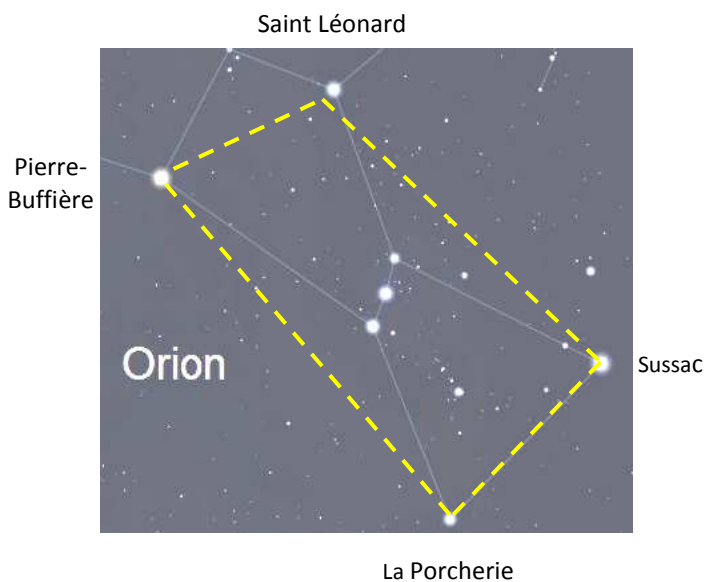
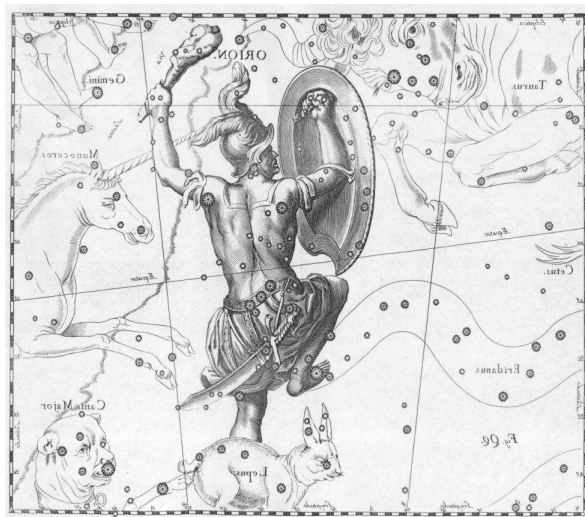


AMA-Les @ramis – 2017  
 article proposé par Pierre Perrot  
[perrot9@gmail.com](mailto:perrot9@gmail.com)

## Travaux de D'Arsonval liés à l'astronomie

### 1 – D'Arsonval, le galvanomètre et les étoiles

Il ne vous a pas échappé que dans le seul espace compris entre la Vienne et la Briance sont nés les quatre plus brillants des enfants issus du Limousin, je veux parler de Dupuytren, né à Pierre-Buffière, Gay-Lussac, né à St Léonard-de-Noblat, Cruveilhier, né à Limoges et mort à Sussac et enfin, (The last but not the least) D'Arsonval, né et mort à La Porcherie.



Curieux rapprochement, le quadrilatère dessiné par ces quatre lieux (Pierre-Buffière, St Léonard-de-Noblat, Sussac et La Porcherie) représente très exactement la constellation d'Orion !

(Enfin, à un taureau près, mais Orion dans le ciel est bien obligé de se serrer pour faire place au taureau, ce qui explique l'allure un peu plus élançée de son quadrilatère, ce qui n'est pas le cas dans le Limousin !). Les deux bouts de la grande diagonale sont occupés, dans le ciel, par Bételgeuse et Rigel mais en Limousin, par St Léonard-de-Noblat (Gay-Lussac) et La Porcherie (d'Arsonval). Vous me permettrez donc, de mettre en parallèle les rayonnements émis par ces étoiles de première grandeur, même si les rayonnements en question ne sont pas de même nature. Ceci n'avait naturellement pas échappé aux organisateurs de la cérémonie qui, le 23 Octobre 1951 s'étaient réunis en grande pompe pour célébrer le 100<sup>e</sup> anniversaire de la naissance de d'Arsonval.

D'Arsonval (euh... je veux dire Rigel) est une étoile jeune (800.000 ans), la plus brillante de **la constellation d'Orion**. Supergéante bleue qui, mise à la place du soleil, s'étendrait jusqu'à l'orbite de Mercure, elle brille avec tout l'éclat de ses 11.000°C. Gay-Lussac peut se consoler étant représenté par Bételgeuse, supergéante rouge, donc, en fin de carrière ! Son éclat est bien sûr moins important (3300°C), mais elle n'est pas beaucoup plus âgée (10 millions d'années) car elle a brûlé la chandelle par les deux bouts !). Elle n'en reste pas moins l'une des plus grandes étoiles connues, qui, mise à la place du soleil, s'étendrait jusqu'à l'orbite de Mars, ses panaches pouvant avoir la taille du système solaire !

Vous allez me dire que qui trop embrasse, mal étreint, aussi, je vous rassurerai tout de suite, mon propos sera seulement consacré à D'Arsonval. Mais vous ne m'empêchez pas d'évoquer Gay-Lussac, d'abord parce qu'il est Limousin (encore que, me fit fort justement remarquer un édile porchariaud, St Léonard-de-Noblat soit situé historiquement, en Basse-Marche (;>). M'enfin, prenons le Limousin au sens large, celui de notre défunte région !), ensuite parce que j'aime bien Gay-Lussac (rassurez-vous, en tout bien tout honneur !) et enfin parce qu'il s'est occupé de gaz parfaits et que les étoiles se comportent très exactement comme des gaz parfaits (ce qui ne nous éloigne pas trop de notre sujet).

Mais quelle est la relation entre D'Arsonval le galvanomètre et les étoiles ? En 1873, Arsène d'Arsonval alors âgé 22 ans, et tout juste préparateur de Claude Bernard au collège de France, rédige son premier travail scientifique intitulé : « L'équation personnelle des astronomes » paru dans La Revue médicale de Limoges.

Le 6 Décembre de la même année, il assiste au Collège de France à un cours de Claude Bernard sur la chaleur animale. Au cours de la démonstration, le galvanomètre, fragile, tombe en panne ! Arsène d'Arsonval le démonte, en modifie le mécanisme rendant l'aimant inamovible, ce qui le rend puissant et insensible aux champs perturbateurs, puis le remonte correctement, ce qui permet à Claude Bernard de réussir son expérience ! Dès lors est scellée l'alliance de deux génies, alliance maintenue jusqu'au décès de Claude Bernard (1813-1877). Quelques années plus tard, en 1881, il met au point du galvanomètre à cadre mobile avec l'ingénieur Marcel Deprez, et fait en même temps paraître un article dans La lumière électrique, Journal universel d'électricité, n° 54 (1881), sur « la mesure des températures par l'électricité ». Enfin, en 1884 il décrit, dans le même journal, le calorimètre à rayonnement.

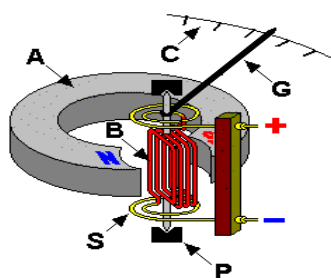
## 2 – Un galvanomètre, comment ça marche ?

*Sommairement :*



L'aiguille d'une boussole s'oriente de façon naturelle dans un axe nord-sud mais il suffit d'approcher de la boussole un petit aimant pour modifier la direction du champ magnétique local et faire dévier l'aiguille. La boussole peut être considérée comme un indicateur de direction de champ magnétique. Si, au lieu d'un aimant, on place une bobine parcourue par un courant électrique à proximité de la boussole, l'aiguille va dévier proportionnellement à l'intensité du champ magnétique, donc du courant électrique. Sur la photo ci-contre la bobine est constituée d'une cinquantaine de spires de fils de cuivre émaillé (diam. 0,4 mm). Il suffit de quelques milliampères dans la bobine pour faire dévier l'aiguille de la boussole

### *Principe du galvanomètre à cadre mobile*



Une bobine **B** en forme de cadre est soutenue par deux pivots **P**. Elle peut tourner autour de son axe mais deux ressorts **S** en forme de spirale la ramènent à une position de repos. Cette position de repos est celle de l'aiguille **G** indiquant le zéro sur le cadran **C**. La bobine est placée dans l'entrefer d'un aimant **A**. Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée aux bornes + et - le courant qui traverse la bobine provoque la rotation de cette dernière d'un angle proportionnel à l'intensité du courant.

L'inversion du sens de passage du courant provoque une déviation de l'aiguille en sens inverse. Le déplacement de l'aiguille est limité dans les deux sens par deux butées non représentées sur le dessin. Un courant trop élevé dans le cadre peut le détruire ; l'ordre de grandeur du courant provoquant une déviation complète de l'aiguille est de 25 à 1000  $\mu\text{A}$ . [ $\mu$  est le symbole de *micro*, c'est-à-dire d'un millionième. A titre de comparaison, les courants qui alimentent nos appareils usuels sont de l'ordre de l'ampère.

### 3 – Un galvanomètre, à quoi ça sert ?\*

Nous nous passons évidemment bien d'un tel instrument dans notre cuisine. Mais les bricoleurs du mercredi commencent à le trouver indispensable (ceux du Dimanche aussi, d'ailleurs). L'industrie, quant à elle, en fait un instrument aussi omniprésent qu'indispensable. Nous avons vu qu'originellement, il mesure les très faibles intensités électriques, mais, il peut être adapté :

Sous le nom d'*ampèremètre*, il mesure n'importe quelle intensité électrique.

Sous le nom de *voltmètre*, il mesure une tension électrique.

Sous le nom d'*ohmmètre*, il mesure une résistance électrique

Sous le nom de *multimètre*, il mesure les trois précédentes grandeurs.

Sous le nom de *wattmètre*, il mesure une puissance électrique.

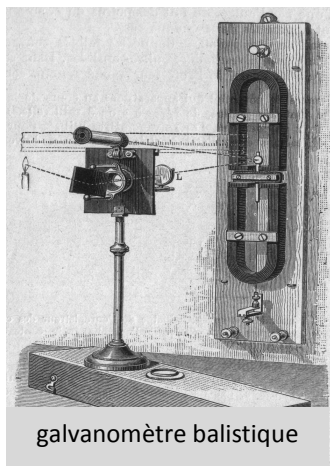
Sous le nom de *fluxmètre*, il mesure le flux d'induction du champ magnétique.

Sous le nom de *photomètre*, il mesure une intensité lumineuse

Sous le nom de *spectromètre*, il balaye un large éventail de longueurs d'onde.

**Il faut enfin signaler le *pyrhéliomètre* de Charles Féry (1865-1935) qui servit notamment en 1906, aux mesures de la température du soleil sur l'observatoire du Mont-Blanc.**

Pour passer d'un instrument à l'autre, il suffit souvent de n'apporter que de légères modifications et notre but n'est pas d'entrer dans le détail, puisque nous allons nous concentrer sur la lumière reçue des étoiles. Un *fluxmètre* n'est pas autre chose qu'un galvanomètre inversé : Dans un galvanomètre, on mesure le courant en gardant un flux constant, dans un fluxmètre, on mesure le flux en gardant un courant constant. Les deux derniers instruments, sur lesquels nous allons porter notre attention, nécessitent que l'on convertisse préalablement une lumière en courant électrique. En ce qui nous concerne, ce sera la lumière stellaire. Un *photomètre* mesure la lumière reçue, sans chercher à savoir si l'on veut séparer les couleurs ou non ; un *spectromètre* étudie la décomposition de la lumière en ses différentes couleurs. La *spectrophotométrie* va plus loin : Elle étudie non seulement la séparation, mais détermine l'intensité de chaque constituant d'une lumière. Disons enfin que, si l'invention de l'électricité date du début du XIX<sup>e</sup> siècle (la pile *Volta* date de 1800), tous les instruments que nous venons de signaler étaient d'un usage courant à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, au moment où d'Arsonval commençait sa carrière.

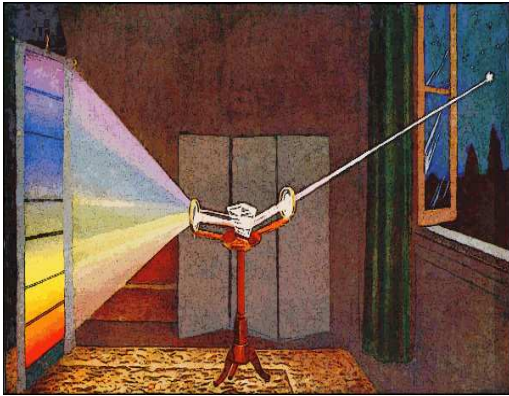


galvanomètre balistique

(\*) Selon les caractéristiques mécaniques et électriques du cadre mobile il est utilisé en mode continu, ou en mode impulsionnel. Dans les laboratoires il peut être aussi utilisé en galvanomètre balistique, en thermo-galvanomètre, en galvanomètre différentiel, en galvanomètre « de zéro ». Cette polyvalence donne au galvanomètre une place de première importance dans la mesure de « l'électricité ». Le galvanomètre à cadre mobile (à fil unique) encore appelé galvanomètre à corde ou galvanomètre à vibration, a permis une avancée certaine, dans la recherche conduisant aux électrocardiographes, oscillographes . . .

#### 4 – État de l'art du temps de D'Arsonval

Il faut bien se dire qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, au-delà de faire rêver l'homme, on ne connaissait pas grand-chose des étoiles. Bien sûr, on était capable de calculer approximativement la distance des plus proches d'entre elles et l'on apprenait à mesurer leur température de surface. Il me souvient qu'étant gamin, je posais à mon professeur la question de savoir comment on connaissait la température d'une étoile, étant donné que personne n'avait pu aller y poser un thermomètre. Je me suis fait copieusement eng... par l'enseignant qui pensait que je me fou... de sa gueule. À la réflexion, je ne lui en veux pas, car je crois que le malheureux n'avait aucune réponse à ma question, pourtant fort pertinente !



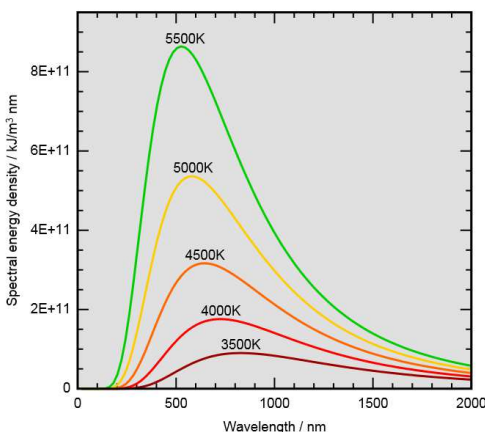
La température fut pourtant la première des caractéristiques d'une étoile qui nous fût accessible, grâce au *galvanomètre*, ou plus précisément, grâce au *spectrophotomètre*.

On savait en effet, depuis Newton, qu'un prisme était capable de décomposer la lumière en ses différentes couleurs et il suffisait de placer un *spectrophotomètre* devant chacune d'elle pour mesurer l'intensité émise en fonction de la longueur d'onde et le tour est joué (yapuka l'faire, comme dirait mon adjudant !).

#### 5 – Température de surface d'une étoile

L'expression de corps noir date de 1862 et désigne tout corps capable d'absorber toute la lumière qui lui tombe dessus. Un vêtement noir absorbe la lumière et garde le corps au chaud, tandis qu'un vêtement clair réfléchit la lumière et garde le corps au frais. C'est ainsi qu'il est préférable de s'habiller en clair l'été et en sombre l'hiver. Le soleil est un corps noir ! Vous allez protester en disant que le soleil n'est pas particulièrement noir et en pointant la contradiction : « le soleil émet de la lumière blanche (qui contient toutes les longueurs d'onde) et pourtant c'est un corps noir ! (Aha..., je vous ai bien eu !) ». Eh bien, il en est ainsi : le soleil émet de la lumière blanche sous l'effet de l'agitation thermique, parce qu'il est chaud, et pourtant c'est un corps noir, car il possède toutes les caractéristiques d'un tel corps.

Quelle est donc la principale caractéristique d'un corps noir ? Elle est que son spectre d'émission ne dépend que de sa température ! La figure ci-dessous donne le spectre d'émission d'un corps noir à diverses températures, comprises entre 3500 et 5500 K. Nous pouvons nous arrêter un petit moment sur cette figure ;



Tout d'abord, ces courbes ressemblent (avec pas beaucoup d'imagination) au chapeau d'Arsène quand il était taupin (;>), mais jusqu'ici, personne ne l'avait remarqué ! Plus sérieusement, les températures, telles qu'exprimées, sont dites absolues, c'est-à-dire exprimées en kelvins (symbole K), conformément aux habitudes scientifiques.

**On passe très facilement des  $t$  (exprimées en °C) aux  $T$  (exprimées en K) par la relation :  $t = T + 273,16$**

Bien sûr, ça, c'est pour les puristes, car, aux températures élevées, on peut laisser tomber le ,16 !!

C'est ainsi que le spectre d'émission du soleil représente très exactement le spectre d'émission d'un corps noir à la température de 5780 K (c'est-à-dire 5500°C environ). **Les mesures faites en 1906 avec le pyréliomètre de Féry** doté d'un galvanomètre Meylan - d'Arsonval donnent 5555°C, ce qui est remarquablement proche de la valeur actuellement admise. Le spectre du fond diffus cosmologique représente très exactement celui d'un corps noir à 2,728 K (mais ce dernier spectre est beaucoup plus difficile à prendre !)

La forme de ces courbes était parfaitement connue au XIX<sup>e</sup> siècle depuis les travaux de l'opticien allemand *Fraunhofer*, mais ce n'est qu'en 1900 que *Planck* en donna leur équation que je ne résiste pas au plaisir de reproduire :

$L_\lambda$  est la luminance spectrale, exprimée en  $W.m^{-3}.sr^{-1}$

$\lambda$  est la longueur d'onde (en m) et  $T$  la température (en K) !

$c$  est la vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 299\,792\,458\,m.s^{-1}$

$h$  est la constante de Planck :  $h = 6,626\,069\,57 \times 10^{-34}\,J.s$

$k_B$  est la constante de Boltzmann :  $k_B = 1,380\,648\,8 \times 10^{-23}\,J.K^{-1}$

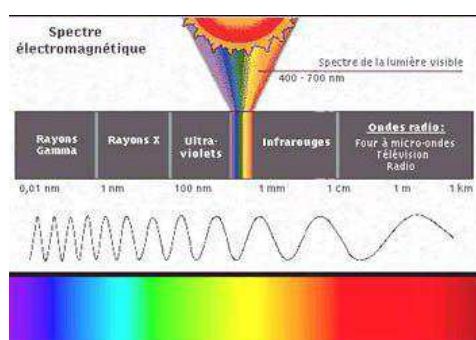
$$L_\lambda = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h c}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

A titre de curiosité, cela peut faire plaisir de connaître cette équation, même si l'on ne saisit pas très bien ce qu'elle représente, mais il faut surtout voir qu'elle a été établie théoriquement et qu'elle représente parfaitement la réalité ! Si l'on prend le sommet de chaque courbe, on obtient la longueur d'onde du maximum d'émission en fonction de la température, connue sous le nom de loi de Wien :

$$\lambda_{\max} \times T = 2,898$$

On peut ainsi obtenir la température superficielle de l'étoile en fonction de la position du maximum de la longueur d'onde, mais attention : cette fois-ci,  $\lambda_{\max}$  est exprimé en millimètres et  $T$  en kelvins.

Il résulte de cette loi que, plus un objet est chaud, plus la longueur d'onde du maximum est courte. La température de surface du Soleil est 5780 K, ce qui correspond à un maximum d'émission vers 500 nm, au milieu du spectre



visible (raie verte, entre le violet et le rouge). Cette lumière nous apparaît comme jaune après diffusion dans l'atmosphère (le Soleil est perçu comme blanc dans l'espace car la quantité de lumière émise par le Soleil dans tout le domaine visible est suffisante pour qu'il paraisse blanc à l'observateur). Les étoiles plus chaudes émettent à des longueurs d'onde plus courtes et apparaissent bleutées ; les étoiles plus froides nous semblent rougeâtres. Il n'y a pas d'étoiles vertes. Le rayon vert peut apparaître fugitivement lorsqu'au moment du coucher du soleil, l'atmosphère renvoie les rayons rouges vers la terre et les rayons bleus

vers le ciel, ne laissant apparaître qu'un fugace rayon vert !

## 6 – En conclusion

On pourrait continuer à dérouler le fil rouge, et je ne résiste pas au plaisir de signaler que d'Arsonval a été honoré par l'attribution, en 1976, de son nom à un cratère situé sur la face cachée de la lune. Il s'agit d'un cratère météoritique de 30 km de diamètre et de 1900 m de profondeur. Notons que Gay-Lussac a lui aussi son cratère sur la face visible de la lune, cratère de 26 km de diamètre dont le nom fut attribué en 1935. On peut dire que sur les 1616 cratères lunaires baptisés par l'Union Astronomique Internationale, il y a 166 noms de français (10 % du total) dont deux limousins !