

A PROPOS DU BLEU DU CIEL

L'article "Pourquoi le ciel est-il bleu ?" publié dans le numéro précédent expliquait que la couleur bleue du ciel est due à la diffusion de la lumière solaire par les particules de l'atmosphère terrestre; ce processus de diffusion étant plus efficace pour les grandes fréquences, il affecte donc davantage la lumière bleue que la lumière rouge.

L'article n'entrait pas dans les détails du mécanisme de cette diffusion. Une allusion malencontreuse aux transitions atomiques ou moléculaires (au second paragraphe, p.23) pouvait laisser penser, à tort, que la diffusion de la lumière par les particules atmosphériques résulte d'une absorption suivie d'une réémission.

Nous publions ci-dessous un article dans lequel les auteurs s'amuse à tirer les conséquences de cette hypothèse fausse.

La rédaction

A PROPOS D'UNE CONCEPTION ETRANGE DU BLEU DU CIEL

A la lecture de l'article "Pourquoi le ciel est-il bleu ?" nous avons vu se profiler des horizons nouveaux, fantastiques, angoissants...

Le mécanisme de la diffusion qui nous est expliqué invoque les transitions atomiques (ou moléculaires) ; le bleu du ciel correspond donc à une raie bien précise : il est quasi monochromatique. Par conséquent, lorsqu'on observe le ciel au travers d'un spectroscope^{*}, on doit voir une raie brillante (bleue), comme c'est le cas, par exemple, pour les lampes fluorescentes (à ceci près : différentes transitions atomiques s'y produisent et l'on y voit ainsi plusieurs raies brillantes). En observateurs curieux, nous tentâmes l'expérience (cf. fig. 1) : nous vîmes des raies sombres. La nature du spectroscope utilisé (à réseau) en serait-elle la cause ? Nous confectionnâmes alors un spectroscope à prisme^{**}. Les inquiétantes raies sombres étaient toujours là, plus évidentes encore ; mais de raie brillante, point.

*Pour la réalisation de cet instrument, voir par exemple, le numéro 1 des Cahiers Clairaut.

** Pour un exemple de réalisation, voir le compte-rendu de l'Ecole d'Eté de TARBES. 1978.

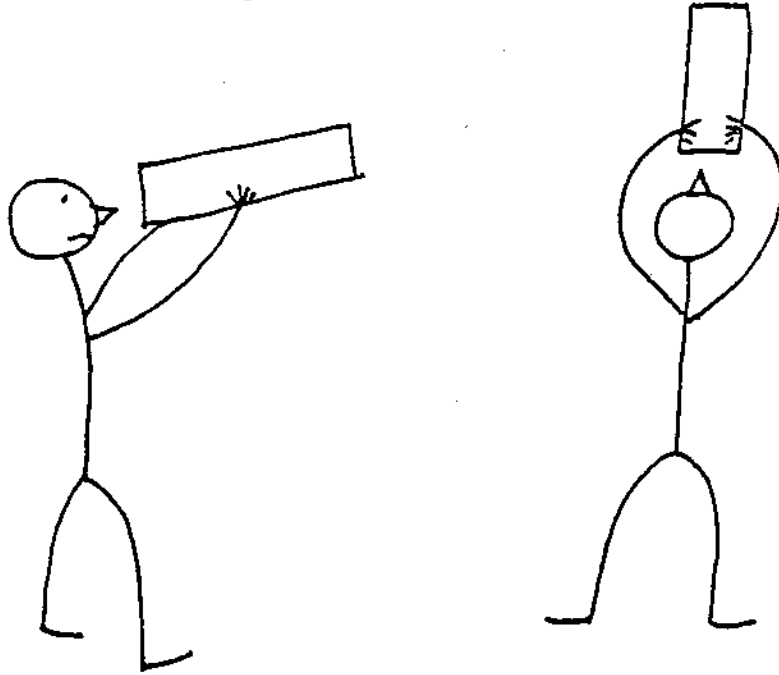


Fig 1

Les auteurs en quête
de la raie bleue du ciel

La théorie prédit son existence. On ne l'observe pas ; c'est donc qu'un phénomène physique la maquille. Considérons l'un des plus simples* : l'élargissement Doppler.

Une raie d'émission (raie brillante)** n'est pas due à la désexcitation d'un seul, mais de nombreux atomes. A moins que la température du gaz ne soit nulle ($\theta = -273^{\circ}\text{C}$), ils sont animés d'un mouvement chaotique. Ainsi, certains d'entre eux se rapprochent, tandis que d'autres s'éloignent de l'observateur (fig. 2). Or, d'après la théorie de la Relativité Restreinte, la fréquence de la lumière émise par un atome en mouvement (par rapport à l'observateur) est différente de celle de la lumière émise par un atome identique au repos (par rapport à l'observateur). C'est le célèbre effet Doppler-Fizeau. Lorsque l'atome se rapproche (s'éloigne) de l'observateur, celui-ci perçoit une fréquence plus élevée (basse) que celle que l'atome émettrait s'il était au repos (par rapport à l'observateur). Les astronomes parlent couramment de "blue-shift" ("red-shift"***)

* Les autres processus (la turbulence, par exemple) nous conduiraient à des conclusions analogues.

** Le gaz est supposé, pour simplifier, composé d'une seule espèce d'atomes.

***Anglicisme pratique pour : décalage spectral vers le bleu (rouge).

Si tous les atomes étaient au repos (par rapport à l'observateur), la raie émise, bien que monochromatique, aurait une certaine largeur, très fine, égale à celle de la raie produite par un atome unique*. Elle serait plus simplement plus intense que celle émise par cet atome unique. Puisque, parmi les atomes émetteurs, certains sont en mouvement le long de la ligne de visée de l'observateur, la raie observée sera en fait une superposition de raies dont les fréquences différeront de $\Delta\nu$ de la fréquence ν_0 de la raie émise par un atome au repos (par rapport à l'observateur). La valeur de $\Delta\nu$ est donnée par la théorie de la Relativité Restreinte pour des vitesses relatives à l'observateur dont la composante, v , sur sa ligne de visée est faible devant celle de la lumière, c , elle est :

$$\Delta\nu \approx \frac{v}{c} \nu_0 .$$

($\Delta\nu$ est compté positivement (négativement) quand l'atome s'approche (s'éloigne) de l'observateur.) On décrit le fait que tous les atomes du gaz n'ont pas la même vitesse en spécifiant le nombre des atomes ayant une vitesse donnée, c'est ce que l'on appelle la distribution des vitesses.

(La figure 3 représente la distribution de la composante des vitesses sur la ligne de visée de l'observateur dans le cas d'un gaz parfait non relativiste). Comme le décalage spectral $\Delta\nu$ dépend de la vitesse, il suit lui-même une certaine loi de distribution. Celle-ci, comme celle de la vitesse, est continue. Ainsi, la superposition des raies est en fait en juxtaposition continue (il y a une raie par valeur de $\Delta\nu$), de sorte que l'on observe une raie unique, mais élargie, (fig. 4). La largeur de cette raie est définie, par exemple, par la largeur à mi-hauteur de la courbe représentant l'intensité de la fréquence (on dit encore : le profil de la raie). On peut montrer qu'une bonne estimation de cette largeur est donnée par :

$$2 \Delta\nu_D \approx 2 \nu_0 v^*/c ,$$

où v^* est la vitesse (quadratique) moyenne des atomes. Pour un gaz parfait, non relativiste, à la température

* Cette largeur est expliquée en Mécanique Quantique par la durée de vie du niveau excité et par le principe d'incertitude de Heisenberg.

T, la vitesse moyenne est :

$$v^* = \sqrt{\frac{3 k T}{m}}$$

(m est la masse d'un atome).

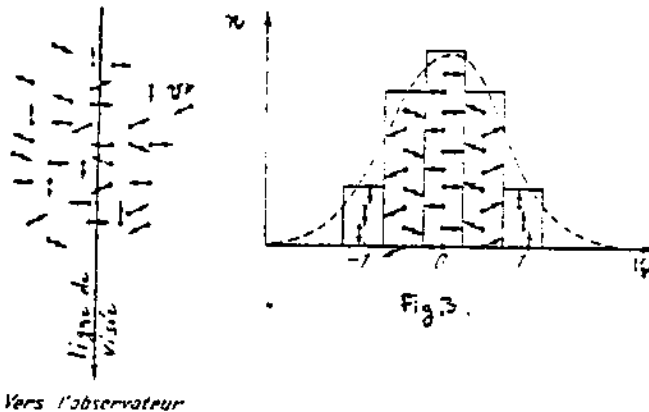


Fig. 2.

Fig. 3.

Figs. 2 & 3. Répartition des particules de gaz suivant les vitesses:
2) vecteurs des mouvements dé-sordonnés; 3) quantité relative des particules aux composan-
tes sur la ligne de visée différent.

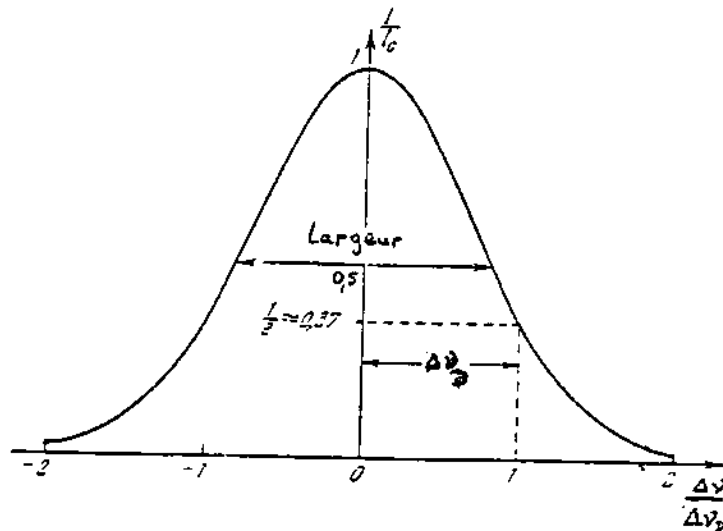
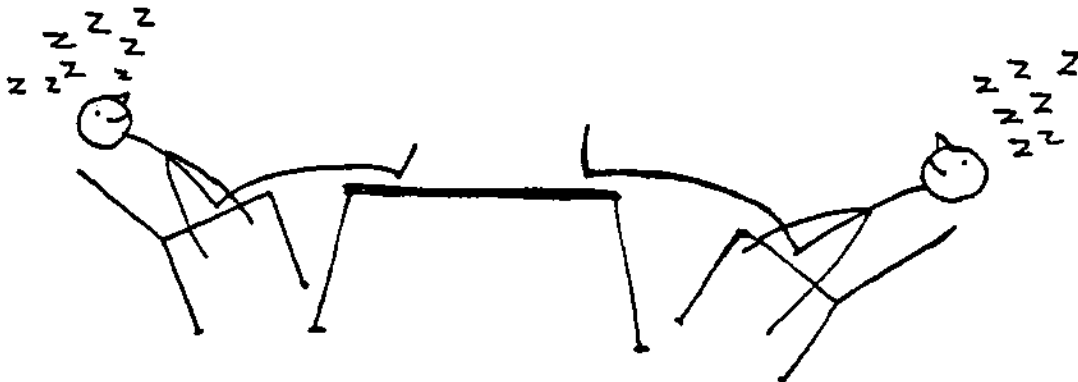


Fig. 4 Profil Doppler d'une raie spectrale.



Les auteurs à la recherche
d'une solution théorique

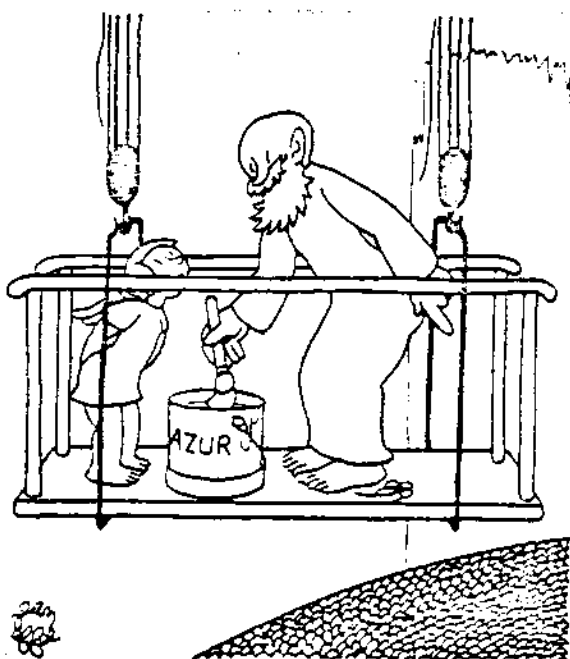
Plus le gaz est chaud, plus la vitesse moyenne des atomes est élevée, et par conséquent, plus la raie est élargie. En combinant les relations précédentes on peut,

connaissant la demi-largeur Doppler $\Delta\nu_D$ de la raie, estimer la température du gaz* :

$$T \sim \frac{mc^2}{3k} \left(\frac{\Delta\nu_D}{\nu_0} \right)^2$$

Lors de nos expériences nous n'avons pas vu la raie prédite par la théorie. Pour ne pas mettre en doute celle-ci, nous avons conclu à un élargissement de la raie tel qu'elle occupe pratiquement tout le spectre visible (nous travaillions dans ce domaine). Elle n'apparaît alors plus comme une raie monochromatique; en fait elle ne se distingue plus du fond continu. Le domaine visible a approximativement une étendue de:

$$\Delta\lambda \sim 0,8 - 0,4 \mu \sim 0,4 \mu.$$



Explication de l'azur

— ... et comme ça, au lieu de jurer mon nom, on dira : « Parbleu, corbleu, ventrebleu »...

(dessin tiré de "La Genèse Ingénue", par J.Effel, Editions Denoël)

* Les formules écrites ici ne sont valables que dans le cas d'un gaz parfait classique non relativiste. L'utilisation de formules plus élaborées ne change ni les ordres de grandeurs, ni les conclusions de cet article.

Pour la couleur bleue une valeur typique de la longueur d'onde est :

$$\lambda \sim 0,4 \mu$$

L'élargissement Doppler relatif $\Delta\nu_D/\nu_0$ ($= |\Delta\lambda/\lambda_0|$, car $\lambda = c/\nu$) est donc de l'ordre de l'unité*. On en déduit alors que la température de l'atmosphère terrestre est de l'ordre de 10^{14}°K . (La température au centre du Soleil vaut environ 10^7°K .)

Les écologistes auraient-ils raison de nous mettre en garde contre un certain échauffement de l'atmosphère terrestre ?

Quoi qu'il en soit, à de telles températures les atomes sont entièrement dissociés ; ce qui, a priori, devrait empêcher toute transition atomique. Alors, pourquoi le ciel est-il bleu ?

En attendant de reprendre l'article de W.F. Weisskopf (Sci. Am. 219, 60, 1968) dans un prochain numéro, nous recommandons vivement la lecture du Cours de Physique de Berkeley, volume 3 : Ondes, p. 378, Ed. A. Colin; ainsi que la réalisation de l'expérience suivante, qui, elle aussi sera commentée dans un prochain numéro.

Remplir d'eau une bouteille (si possible aux faces planes, du type des bouteilles de jus d'orange, par exemple). Eclairer à l'aide d'une lampe de poche diaphragmée par un morceau de carton noir percé d'un trou ($\phi \sim 2$ à 3mm) et regarder la lumière par transparence ; d'abord par la face opposée à la lampe, puis par une face latérale (fig. 5). Noter les couleurs observées (si l'eau est propre, il ne doit y en avoir aucune).

* Il est probable qu'il n'est pas nécessaire d'élargir autant la raie pour qu'elle ne soit plus distinguable du fond continu ; quand bien même $\Delta\nu_D/\nu_0$ serait mille fois plus faible, la température serait encore démesurément élevée.

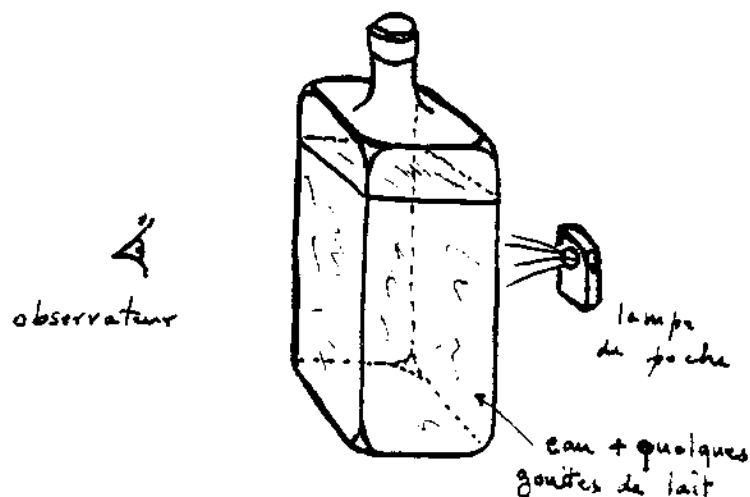


fig. 5.

Recommencer l'expérience après avoir ajouté à l'eau quelques gouttes de lait (quelques gouttes pour un litre d'eau). Noter les couleurs. Ajouter encore du lait et recommencer les observations. Expliquer.

L.M. Celnikier et B.Leroy
Observatoire de Meudon

~~~~~

ERRATUM concernant l'article "ASTRONOMIE ET RECHERCHE SPATIALE" paru dans le n° 3 des Cahiers Clairaut : une malencontreuse faute de frappe s'est introduite p5, au début du paragraphe 2 - "Les missions cométaires". Il fallait lire : "Les comètes sont les seuls corps du système solaire..." au lieu de : "Les planètes sont..." Selon la formule consacrée : nos lecteurs auront certainement rectifié d'eux-mêmes ... à moins qu'ils n'aient été aussi étourdis que le "relecteur" de service.

L.B.

~~~~~