de 1/10 de seconde d'arc ?

Alors, si on pouvait porter le Soleil à cette distance, quel serait son éclat, qui décroît comme l'inverse du carré de la distance ? Sera-t-il, de fait, un milliard de fois plus brillant qu'une étoile située à cette distance ; ou bien un milliard de fois moins brillant ? Pour les astronomes un facteur d'un milliard, ce n'est pas grand chose ; mais cela suffit à distinguer deux classes différentes d'astres, étoiles et galaxies par exemple... Or on peut faire le calcul et l'on vérifie que le Soleil est dans une bonne moyenne, un peu plus brillant que certaines étoiles, un peu moins que d'autres. Le Soleil est une étoile ! (fig.4)

On peut alors dresser une carte d'identité du Soleil, qui permette de le "ficher" parmi ses concitoyens, les autres étoiles (fig.5)... **Diamètre** de la sphère solaire, **masse** du Soleil (tirée du fait que la Terre tourne autour du Soleil en un an : autre problème facile à poser, et à résoudre par des élèves de grandes classes), **luminosité** du Soleil, c'est à dire son débit d'énergie par seconde (ergs par seconde produits par le Soleil).

Suite et fin dans le n° 81

Jean-Claude Pecker ■

figure 4 : Le Soleil est une étoile

Ni trop bleue, ni trop rouge, ni trop grosse, ni trop naine, ni trop chaude, ni trop froide, ni trop vieille, ni trop jeune, ni trop active, ni trop calme... Le Soleil se situe dans une bonne moyenne, au sein de l'immense famille des étoiles de toute sorte.

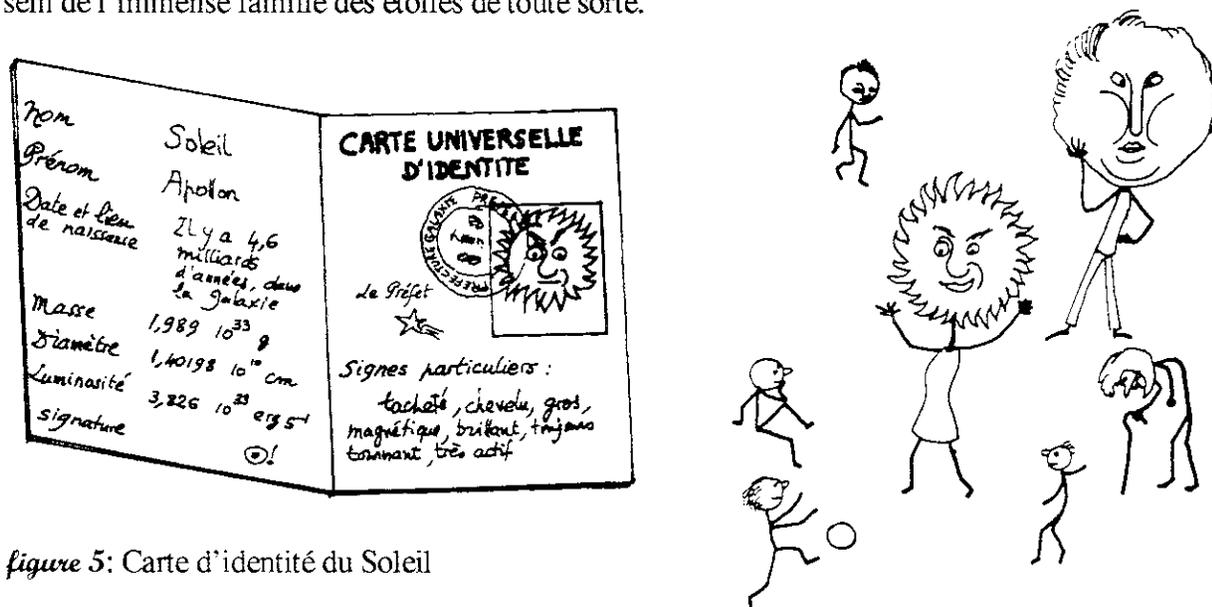


figure 5: Carte d'identité du Soleil

Le Soleil n'a pas de sosie parfait.