

Initiation à la pratique de l'électronique **Les capteurs**

Nous avons déjà décrit (Le Haut-Parleur n° 1829) les spécificités des capteurs et souligné leur importance croissante dans de nombreuses applications. Une diode, un transistor peuvent être utilisés comme capteurs de température. Des circuits intégrés dédiés existent également. Ils réalisent cette fonction en exploitant la variation, proportionnelle à la température absolue, d'une source de courant ou de tension. Lorsque l'on monte en température, les thermocouples, les pyromètres sont parmi les dispositifs les plus couramment rencontrés.

Une simple jonction P-N

Voyons maintenant, parmi les semi-conducteurs au silicium, quels sont les capteurs de température intéressants. Nous commencerons par le plus simple de tous : la brave diode, la jonction P-N classique. Elle peut servir de capteur de deux façons :

- sa tension directe (pour une intensité donnée) varie avec la température ;

- sa fuite inverse (pour une tension donnée) varie avec la température.

Le second phénomène est moins utilisé, mais, pour le premier, des études théoriques ont montré que, au voisinage de la température ambiante normale (environ 300 K), pour une intensité donnée, la tension directe aux bornes de la diode est proche de :

$$V_d = 200/T_j$$

en désignant par T_j la température absolue de la jonction.

Nous trouvons donc, à 300 K, une tension voisine de 666 mV, et surtout une variation de cette tension d'environ -0,3 % par degré. Il y aura donc une diminution de tension de l'ordre de 2,2 mV/°C.

La loi n'est pas linéaire, mais, pour une variation faible de température, cela n'a pas d'importance. Il faut, évidemment, alimenter la diode à courant constant, ce qui est assez facile, par exemple en utilisant une tension stabilisée de 12 V (fig. 8) et un résistor R en série. En fait, ce montage n'alimente pas la diode avec une intensité rigoureusement constante, car cette intensité vaut :

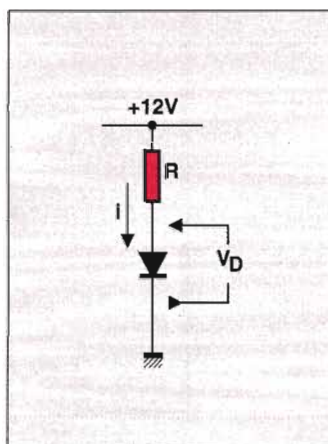


Fig. 8. - Une simple diode, alimentée en direct à courant constant, a une chute de tension directe qui varie de - 2,2 mV/°C, constituant ainsi un bon capteur de température.

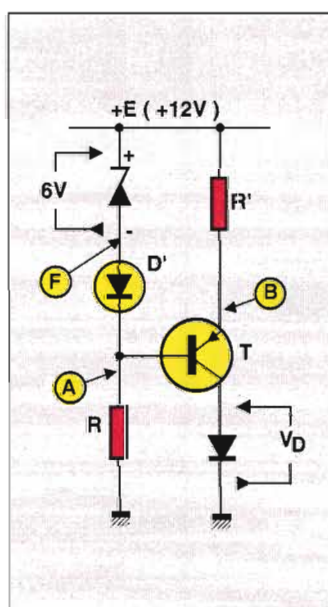


Fig. 9. - Le circuit à courant constant prévu pour alimenter la diode-thermomètre maintient, aux bornes de R', la même tension qu'aux bornes de la diode Zener. Le courant est ainsi stabilisé.

$i = (12 - V_D)/R$
et V_D n'est pas tout à fait constante. Mais, pour une variation de 40 °C, par exemple, V_D ne variera que de 88 mV, soit une variation d'intensité inférieure à 0,8 %.

Si l'on veut une intensité parfaitement constante, il suffit d'utiliser le montage de la figure 9. La diode Zener Z maintient le potentiel du point (F) à $E - V_Z$, donc celui du point (A) à $E - V_Z - V_D$, en désignant par V_D la tension directe aux bornes de D'. Comme, entre le point (F) et le point (A), il y a une diode, très analogue à D', le potentiel du point (B), qui est celui de (A) plus le V_D (émetteur-base) du transistor, est très proche de celui du point (F).

Il y a donc, aux bornes de R', une tension pratiquement égale à V_Z , donc très constante.

L'intensité dans R' est donc V_Z/R' , et l'on retrouve pratiquement la même intensité (constante) dans la diode D (les intensités collecteur et émetteur d'un transistor à grand gain doivent être considérées comme égales).

Jonction émetteur-base d'un transistor

L'expérience montre que la meilleure diode que l'on puisse utiliser pour réaliser un capteur de température est la jonction émetteur-base d'un transistor. Mais, dans ce cas, nous ne laisserons pas le collecteur du transistor « en l'air », nous le relierons à la base. Nous allons voir pourquoi c'est préférable.

Dans un transistor, la base est une couche très mince, donc sa résistance propre n'est pas négligeable. Tout se passe, en simplifiant un peu les choses, comme si la vraie base, B', du transistor (fig. 10) était reliée à la connexion de base B, par un résistor, que l'on désigne par $R_{bb'}$.

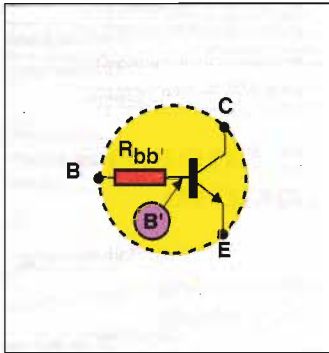


Fig. 10. – Dans un transistor, la résistance intrinsèque de la base fait que le point B (connexion base sur le boîtier) est, en fait, relié à la base « effective », B', par un résistor, qui sera gênant dans l'emploi de la jonction base-émetteur du transistor comme diode thermométrique.

La présence de ce résistor va perturber un peu le fonctionnement de la diode, car en laissant le collecteur en l'air, tout le courant base doit traverser le résistor en question.

Une diode presque « idéale »

Mais, si nous relierons le collecteur et le point B, en raison du gain du transistor (qui existe même avec une tension collecteur-base nulle), la plus grande partie du courant émetteur passera dans le collecteur, une très faible proportion de courant passant dans la base. Le résistor $R_{bb'}$ ne nous gênera donc plus.

Il est facile de voir à quel point on améliore le fonctionnement de la diode base-émetteur par interconnexion du collecteur et de la base, en réalisant le petit essai dont le principe est indiqué sur la figure 11. Pour maintenir une intensité pratiquement indépendante du V_{BE} , nous utilisons une tension d'alimentation élevée, proche de 30 V, ajustable.

L'ampèremètre A mesure le courant, un voltmètre V donne la valeur de la tension base-émetteur. L'interrupteur K permet de connecter ou non le col-

lecteur du transistor à sa base. Après avoir choisi une valeur de résistance pour R, et ajusté E pour avoir une intensité donnée, on ferme K : on s'aperçoit que la tension lue sur le voltmètre diminue, et l'on corrige E, pour ramener l'intensité à la valeur précédente.

On peut ainsi, pour chaque valeur i de l'intensité émetteur, avoir la valeur de la tension base-émetteur, qui sera notée V avec K ouvert et V' avec K fermé. Les résultats des mesures faites avec un BD 416 sont les suivants :

i	0,01	0,1	1,0	2,0	10,0	mA
V	556	628	718	747	810	mV
V'	532	594	656	676	722	mV

On voit que l'écart entre V et V' croît quand l'intensité augmente, mais le point le plus intéressant est le suivant : si l'on calcule la variation de V et celle de V' pour des intensités en progression géométrique (0,01, 0,1, 1 et 10 mA), on trouve :

Variation de i	Variation de V	Variation de V'
i de 0,01 à 0,1	72 mV	62 mV
i de 0,01 à 1	90 mV	64 mV
i de 1 à 10	92 mV	66 mV

Or, la variation de tension directe aux bornes d'une diode en fonction du courant, si elle est « idéale », est la logarithmique (tension croissant en progression arithmétique quand l'intensité croît en progression géomé-

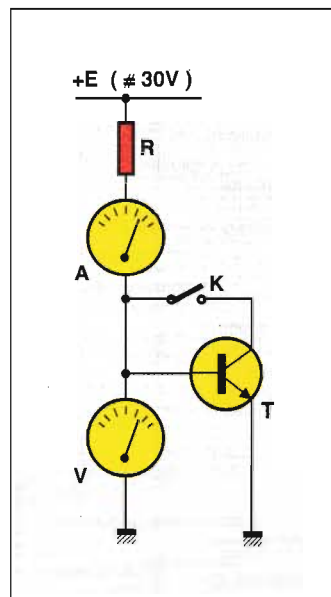


Fig. 11. – Montage permettant de mettre en évidence les lois de variation de la tension base-émetteur en fonction du courant émetteur, suivant que le collecteur est, ou non, relié à la base.

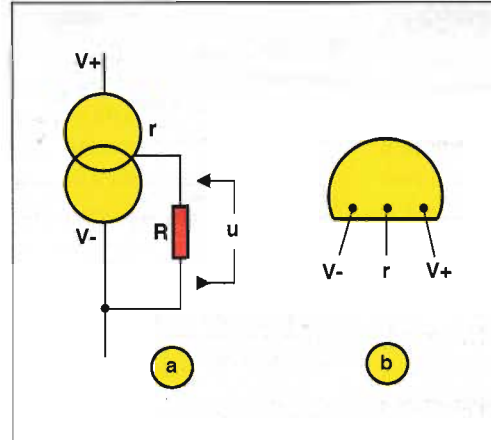


Fig. 12. – Le circuit LM 334 se présente (a) comme une source de courant, ajustable par le résistor R, aux bornes duquel le circuit maintient une tension proportionnelle à la température absolue. Son brochage est indiqué en (b).

trique), avec un accroissement de la tension de 63 mV quand l'intensité est multipliée par 10.

On voit que, aux erreurs d'expérience près, la loi de la tension V' (contact K fermé) est beaucoup plus proche de la loi théorique que celle de la tension V. Il en ira de même de la loi de variation de la tension V_{BE} en fonction de la température.

Donc, pour faire un capteur de température avec un transistor, on relie le collecteur et la base, et on alimente la « diode » ainsi réalisée à courant constant, puis on mesure la tension V_{BE} , qui diminue d'environ 2,2 mV/°C.

En particulier, un tel capteur est idéal pour détecter un faible échauffement d'une batterie cadmium-nickel que l'on recharge, échauffement qui signifie que la charge est terminée. C'est avec des capteurs de ce type qu'a été réalisé l'ensemble de charge décrit dans *Le Haut-Parleur*, dans les numéros 1750 (mars 1988), pages 148-153, et 1751 (avril 1988), pages 72-81.

Circuits intégrés spécialisés

Pour la réalisation des capteurs de température, il existe des circuits intégrés fort pratiques, spécialisés pour cet usage (si l'auteur était adepte du vocabulaire des « branchés », il dirait des circuits « dédiés »). Nous verrons plus spécialement trois d'entre eux : les LM 334, LM 335 et AD 590.

Le LM 334 ressemble à un petit transistor en boîtier TO 92, mais c'est en fait une source de courant ajustable. On le représente dans les schémas

comme le montre la figure 12 (a) (la figure 12b indique le brochage du circuit).

On doit, pour l'utiliser, connecter un résistor R entre la sortie « r » et la sortie « V- ». Le circuit maintient, aux bornes de ce résistor, une tension u, voisine de 62 mV à la température ambiante (environ 290 K).

Ce qui fait tout l'intérêt du circuit, c'est le fait que cette tension u est proportionnelle à la température absolue du circuit, à raison de 0,21 mV/K. Par ailleurs, le passage d'un courant i dans le résistor entraîne le passage d'un courant i/n dans la connexion V-, courant qui, dans le montage de la figure 12, s'ajoute au courant dans le résistor pour donner le courant total entrant par la connexion V+ et sortant par le point où arrivent le pied du résistor et la connexion V-.

Ce rapport n est compris entre 14 et 20, ce qui revient à dire que le courant total, entrant par la connexion V+, est très proche du courant passant dans le résistor R, lequel est, évidemment, u/R.

On dispose alors d'une source de courant constant (l'intensité est indépendante de la tension entre V+ et V-), l'intensité donnée par cette source étant proportionnelle à la température absolue.

Le grand intérêt de ce système est qu'il permet, par réglage de la résistance du résistor R, un étalonnage parfait. Si l'on désire, par exemple, une intensité de 1 μ A/K, il faudra prévoir dans R une intensité proche de 280 μ A à la température ambiante (u = 62 mV), ce qui revient à donner à R une valeur proche de 220 Ω . On constitue R par un résistor fixe en série avec un résistor ajustable, et l'on

peut ainsi avoir une intensité de sortie ayant le coefficient de proportionnalité que l'on désire avec la température absolue.

Avec un changement de valeur de R et un décalage de zéro, on peut avoir une intensité proportionnelle à la température en Celsius ($i = 0$ à la température de la glace fondante, négative en dessous, passant par $100 \mu\text{A}$ à la température d'ébullition normale de l'eau). On peut aussi faire en sorte que l'intensité soit proportionnelle à la température exprimée en degrés Fahrenheit.

Précisons que, accessoirement, la notice du LM 334 décrit comment on peut compenser le coefficient de température de la tension u (avec une diode extérieure), pour avoir une source de courant indépendante de la température. Mais nous ne détaillerons pas ce montage ici, car c'est son emploi en thermomètre qui nous intéresse.

Evidemment, comme dans presque tous les capteurs de température, il faut faire attention à la dissipation de puissance dans le capteur. On choisira donc, de préférence, une intensité assez faible (il vaut mieux, par exemple, $1 \mu\text{A/K}$ que $5 \mu\text{A/K}$), et on fera fonctionner le montage sous une tension aussi faible que possible, puisqu'il maintient une intensité constante à partir de 1 V à ses bornes.

Le circuit AD 590

Le circuit AD 590 présente une certaine analogie avec le LM 334, car il s'agit d'une source de courant. Mais il a, pour l'utilisateur, l'avantage de ne nécessiter aucun réglage. L'ajustage du résistor R de la figure 12 est fait, à l'intérieur du circuit, qui n'a que deux connexions de sortie.

Il donne donc directement, sans aucun réglage, un courant constant de $1 \mu\text{A/K}$. C'est un petit circuit, dans un boîtier assez spécial, plat, d'environ 1 mm d'épaisseur et qui a une forme rectangulaire de 5 x 9 mm. Il est réalisé par Analog Devices et constitue une solution plus rapide (mais plus onéreuse) pour la réalisation d'un capteur de température précis, ne nécessitant aucun réglage.

En général, ces capteurs fonctionnent

comme des sources de courant (le LM 334 et le AD 590) sont utilisés pour produire, aux bornes d'un résistor, une tension, que l'on utilisera dans un ensemble électronique, par exemple pour l'appliquer à l'entrée d'un convertisseur analogique-numérique.

Donc, même si le capteur lui-même n'est pas étalonné rigoureusement à $1 \mu\text{A/K}$ (par exemple), on pourra toujours ajuster la sensibilité du thermomètre réalisé avec lui, en modifiant légèrement la valeur de résistance du résistor dans lequel on envoie le courant du capteur.

Le circuit « référence de tension »

Un autre circuit intégré très peu coûteux et d'emploi facile comme capteur de température est le LM 335. Cette fois, il ne s'agit plus d'une source de courant mais d'une source de tension. Ce circuit, ayant lui aussi trois fils, analogue également à un transistor en boîtier TO 92, se comporte donc, si on laisse en l'air le fil « ajustage », comme une diode Zener de 3 V.

On le représente comme l'indique la figure 13a, le brochage du circuit étant indiqué sur la figure 13b. Le fil « AJ », permettant un petit ajustage de la tension stabilisée par le circuit, se comporte comme s'il arrivait, via un résistor d'une résistance de $50 \text{k}\Omega$ environ, sur une force contre-électromotrice de l'ordre de 1,4 V.

On modifie légèrement la tension que stabilise le circuit en appliquant sur cette connexion « AJ » le curseur d'un potentiomètre P, monté en parallèle avec la « diode Zener ». Suivant la po-

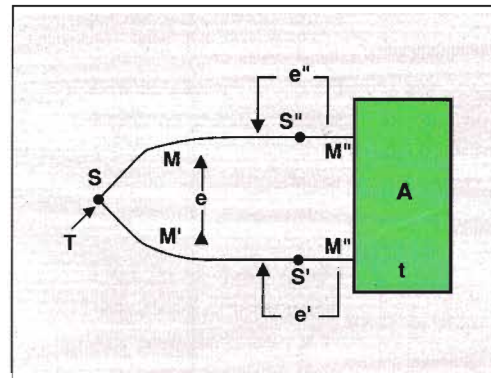


Fig. 14. – Le thermocouple T fournit une tension e fonction de la température T de la source S. Mais les « soudures parasites », S' et S'' , viennent gêner la mesure de e .

sition du curseur de ce potentiomètre, la tension varie de 2,6 à 3,6 V.

Jusqu'ici, on ne voit pas très bien comment tout cela va donner un capteur de température. La réponse est tout simplement que la tension stabilisée par cette « diode Zener ajustable » est proportionnelle à la température absolue.

Donc si, à la température de 20°C (293 K), on a réglé le curseur de P pour que la tension aux bornes du circuit soit 2,93 V, le tout est étalonné, donnant une tension de 10 mV/K et permettant une détermination de température.

La résistance interne de cette « diode Zener ajustable » est remarquablement faible, puisque, pour une intensité envoyée dans le circuit variant entre 2 et 22 mA, nous n'avons relevé que 3 mV de variation de la tension aux bornes du circuit.

Pour ce circuit aussi, la notice indique comment on peut, en lui ajoutant quelques composants passifs et une diode, annuler sa sensibilité à la température, pour en faire une bonne « diode Zener réglable », mais nous ne développerons pas ce mode d'emploi, puisque l'application qui nous intéresse est justement la réalisation d'un capteur de température.

Le thermocouple

Il existe un autre capteur de température assez intéressant, surtout pour les hautes températures : le thermocouple. Il utilise le fait que, quand on soude ensemble deux métaux, M et M', et que l'on chauffe cette soudure, il apparaît, entre les deux métaux, une tension qui varie en fonction linéaire de la température de leur soudure. On emploie comme métaux, par exemple, du platine pur pour M et du platine iridié (alliage de platine et d'iridium) pour M', ou des alliages comme le « chromel » pour M et l'« alumel » pour M'. Tout cela semble idéal, mais l'utilisation n'est pas facile car, en premier, la tension développée sur la soudure est très faible (une fraction de millivolt par degré).

Ensuite, sa mesure va poser quelques problèmes. En effet, considérons (fig. 14) l'appareil A (ou le montage électronique) chargé de mesurer la tension e . Nous admettrons que ses deux connexions d'entrée sont réalisées avec le même métal M''. Il va y avoir, en plus de la soudure « active » S (dont on veut connaître la température), deux autres « soudures » indésirables, S' et S''.

Ces deux « soudures » vont introduire des tensions parasites e' et e'' . On mesurera donc une tension :

$$u = e + e' - e''$$

On peut admettre que ces deux soudures sont à la même température t , la soudure « désirée », S, étant à la température T (que nous voulons connaître). Mais les soudures parasites n'ont pas le même coefficient de température, donc le terme $e - e''$ est fonction de t .

Nous allons donc avoir une indica-

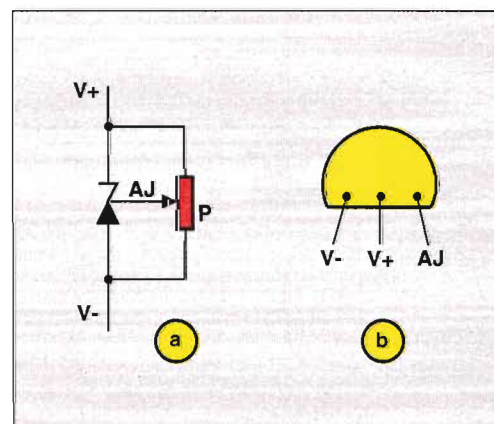


Fig. 13. – Le circuit LM 335 agit comme une « diode Zener ajustable » (a), la tension stabilisée étant proportionnelle à la température absolue. Son brochage est indiqué en (b).

tion de T entachée d'une erreur, qui est fonction de la température t. La méthode classiquement utilisée pour supprimer ce terme parasite consiste à utiliser un autre thermocouple, S₁, identique au premier (fig. 15), ayant sa soudure à une température t₀ parfaitement connue, que l'on appelle la « soudure froide », car sa température est généralement bien inférieure à celle de S.

Maintenant, les deux fils arrivant à A sont en métal M, donc les deux tensions e' et e'' sont égales, leur différence est alors nulle, quelle que soit la température t.

L'utilisation de la soudure froide, que l'on doit maintenir à une température connue et constante, complique l'emploi du thermocouple. Aussi les réalisateurs de circuits intégrés ont-ils trouvé une solution : il existe des circuits dits « compensateurs de soudure froide », dans lesquels un élément interne du circuit introduit une tension, fonction de la température du circuit (donc de t), que l'on peut ajouter ou retrancher à la tension appliquée par le thermocouple.

Une fois le réglage fait, l'influence de t est éliminée, sans avoir à recourir à la solution du double thermocouple avec une des soudures thermostatées. On utilise surtout les thermocouples pour des mesures de température élevées, dans les fours industriels, par exemple. La soudure se trouve au bout d'une sorte de « canne » en céramique.

On a ce que l'on nomme une « canne pyrométrique », que l'on enfonce dans le four par une petite ouverture appropriée.

Les pyromètres

Pour aller encore plus haut dans l'échelle des températures, il faut renoncer aux capteurs décrits ci-dessus. Dès que l'on dépasse 1 500 °C, il est préférable de faire appel à des mesures utilisant le rayonnement.

Quand on parle de rayonnement, on sous-entend toujours qu'il s'agit de l'énergie rayonnée par un « corps noir » parfait, c'est-à-dire par un corps qui peut absorber intégralement toute l'énergie rayonnée qu'il reçoit, sans en renvoyer si peu que ce soit. Il s'agit

d'un produit idéal, mais dont on peut se rapprocher.

On réalise quelque chose qui se comporte presque comme un corps noir parfait en utilisant un corps creux (fig. 16), si possible tapissé d'une substance à faible pouvoir réflecteur, et surtout ayant une ouverture petite par rapport à la taille de la cavité. Ainsi, un rayonnement entrant par l'ouverture, peu réfléchi (et dans toutes les directions) par le revêtement interne, va, en grande partie, après rediffusion, rencontrer de nouveau la surface intérieure de la cavité.

Si, par exemple, cette surface renvoie sous forme diffuse, dans toutes les directions, 10 % du rayonnement reçu, une partie très faible de ces 10 % va repasser par le trou, la majeure partie va atteindre un autre point de la surface intérieure, qui en absorbera de nouveau 90 %.

C'est un peu ce qui se passe dans l'œil humain, par exemple, et c'est pourquoi la pupille paraît si « parfaitement noire ».

Les pastellistes ont une « craie » spéciale d'un noir très intense, qu'ils nomment la « sauce Hubert ». Ils ne l'utilisent que pour tracer la pupille de l'œil dans un portrait.

Le rayonnement total

La loi dite « de Stefan » précise que l'énergie totale (dans toutes les longueurs d'ondes) rayonnée par un corps noir parfait à la température absolue T est proportionnelle à la quatrième puissance de T.

Précisons que le rayonnement d'un corps « gris », plus facile à réaliser, est assez analogue à celui du corps noir, ce qui permet tout de même des applications réalisables.

On va donc, si l'on veut utiliser cette loi du rayonnement, capter une partie définie de l'énergie rayonnée par une petite surface prise à l'intérieur de l'ouverture de la cavité qui constitue le corps noir (ou gris).

On le fera, par exemple, avec une cellule photoélectrique, ou tout autre capteur adéquat. La mesure est assez délicate : la position du capteur par rapport au corps noir intervient, ainsi que l'absorption éventuelle par un milieu interposé entre le corps noir

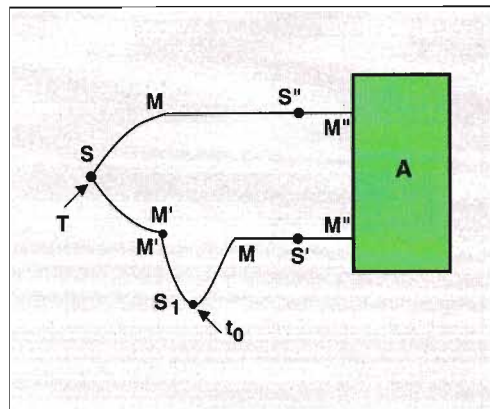


Fig. 15. – Avec un second thermocouple S₁, identique au premier et maintenu à une température constante t₀, on peut éviter l'effet parasite mis en évidence sur la figure 14.

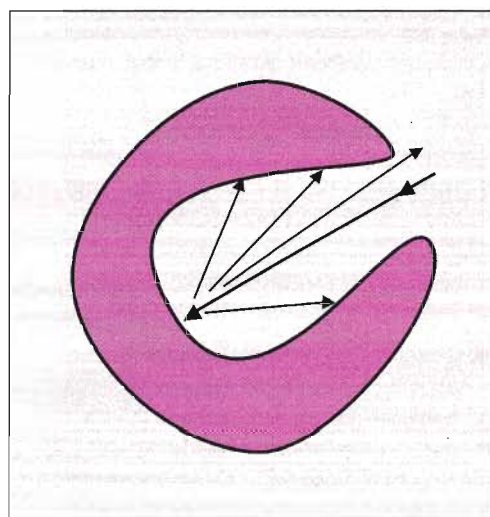


Fig. 16. – Un « corps noir » ne réfléchit pratiquement rien de ce qu'il reçoit. On s'en approche en réalisant une cavité, de grande taille, percée d'un petit trou, tapissée d'une substance qui réfléchit peu l'énergie reçue.

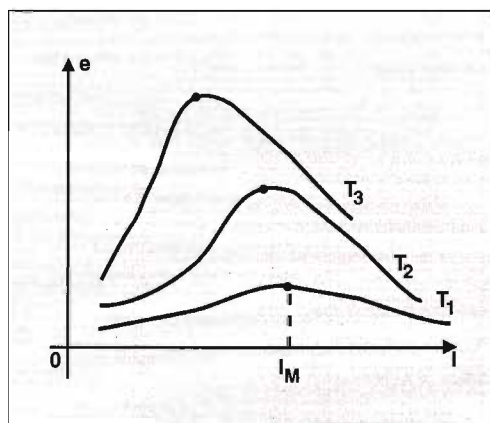


Fig. 17. – Si l'on trace la courbe donnant, pour une température T₁, l'énergie rayonnée par un corps noir en fonction de la longueur d'onde de la radiation qui transporte l'énergie, on voit qu'il y a une longueur d'onde l_M qui correspond au maximum d'énergie rayonnée. Pour des températures plus élevées, ce maximum se déplace vers les courtes longueurs d'ondes.

et le dispositif de mesure de l'énergie rayonnée.

Cette « pyrométrie totale » est donc délicate, mais couramment pratiquée, avec une précision correcte.

Couleurs « froides » et « chaudes »

On peut faire mieux, en utilisant une autre loi du rayonnement. Supposons que l'on trace (fig. 17) la courbe indiquant la répartition de l'énergie

rayonnée en fonction de la longueur d'onde l, on voit qu'il y a une certaine longueur d'onde, l_M, pour laquelle l'énergie rayonnée est maximale.

Ce tracé étant fait à une température T₁, on le recommence pour une température T₂ supérieure à T₁, puis pour T₃ supérieure à T₂. On constate que la longueur d'onde l_M se déplace vers les valeurs faibles au fur et à mesure que la température augmente. La seconde loi du rayonnement dit que le produit de l_M par la température absolue est constante.

Donc, un corps très chaud rayonne

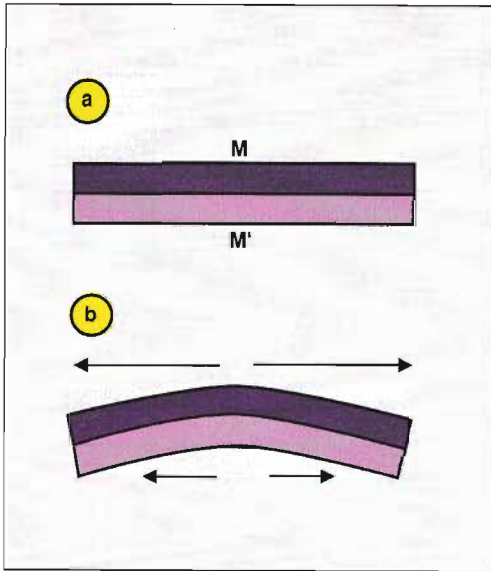


Fig. 18. - Un bilame est fait (a) de deux métaux dont les coefficients de dilatation sont différents. Quand on le chauffe (b), si M se dilate plus que M', le bilame s'incurve.

surtout dans le bleu (courtes longueurs d'ondes), alors qu'un corps moins chaud rayonne plus dans le rouge et l'infrarouge (longueurs d'ondes plus grandes).

On le vérifie facilement de la manière suivante. Une diapositive ratée (toute noire) constitue un bon filtre pour arrêter la lumière visible et laisser passer l'infrarouge. Si l'on place sa main à une certaine distance au-dessous d'une lampe à incandescence, on sent le rayonnement émis. L'interposition de la diapositive-filtre ne diminue guère la sensation de chaleur, car la lampe rayonne surtout dans l'infrarouge (malheureusement pour l'utilisateur et heureusement pour l'EDF !). En exposant la main à la lumière émise par le soleil (beaucoup plus chaud que la lampe), on sent aussi le rayonnement, mais l'interposition de la diapositive-filtre le diminue très nettement. Le soleil, plus chaud, rayonne moins de puissance dans l'infrarouge que ne le fait la lampe.

Il est curieux de constater que les couleurs appelées généralement « chaudes » (rouge, orange) correspondent à une lumière émise par des corps beaucoup moins chauds que ceux qui émettent des couleurs dites « froides » (bleu). Par exemple, l'étoile Rigel (constellation d'Orion), qui est bleue, est beaucoup plus chaude que l'étoile Bételgeuse (de la même constellation), qui est rouge.

Pour utiliser ce phénomène, on reçoit la lumière émise par un corps noir (ou qui s'en rapproche), amené à la température que l'on veut connaître, et

l'on mesure le rapport de la partie rouge à la partie bleue de la lumière reçue.

Il s'agit alors d'un « pyromètre de rapport », qui n'est plus influencé par la position de l'appareil par rapport au four ni par une absorption éventuelle entre le corps noir et l'appareil en question, dans la mesure, évidemment, où l'absorption n'est pas « sélective », absorbant, par exemple, plus le rouge que le bleu.

Les bilames

Il ne s'agit pas ici de véritables capteurs, au sens usuel du terme, ni de moyens électroniques, mais il nous a semblé important de dire quelques mots de ces instruments, pour que notre liste de capteurs de température soit un peu plus complète.

Un bilame est fait de deux tôles minces, fixées l'une contre l'autre (fig. 18a). Le métal M, qui constitue la tôle du haut, se dilate plus que le

métal M', si l'on chauffe le tout, la différence de dilatation se traduit par une incurvation du bilame (fig. 18b). Pour en faire un capteur de température, il faut que la déformation du bilame commande, par exemple, un contact. Comme la déformation est de petite amplitude, mais faite avec une force élevée, on l'utilise pour commander un dispositif mécanique qui s'apparente, par son principe, au trigger de Schmitt. Le dispositif, doué d'hystérésis, provoque un déplacement brusque d'une tige quand le bilame passe par une forme donnée. Il existe aussi des bilames « bistables », sous forme de rondelles qui s'incurvent brusquement dans un sens ou dans l'autre à des températures données.

Systèmes utilisant une pression

On rencontre souvent, surtout dans les thermostats des machines à laver, un dispositif assez ingénieux dont le principe est expliqué sur la figure 19. L'ampoule A contient, par exemple, un liquide en contact avec sa vapeur uniquement, sans air. La pression de la vapeur est alors fonction de la température du liquide, et cette pression, au-delà d'une température donnée, peut, étant appliquée à la membrane M, vaincre la force du ressort S, dont on peut régler la tension par la vis de réglage V. Quand la membrane se déplace, elle actionne un contact C.

On remplace quelquefois le liquide dans l'ampoule par un composé solide (par exemple, un hydruure), qui peut se dissocier et pour lequel le gaz

résultant de la dissociation a une pression fonction de la température. L'avantage d'un tel thermostat est que l'on peut régler, par la vis V, la température à laquelle la déformation de la membrane commande l'ouverture du contact C.

Et les autres systèmes

Le sujet des capteurs de température est tellement vaste qu'il est hors de question de le traiter d'une façon exhaustive. Nous citerons, entre autres, le thermomètre à contact, dans lequel la colonne de mercure établit un contact quand elle arrive en un point donné.

Le contact en question ne doit agir que sur un circuit non-inductif, véhiculant un courant maximal très faible (en général, une base de transistor ou une gâchette de thyristor). Ce thermostat présente l'avantage de ne pas présenter d'hystérésis, contrairement à la majorité des dispositifs thermométriques à contact.

Nous terminerons par un type de capteur qui, fait assez exceptionnel dans cette famille, ne perturbe absolument pas la température. Il s'agit d'un cristal de quartz dont la fréquence d'oscillation dépend de la température. On sait que le coefficient de température de la fréquence à laquelle résonne une lame taillée dans un cristal de quartz dépend de la direction de la coupe par rapport aux axes du cristal. Généralement, pour réaliser des étalons de fréquence, on cherche une orientation de coupe optimale, qui minimise le coefficient.

Mais, si l'on a volontairement coupé la lame dans une direction telle que la fréquence d'oscillation soit notablement affectée par la température, il suffit de faire osciller la lame (ce qui ne dégage aucune chaleur) et de mesurer la fréquence pour connaître la température de la lame.

C'est probablement ainsi que l'on réalise les thermomètres scientifiques les meilleurs.

Comme nous l'avons dit, il y aurait encore une foule de dispositifs permettant de repérer une température par voie électronique, mais leur énumération serait fastidieuse.

J.-P. Ehmichen

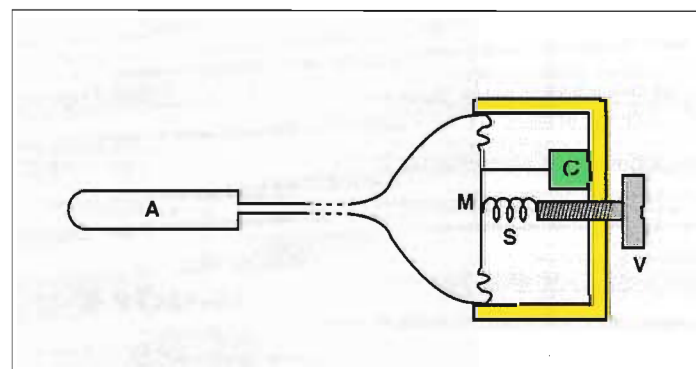


Fig. 19. - L'ampoule A contient, par exemple, un liquide en équilibre avec sa vapeur, dont la pression est fonction de la température. Cette pression agit sur la membrane M et coupe le contact C.