

# LE GÉNIE CIVIL

REVUE GÉNÉRALE HEBDOMADAIRE DES INDUSTRIES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Abonnement annuel : France et Colonies, 480 fr. — Étranger : pays à tarif postal réduit, 230 fr.; autres pays, 280 fr. — Le numéro : 8 fr.

Administration et Rédaction : 5, rue Jules-Lefebvre, Paris (9<sup>e</sup>).

**SOMMAIRE.** — **Sciences** : Actinométrie et applications de la chaleur solaire. Le chauffage d'appoint des habitations par l'eau chauffée par le soleil, p. 25; Dr Maurice D'HALLUIN. — **Métallurgie** : Les principaux produits métallurgiques de remplacement, p. 30; Léon GUILLET. — **Chemins de fer** : Les économies de matières ferreuses et d'énergie procurées par la soudure en construction ferroviaire, p. 33; Robert BLAIS. — **Études économiques** : Le problème du charbon au Japon et dans sa sphère d'influence, p. 36. — **Variétés** : Nouveaux types de wagons pour chargements exceptionnels de la S. N. C. F., p. 38; — Un nouveau stroboscope de laboratoire. Décharges électriques commandées par un tube thyatron, p. 39; Louis SACKMANN; — La mécanisation du travail dans les

chantiers d'abatage des houillères de la Ruhr, p. 40; — Le développement des emplois du gaz de ville en Allemagne, p. 40; — La fixation de l'indemnité d'expropriation par la Commission d'évaluation, p. 41; Achille MESTRE; — Les moyens d'étude des lubrifiants de remplacement, p. 42.

**SOCIÉTÉS SAVANTES ET INDUSTRIELLES** : Académie des Sciences (15, 22 et 29 décembre 1941), p. 43; — Société des Ingénieurs civils (9 janvier 1942), p. 45.

**BIBLIOGRAPHIE** : Revue des principales publications techniques, p. 45; — Ouvrages récemment parus, p. 38.

**ANNONCES** : Informations diverses.

## SCIENCES

### ACTINOMÉTRIE ET APPLICATIONS DE LA CHALEUR SOLAIRE

#### Le chauffage d'appoint des habitations par l'eau chauffée par le soleil (1).

De multiples essais, et certains d'entre eux remontent à la plus haute antiquité, ont été réalisés pour utiliser la chaleur solaire. Les plus probants appartiennent à la période contemporaine et quelques-uns ont été décrits dans le *Génie Civil*. Considérant les résultats ainsi obtenus, nous avons pensé à la possibilité d'obtenir dans les régions très ensoleillées du midi de la France (particulièrement dans la région de Nice) un chauffage au moins partiel des habitations, en utilisant des appareils de grande surface où l'eau serait échauffée par le rayonnement solaire.

Nous légitimerons le bien-fondé de ces divers usages en nous appuyant sur les données de l'actinométrie. Un chapitre se rapportant à cette science suivra l'exposé des principales utilisations de la chaleur solaire, précédant l'application proposée pour le chauffage des appartements.

#### Réalisations diverses. — Rappelons d'abord que, voulant

s'assurer de la possibilité de l'exploit légendaire d'Archimède qui aurait incendié la flotte romaine devant Syracuse, Buffon aménagea dans un châssis rectangulaire 360 petites glaces mobiles, de façon à permettre de concentrer les rayons solaires sur une surface restreinte. En 1747, il réussit à enflammer une planche, et même à fondre l'étain et l'argent. Ces expériences

ont été évoquées dans le *Génie Civil* des 13-20 septembre 1941, à propos de la fusion des métaux par la chaleur solaire, et nous nous bornons à les rappeler ici.

*La cuisine au soleil.* — Des résultats similaires furent obtenus en 1869 par Mouchot. Il fit, d'autre part, bouillir de l'eau dans un récipient métallique noirci et muni d'un couvercle, placé à l'intérieur d'un bocal en verre où cuisait avec ses légumes un excellent pot-au-feu. Son réflecteur, d'une ouverture de 0,5 m<sup>2</sup>, était d'abord en fer-blanc, puis en métal plaqué d'argent.

Le même réflecteur lui servit à rôtir de la viande, mais elle avait mauvais goût. Le fait est dû à l'action des rayons ultraviolets sur les graisses. On éviterait cet inconvénient par l'interposition d'un verre approprié. Un autre réflecteur de Mouchot avait 5 mètres de longueur et 0<sup>m</sup>50 seulement de hauteur; il suffisait à faire bouillir en 35 minutes 5 litres d'eau prise à 10°.

Dans ces dernières années, M. Abbot a réalisé à l'Observatoire du Mont Wilson, en Californie (latitude 34°, altitude 1 742 mètres), une cuisinière solaire dont voici les caractéristiques. Le réflecteur est un miroir cylindrique à section parabolique de 3 m × 2<sup>m</sup> 10 (1), en feuilles d'aluminium. Son pouvoir réflecteur est de 77 % pour la

chaleur solaire. Le support du miroir est commandé par un mouvement d'horlogerie qui l'oriente constamment vers le soleil.

Un tube métallique noirci contenant de l'huile est placé sur la droite focale du miroir. Protégé contre le refroidissement par un tube de verre, il alimente en huile chaude un four où l'on fait cuire les aliments.

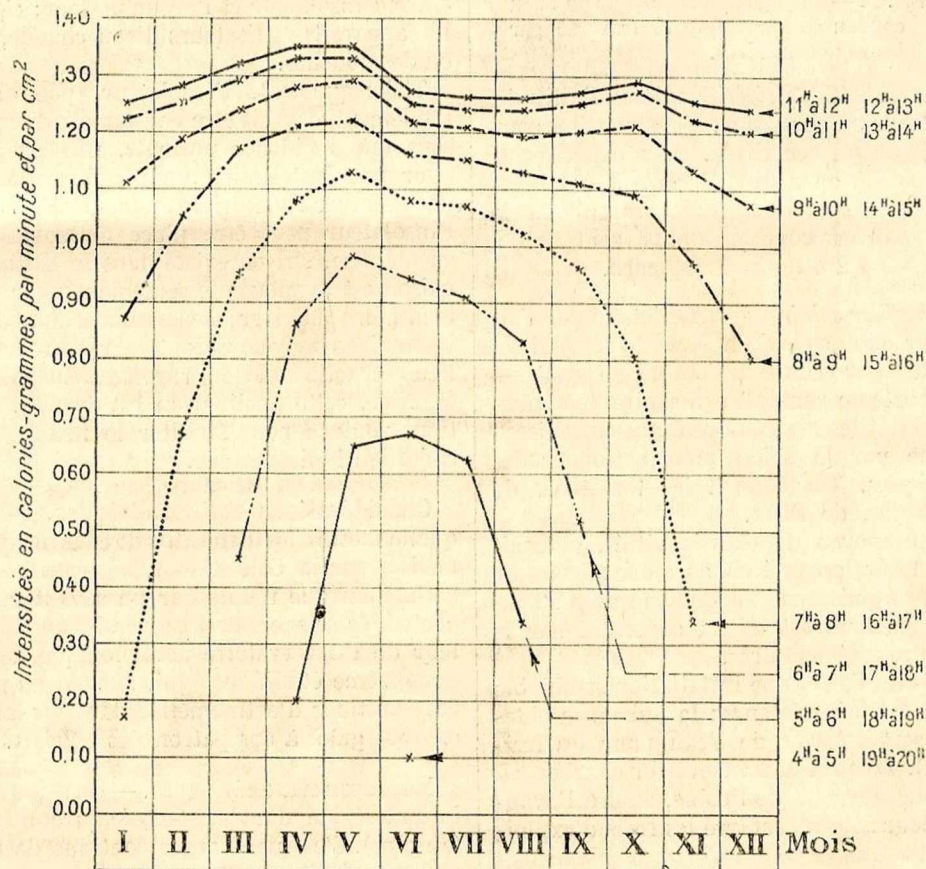


FIG. 1. — L'UTILISATION DE LA CHALEUR SOLAIRE EN APOINT POUR LE CHAUFFAGE CENTRAL : Quantité de chaleur (en calories-grammes par minute et par centimètre carré) reçue par une surface normale aux rayons solaires, à Nice, aux différents mois de l'année et aux différentes heures de la journée.

(1) Résumé d'une conférence faite à la Faculté libre de Médecine de Lille, le 9 septembre 1941.

(1) Cette surface de 6 m<sup>2</sup> peut, sous l'incidence normale, recueillir et concentrer probablement plus de 9 000 grandes calories par mètre carré et par jour.

Une lame de verre recouvre l'ensemble constitué par le miroir et le récepteur cylindrique. Divers perfectionnements, dont un manchon de verre Pyrex autour du récepteur (manchon à double paroi dans lequel on a fait le vide), ont permis de porter de 130° à 150°, puis à 175°, l'huile envoyée du récepteur dans le four où se fait la cuisson des aliments.

La lame de verre de recouvrement laisse passer 85 % de la chaleur solaire, le manchon entraîne une perte de 15 %. L'orientation imparfaite du miroir diminue la recette de chaleur de 15 %. Le tube métallique noirci absorbe 95 % de la chaleur reçue. M. Abbot estime que la fraction de la chaleur solaire utilisée est de 25 % seulement, mais qu'en supprimant différentes causes de pertes, on pourrait doubler le rendement.

La distillation de l'eau par la chaleur solaire a été obtenue en 1912 par Wilson dans une caisse en bois noircie dont le couvercle est un verre plan incliné. A l'intérieur de la caisse, une cuve métallique plate et noircie contient l'eau à distiller; la vapeur d'eau ainsi dégagée se condense sur le couvercle en verre, formant paroi froide (1). L'eau condensée suit la pente et rencontre une rigole collectrice qui l'évacue dans un réservoir. Ce système, représenté très schématiquement sur la figure 2, est employé depuis plus d'un demi-siècle sur une très vaste échelle aux exploitations de nitrates de Salinas (Chili), à 1 400 mètres d'altitude, pour fournir de l'eau potable au personnel. L'installation comprend 4 800 mètres carrés de surface vitrée. On a expérimenté aussi le système en Tunisie où on a distillé de 2 à 4,6 litres d'eau par jour et par mètre carré d'insolateur suivant la saison, alors que les chiffres correspondants sont 0,3 à 3,3 litres pour Paris et 0,8 à 4,2 litres pour Monaco.

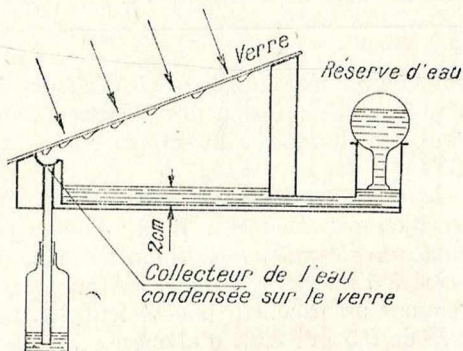


FIG. 2. — Principe de la collecte de l'eau condensée sur un verre traversé par les rayons solaires.

**Action mécanique de la chaleur solaire.** — La dilatation de l'air chauffé par le soleil, sa rétraction sous l'influence du refroidissement nocturne ou provoquée par la mise à l'ombre du système, permet de constituer une sorte de pompe à eau aspirante actionnée par le soleil; citons plutôt les réalisations faites en utilisant la vapeur d'eau obtenue par le soleil pour actionner des machines thermo-dynamiques. On connaît les tentatives de Mouchot, de Wilsie et Boyle, de Pifre.

En 1910, Schumann, au moyen de châssis vitrés, obtenait de la vapeur d'eau pouvant développer 1 ch, avec une surface de verre de 26 m<sup>2</sup>. Cette même puissance est obtenue avec 23 m<sup>2</sup> seulement quand le rayonnement est mieux concentré sur le récipient par des miroirs supplémentaires.

A l'usine de Meadi, près du Caire, une installation semblable couvre 1 200 m<sup>2</sup> et comprend 5 insolateurs; la puissance obtenue est de 70 ch. Elle sert à élever de l'eau pour les irrigations (culture du coton). Le prix assez élevé du charbon en Égypte, à l'époque de l'aménagement de l'usine, assura l'avantage économique à la chaleur solaire, malgré les frais d'exploitation qu'elle exigeait. Cet avantage est certainement bien supérieur aujourd'hui, vu les prix actuels de la houille et la difficulté de s'en procurer.

D'autres essais ont eu lieu récemment en Libye, l'énergie obtenue devant être utilisée pour des travaux agricoles.

Il faut signaler, d'autre part, les utilisations mécaniques indirectes de l'énergie solaire.

La tentative de MM. Claude et Boucherot pour l'utilisation de l'énergie thermique des eaux des mers chaudes est encore dans toutes les mémoires, et le *Génie Civil* en a parlé assez souvent pour que nous n'y revenions pas ici.

(1) Le verre, en effet, ne s'échauffe pas sensiblement quand il est traversé par la chaleur lumineuse pour laquelle il est transparent. Au contraire, il est opaque pour la chaleur obscure. C'est sur cette propriété qu'est fondé le fonctionnement des serres qu'elles soient chauffées intérieurement (serres chaudes) ou chauffées simplement par le soleil (serres froides).

M. Gandillon a proposé d'utiliser l'évaporation de grandes surfaces liquides pour créer artificiellement des différences de niveau, soit entre deux lacs, soit entre l'un d'eux et le niveau de la mer. On provoquerait ainsi une chute artificielle capable d'alimenter des turbines (voir, à ce sujet, le *Génie Civil* du 25 juillet 1925, p. 92, et du 27 février 1932, p. 224, ainsi que les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 6 juillet 1925).

**Utilisation directe de l'eau chauffée par le soleil.** — Il ne paraît pas nécessaire, pour de l'eau destinée au chauffage, d'utiliser des réflecteurs et c'est une grande simplification. Citons toutefois la réalisation du médecin général Pasteur.

Envoyé en mission, en 1931, à Colomb-Béchar, dans le Sud-Oranais, il expérimenta des appareils à réflecteurs qu'il avait imaginés et qui sont particulièrement simples. Ils lui fournirent des bains à 37°, ou 30 litres d'eau à 90° ou encore 200 litres à 40°. D'autres fois, l'eau chaude servait pour la cuisine d'une compagnie de tirailleurs. Toutefois, pour achever la cuisson il fallait terminer par un chauffage au bois de courte durée.

Signalons aussi les réalisations d'une société française, la Thermique naturelle, qui a son siège à Bordeaux, et qui exploite les procédés de M. Stolpner. Elle a réalisé industriellement un dispositif de chauffage de l'eau, dénommé Insol, qui a été décrit par M. Gendron dans le *Génie Civil* des 22-29 juin 1940. L'insolateur est constitué ici par un faisceau tubulaire plat et noirci qui est protégé contre le refroidissement dû au vent, par une vitre, et placé à l'extérieur d'un bâtiment. Le tout est relié par deux canalisations à un autre réservoir surélevé, situé à l'intérieur du bâtiment, bien calorifugé, et formant accumulateur. La circulation d'eau forme thermosiphon entre l'insolateur et l'accumulateur; c'est celui-ci qui alimente les appareils utilisateurs d'eau chaude, par exemple des bains ou des douches.

Théoriquement, l'insolateur, pour avoir le maximum de rendement, devrait être constamment exposé aux rayons solaires sous une incidence normale, mais ce système serait coûteux pour une installation un peu importante, puisqu'il exigerait une monture équatoriale en mouvement constant. Pratiquement, l'insolateur peut être placé horizontalement sur une toiture en terrasse, s'il en existe dans le bâtiment, mais cette combinaison est avantageuse seulement pour l'été. La recette serait bien faible en hiver; il vaut mieux alors donner au récepteur une inclinaison moyenne dont la valeur dépend de la latitude du lieu et telle que le rayonnement soit normal en décembre (à Nice, cette inclinaison est de 67°). On prend les dispositions voulues pour faciliter le nettoyage du verre protecteur, condition indispensable.

**Considérations actinométriques.** — Pour rechercher dans quelle mesure les dispositifs de chauffage de l'eau pourraient être utilisés sur la Côte d'Azur, nous utiliserons la documentation actinométrique réunie par un savant polonais, M. Gorczynski, docteur ès sciences de l'Université de Montpellier, ancien directeur de l'Observatoire actinologique de Varsovie. Nous avons nous-même étudié avec lui, surtout au point de vue médical (1), ces questions d'actinométrie dans un laboratoire fondé à Nice en 1931 grâce à des patronages officiels.

**MESURES ACTINOMÉTRIQUES.** — On sait que le soleil est une masse incandescente dont la température est de l'ordre de 6 000° (absolus). C'est une source continue de radiations infrarouges, visibles et ultraviolettes. Les diverses radiations ont chacune leurs propriétés spécifiques, mais toutes sont une source d'énergie calorifique (2). L'évaluation de celle-ci est une commune mesure utilisable pour les unes et les autres.

On a déterminé la valeur calorifique du rayonnement solaire à la limite de l'atmosphère. Cette valeur, dite « constante solaire », étant fonction de la distance entre le soleil et la terre,

(1) Dr Maurice D'HALLUIN : Facteurs à déterminer dans la cure solaire (*Semaine des hôpitaux de Paris*, février 1-29, et 15 mars 1932); — Avantages biologiques et matériels du climat solaire de la Côte d'Azur (*Art médical*, 15 sept. 1937); — De la nécessité d'étudier méthodiquement le rayonnement solaire (*Riviera scientifique*, 1933, n° 1); — Partie physique et biologique du Traité d'héliologie et d'actinologie, publié sous la direction de Brody, Paris 1938, Maloine, éditeur.

(2) L'énergie calorifique de l'ultraviolet est inappréciable quand elle s'ajoute à celle de l'ensemble du spectre. Ceci n'empêche pas la prépondérance de son action chimique et biologique.

passer par un maximum l'hiver et un minimum l'été. D'après les travaux du savant américain Abbot, sa moyenne est de 1,94 calorie-gramme par minute et par centimètre carré. Du fait de la traversée atmosphérique, le rayonnement solaire nous arrive avec une intensité réduite. On évalue à 10 kilomètres l'épaisseur de l'atmosphère ramenée à la pression normale et à la température de zéro. Par conséquent, du fait des variations de hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, la traversée atmosphérique est plus ou moins longue et la réduction de l'intensité du rayonnement est plus ou moins considérable.

Cet affaiblissement a pour cause la dispersion moléculaire, mais une partie des pertes se retrouve sous la forme de rayonnement diffusé. Il faut considérer en outre une absorption sélective, qui s'exerce pour l'ultraviolet par l'ozone et pour l'infrarouge par la vapeur d'eau.

Le graphique (fig. 4) montre les variations, à Nice, de l'intensité du rayonnement solaire direct aux diverses heures de la journée et suivant les saisons. A l'incidence normale, les maxima varient peu, l'hiver ou l'été; la réduction est, au contraire, considérable à l'époque où le peu d'élévation du soleil au-dessus de l'horizon fait que les rayons solaires doivent traverser une plus grande épaisseur de l'atmosphère. On peut pratiquement compter utiliser sur la terre en moyenne 1 calorie-gramme,  $\text{cm}^2$ -minute.

Si, au lieu d'une moyenne, on considère les maxima à l'incidence normale, on peut recevoir et utiliser 4,44 calorie-gr,  $\text{cm}^2$ -mn pour les plaines de l'Europe centrale. La recette de chaleur augmente naturellement avec l'altitude.

Si on étudie l'influence de la position géographique, on voit

aussi les maxima augmenter d'une façon progressive en approchant de l'équateur. La traversée atmosphérique y est plus courte, le soleil montant plus haut au-dessus de l'horizon. Toutefois, si, dans les régions équatoriales, on mesure l'intensité du rayonnement solaire, pour une hauteur du soleil de  $42^\circ$  au-dessus de l'horizon, on trouve un chiffre plus faible que celui observé dans nos régions pour une même hauteur du soleil. Ce fait est dû à l'absorption d'une partie du rayonnement infrarouge par l'humidité atmosphérique.

S'il faut tenir compte de la traversée atmosphérique, il faut considérer aussi l'orientation de la surface réceptrice : il est évident qu'un faisceau, frappant obliquement une surface, s'y étale, au lieu de concentrer l'énergie qu'il transporte.

Les intensités du rayonnement recueillies par une surface normale aux rayons solaires sont toujours supérieures à celles recueillies par une surface horizontale ou verticale. Pour une surface horizontale, la différence est plus accentuée l'hiver que l'été. Pour une surface verticale, la différence est moins accentuée l'hiver que l'été.

**LA TECHNIQUE ACTINOMÉTRIQUE.** — Trop de gens s'imaginent être renseignés sur l'ardeur du soleil en consultant un thermomètre. Or, un thermomètre à mercure, un thermomètre à alcool coloré et un thermomètre noirci ont des pouvoirs absorbants différents; d'où une dilatation variable. Il faut aussi compter avec le refroidissement par le vent. Pour obtenir des valeurs précises, on mesure l'intensité de l'énergie solaire, dans les laboratoires spécialisés, en utilisant des méthodes calorimétriques. Connaissant la chaleur spécifique de l'eau et de la glace, on mesure l'élévation de température d'un certain volume d'eau ou la quantité de glace fondue, et on détermine la quantité de chaleur solaire reçue par centimètre carré

et par minute. Cependant, pour la pratique courante, on préfère l'usage des piles ou couples thermo-électriques.

Le pyréliomètre d'Angström (fig. 3) comprend deux lames de manganine noircies. L'une A, est exposée au soleil, l'autre B, à l'ombre. L'élévation de température de la surface exposée se traduit par la production d'un courant dans un couple thermo-électrique situé au-dessous d'elle. On fait alors passer, dans la seconde lame de manganine, un courant électrique qui, en l'échauffant, influence un autre couple thermo-électrique placé également au-dessous d'elle et monté en opposition avec le premier. Le chauffage est réglé de façon à obtenir un courant qui fournisse exactement la quantité de chaleur reçue par la surface exposée au soleil. Ce résultat est atteint quand l'aiguille du galvanomètre s'immobilise au zéro. On lit à ce moment sur le milliampèremètre l'intensité électrique fournie au circuit de chauffage. Connaissant le coefficient de l'appareil, on exprime en joules et en petites calories la valeur de l'apport calorifique nécessaire pour obtenir avec le courant un échauffement égal à celui provoqué par le soleil.

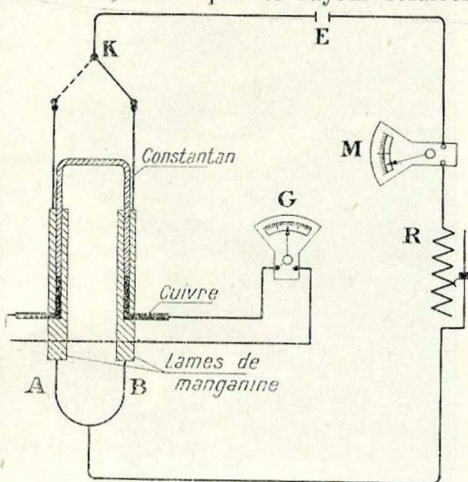


FIG. 3. — Principe du pyréliomètre d'Angström à couple thermo-électrique.

A, lame exposée au soleil; — B, lame à l'ombre; — E, source de courant; — R, rhéostat; — M, milliampèremètre; — G, galvanomètre du couple cuivre-constantan.

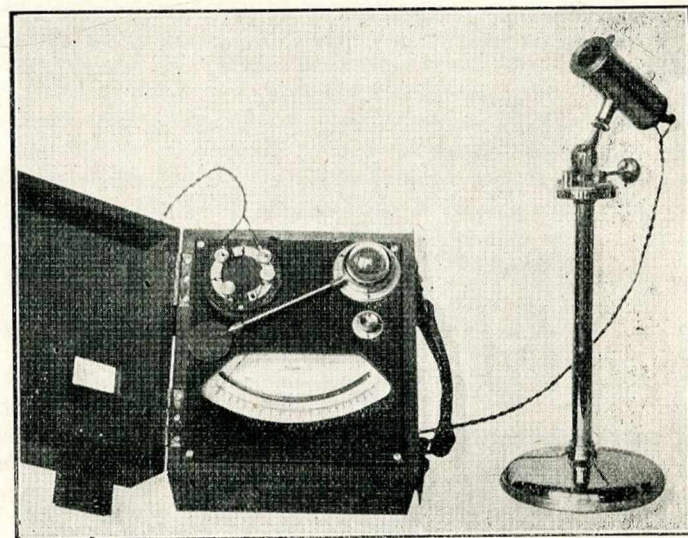


FIG. 4. — Vue de l'actinomètre de M. Gorczynski.

La boîte contient un millivoltmètre et à droite une pile thermo-électrique donnant le rayonnement global en position horizontale ou le rayonnement diffusé si on fait usage du cache-soleil couché sur le boîtier. On voit, en outre, un support à orientation variable recevant une pile munie d'un tube pyréliométrique pour l'étude du rayonnement direct et sous l'incidence normale.

Les piles thermo-électriques connectées à un millivoltmètre ont l'avantage de la simplicité. Elles ont la faveur pour les déterminations courantes. La pile de Moll est l'élément principal de l'appareillage de M. Gorczynski (fig. 4). Sa manipulation est facile; cependant, le zéro n'est pas constant et il faut prendre quelques précautions pour faire des lectures correctes et traduire en calories ou fractions de calorie le nombre de divisions lu sur la graduation du millivoltmètre.

On peut donner à la surface réceptrice noircie de la pile les orientations nécessaires aux diverses déterminations. L'appareil doit être gradué par comparaison avec un appareil absolu.

Nous avons étudié un actinomètre bimétallique compensé (1) (fig. 5 et 6), particulièrement simple et d'un prix de revient relativement minime. Il est à lecture directe et par conséquent aussi facile à consulter qu'un baromètre ou un thermomètre. Il utilise le principe de la dilatation d'un corps sous l'influence de l'énergie calorifique. Dans ce but, nous avons adopté un spiral bimétal fixé d'une part à un axe à pivot, tandis que l'extrémité libre se déplace devant une échelle quand le spiral se déroule.

Pour que son aiguille reste au zéro malgré les variations de la température ambiante, il a suffi de monter sur l'axe un second spiral identique, mais en opposition avec le premier. L'extrémité de ce dispositif compensateur se trouve fixée à la masse

(1) Voir nos publications à ce sujet :

L'actinométrie à la portée de tous. *La Nature*, 16 janvier 1939, p. 40-42;  
 Un actinomètre répondant aux besoins de l'héliothérapie. *Journal des Sciences médicales de Lille*, 7 août 1938;  
 Le rayonnement du soleil et du ciel à la mer. *Rapport au Congrès de la Mer*, à Liège, 1939.  
 Plaidoyer en faveur de l'actinométrie. *Ciel et Terre* (sous presse).

de l'appareil, si bien que sa dilatation fait tourner l'axe portant le bilame récepteur, et grâce à cet artifice, l'aiguille reste fixe quelles que soient les variations de la température ambiante. Le bilame récepteur n'est donc influencé que par les variations de température de la lame noireie, placée au-dessus de lui.

Cette surface, protégée contre le refroidissement par une double calotte de verre, est exposée au rayonnement à mesurer, et son élévation de température se traduit par le déplacement plus ou moins important de l'extrémité libre du bilame récepteur. L'échelle est graduée en calories et dixièmes de calorie; une calorie-gramme correspond à 40 millimètres de l'échelle.

Il faut attendre quelques minutes avant de faire la lecture pour qu'elle soit correcte, à cause de l'inertie du bilame; mais ce léger inconvénient est compensé par la commodité d'emploi de l'appareil.

**DÉTERMINATIONS ACTINOMÉTRIQUES (1).** — Le rayonnement global comprend celui qui nous arrive après diffusion (2) par la masse atmosphérique, et celui qui parvient directement du soleil; sa valeur, fonction de la longueur de la traversée atmosphérique, est en outre influencée par l'orientation de la surface réceptrice.

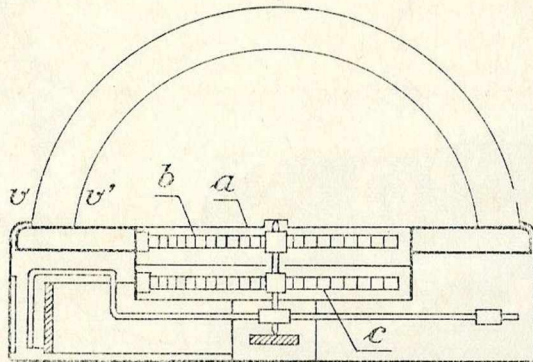


FIG. 5. — Schéma de l'actinomètre du professeur D'Halluin.

a, surface recevant les radiations; — b, c, bilames, en spirales, de sens opposés pour la compensation; — v, v', calottes de verre concentriques.

Voici la manière de se servir de notre actinomètre pour les diverses mesures :

**RÉCEPTEUR HORIZONTAL.** — 1° *Mesure du rayonnement global.* — La surface réceptrice étant placée dans un plan rigoureusement horizontal, si l'on opère dans un lieu découvert, on reçoit le rayonnement diffusé par toute la voûte céleste.

Le rayonnement venant directement du soleil frappe plus ou moins obliquement la surface réceptrice. De ce fait, les déviations seront, dans cette position, assez fortes pendant l'été et particulièrement faibles au cours de l'hiver, puisque la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon est à son minimum.

2° *Mesure du rayonnement diffusé par le ciel.* — On place sur le trajet du rayonnement direct un disque cache-soleil qui projette son ombre sur la surface réceptrice. Celle-ci reçoit alors seulement le rayonnement diffusé par la voûte céleste. Une simple soustraction permet, connaissant les rayonnements global et diffusé, de préciser l'énergie du rayonnement direct tombant obliquement sur un plan.

**RÉCEPTEUR A L'INCIDENCE NORMALE.** — 1° *Mesure du rayonnement global.* — On dispose la surface de telle façon qu'elle soit frappée normalement par le rayonnement direct. Dans ces conditions, on aura en toute saison le maximum de déviation. Le rayonnement diffusé par le ciel s'ajoutera au rayonnement direct.

2° *Mesure du rayonnement diffusé.* — L'utilisation du cache-soleil permet d'en préciser la valeur. On obtient la valeur du rayonnement direct sous l'incidence normale par simple soustraction. Il est possible toutefois que l'on ait par cette méthode un chiffre un peu trop fort.

**DÉTERMINATION DU RAYONNEMENT DIRECT SOUS L'INCIDENCE NORMALE.** — On protège la surface réceptrice au moyen d'un tube qui intercepte le rayonnement diffusé par le ciel et canalise vers elle le rayonnement direct. L'ouverture des diaphragmes du tube doit être calculée de façon à éviter de recueillir le rayonnement diffusé par la portion du ciel voisine du soleil.

(1) Les valeurs s'expriment usuellement en calories-gramme par centimètre carré et par minute; ces chiffres sont à multiplier par 60 et par 10, soit 600, si on veut exprimer en calories-kilogramme les valeurs reçues par heure et par mètre carré.

(2) La valeur du rayonnement diffusé n'est pas négligeable, puisqu'elle se chiffre par 1 à 4 et même quelquefois 5 dixièmes de calorie-gramme/cm<sup>2</sup>-min.

Il nous paraît avantageux de fixer plusieurs appareils sur une monture équatoriale qui suit constamment le soleil dans sa course. On peut alors faire des lectures à tout moment sans avoir à rectifier la position de l'appareil. C'est ainsi que nous avons utilisé simultanément un actinomètre donnant le rayonnement global à l'incidence normale, un autre donnant le rayonnement diffusé, et même un troisième démuné de calottes de verre protectrices de façon à préciser, par la diminution des recettes de calories, l'importance du refroidissement. Ces combinaisons sont utiles à considérer suivant le but visé.

Si l'on veut étudier le rendement d'une surface réceptrice, il faut donner à l'actinomètre la même orientation que cette surface.

Notre actinomètre pourrait d'ailleurs être construit sous la forme d'enregistreur; il serait toutefois d'un prix notablement plus élevé.

**Le chauffage partiel des habitations sur la Côte d'Azur.** — Les réalisations que nous avons signalées précédemment font

penser à l'utilisation de ces procédés pour le chauffage des habitations sur la Côte d'Azur. Pour légitimer cet espoir il faut établir le bilan des recettes possibles et des dépenses à envisager. Évaluons les pertes de chaleur subies par une pièce de 80 m<sup>3</sup>, pour différents écarts de température avec l'extérieur. En appliquant les coefficients de déperdition usités pour les parois, les fenêtres, les plafonds, les planchers, nous trouvons des pertes de chaleur de 5 000 calories-kilogramme

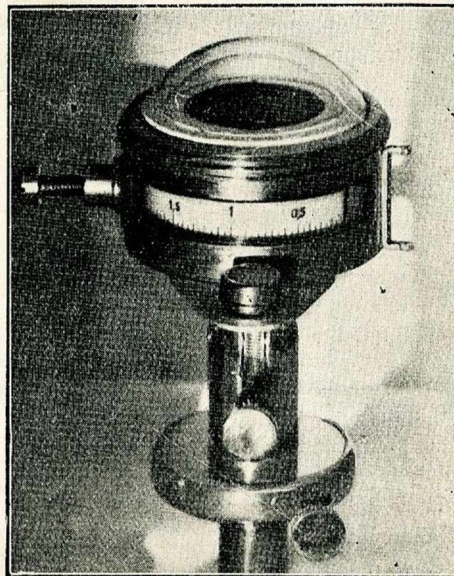


FIG. 6. — Vue de l'actinomètre du professeur D'Halluin.

par jour et par degré de différence de température, soit 75 000 calories pour une température intérieure de 20°, avec 5° à l'extérieur. Comment équilibrer ces pertes?

La moyenne des températures minima, pendant l'hiver, à Nice, est de 5° 4, celle des maxima est de 14° 8 et la moyenne générale est de 10° 2.

Adoptons l'approximation déjà signalée de 600 calories-kilogramme par heure et par mètre carré, quantité suffisante pour porter à 70° dix litres d'eau prise à la température initiale de 10°; pendant 6 heures de soleil utilisable, on échaufferait de la même façon 60 litres d'eau.

Pour un écart de 15° entre la pièce (20°) et l'extérieur (5°), nous trouvons qu'il faudrait une surface de chauffe de 5,2 m<sup>2</sup> pour couvrir les pertes de la pièce pendant 6 heures et de 20,8 m<sup>2</sup> pour les couvrir pendant 24 heures. Il faut, dans ce cas, constituer une réserve d'eau chaude pour l'utiliser après le coucher du soleil. Dans la région niçoise, la température descend rarement au-dessous de zéro et les températures basses ne durent guère; on peut donc, à la rigueur, se contenter de 15° à l'intérieur, surtout la nuit.

En réalité, l'intensité du rayonnement global atteint à Nice, pour les mois d'hiver, mais avec plein soleil, 5 000 calories-kilogramme par mètre carré et par jour, sur une surface présentant au soleil une incidence normale à midi en décembre, c'est-à-dire une surface inclinée à 67° sur l'horizontale. Toutefois, il y a lieu de tenir compte des pertes dans l'absorption et des diminutions de recettes dues à la nébulosité.

Voici d'ailleurs les chiffres moyens des recettes vraies (rayonnement global, surface incidente à 67° à Nice) obtenus durant les six mois de saison froide :

5 000 cal.-kg/jour.m <sup>2</sup> durant 6 jours 6 h.	Nébulosité 0
4 000 — — — 6 jours 5 h.	— 2/10
2 500 — — — 4 jours 2 h.	— 5/10
1 000 — — — 6 jours.	— 8/10

Pendant 17 jours, on aura un résultat à peu près satisfaisant; le reste du temps, le chauffage sera insuffisant (1).

La surface réceptrice serait constituée par une série de cellules métalliques de 2 à 3 cm d'épaisseur, contenant à l'intérieur un grand nombre de lames soudées à la surface exposée au soleil. Cet artifice faciliterait la transmission de l'échauffement de la surface réceptrice noircie, protégée par une vitre contre le refroidissement. Les autres parois de l'insolateur seraient soigneusement calorifugées. Les cellules constituant la surface de chauffe seraient réunies entre elles pour envoyer l'eau dans un réservoir calorifugé, la circulation s'établissant par thermosiphon.

Il serait avantageux de disposer tout cet ensemble sous une verrière constituant une serre qui, comme on l'a vu, empêche notablement le refroidissement. Il faut prévoir aussi la nécessité d'un nettoyage fréquent du verre qui doit rester transparent pour conserver ses propriétés et notamment sa transparence pour la chaleur lumineuse.

*L'alimentation des radiateurs.* — Dans les chauffages centraux habituels, l'eau circule par thermosiphon dans la tuyauterie. Avec le chauffage solaire, le réservoir d'eau chaude se trouve au contraire surélevé, et la réserve d'eau est à une température qu'on ne peut faire varier comme dans une chaudière ordinaire en réglant le tirage de celle-ci. Nous envisagerons donc une circulation forcée obtenue par une petite pompe mue électriquement que commanderait un thermostat placé dans la pièce. Il réglerait la vitesse de la circulation suivant les variations de la température. Un chauffage complémentaire devra naturellement être prévu pour suppléer aux déficiences du soleil.

*Réserve d'eau chaude.* — Il est facile de constituer pendant le jour une réserve d'eau chaude suffisante pour alimenter un radiateur le soir et pendant la nuit. L'idéal serait de posséder une réserve suffisante pour remédier aux pannes solaires.

Tout dépend de l'importance des pertes, car les recettes (question de surface) peuvent toujours être calculées pour porter à la température voulue n'importe quel volume d'eau.

Adoptons une déperdition de 3 calories-kilogramme par mètre carré, heure et degré d'écart de température; on trouve que 6 mètres cubes d'eau à 65° (réservoir cubique, surface latérale de 20 m<sup>2</sup>, écart de température de 50°, température ambiante de 15°) perdent spontanément, le premier jour 42°, soit environ 72 000 calories-kilogramme. Si on utilise cette eau pour fournir à une pièce 75 000 calories-kilogramme, on fait tomber la température de la réserve au voisinage de 40°. C'est un résultat à retenir, mais il n'est guère encourageant.

Avec 100 m<sup>3</sup> (mêmes conditions) l'eau tomberait de 65° au voisinage de 40° au sixième jour (2). C'est mieux, mais une réserve de 100 m<sup>3</sup> est un volume imposant! Et s'il faut prévoir une surface de chauffe pour entretenir cette réserve et une autre pour l'utilisation directe de l'énergie solaire les jours ensoleillés, c'est une complication onéreuse.

Il est néanmoins facile, dans ce cas, de maintenir à peu près constante la température de l'eau qui pourrait être chauffée dans la belle saison et recevoir du soleil plus ou moins régulièrement l'énergie suffisante pour compenser les pertes.

*Économie de combustible.* — Comment se faire une idée approximative de l'économie de charbon que procurerait le chauffage solaire? Comptons 4 000 calories par kilogramme: 18<sup>kg</sup> 7 de charbon (3) compenseraient une déperdition de 75 000 calories par jour; on économiserait donc 280 kg pour quinze jours de chauffage solaire et 1 680 kg pour la saison

(1) On trouvera le détail des chiffres indiqués à la fin de la page précédente dans notre conférence, publiée *in extenso* dans le *Journal des Sciences médicales*, de Lille, actuellement sous presse.

(2) Nous avons adopté pour ces calculs la formule donnée par M. Gendron dans le *Génie Civil* des 22-29 juin 1940, p. 388. Tels sont les chiffres de déperdition avec un bon isolement thermique. Il faudrait arriver à perdre seulement 1 degré par jour. Ce n'est peut-être pas impossible avec une citerne dont les parois seraient constituées avec le thermo-bloc de Knapen; on aurait alors 42° au 13<sup>e</sup> jour sans soleil, éventualité rare sur la Côte d'Azur.

(3) Nous adoptons 4 000 calories au lieu des 9 000 théoriquement nécessaires pour 1 kg de charbon pour tenir compte des impuretés et du mauvais rendement.

froide. Ceci s'applique à une pièce seulement; pour un appartement de cinq pièces semblables, il faudrait donc compter cinq fois plus, soit 8 400 kg.

Voici le total des surfaces d'insolateurs nécessaires pour réaliser cette économie et fournir: 75 000 ou 375 000 calories-kilogramme. Il faut:

1° Pour une recette de 3 600 cal kg/jour-m<sup>2</sup> (approximation tenant compte des pertes): 20,8 m<sup>2</sup> pour une pièce, et 104 m<sup>2</sup>, pour 5 pièces semblables;

2° Pour une recette réelle de 5 000 cal kg/jour-m<sup>2</sup> (jour clair): 15 m<sup>2</sup> pour une pièce, et 75 m<sup>2</sup> pour 5 pièces semblables;

3° Si on admet un rendement de 50 0/0 pour l'évaluation précédente: 30 m<sup>2</sup> pour une pièce, et 150 m<sup>2</sup> pour cinq pièces.

PEUT-ON PENSER A CHAUFFER DES APPARTEMENTS, CEUX EXPOSÉS AU NORD, EN PARTICULIER, AVEC DE L'AIR CHAUFFÉ PAR LE SOLEIL? — Un de nos collègues de l'École d'Électricité de la Faculté libre de Lille, M. Bernard, a construit en 1913 une cheminée solaire constituée par une caisse de bois noircie, fermée par une vitre et contenant un certain nombre de toiles métalliques noircies. Un courant d'air plus ou moins rapide et réglable s'établit facilement à travers le système, et l'air chaud entre dans une conduite qui peut l'amener dans une pièce à chauffer. Ici encore, la surface de chauffe est fonction des recettes et des pertes à compenser; mais on doit obtenir facilement 600 calories-kilogramme par heure et, comme dans le cas de l'eau, 5 mètres carrés seraient nécessaires pour compenser une perte horaire de 3 000 calories-kilogramme.

La simplicité de l'installation est séduisante, mais le chauffage durerait seulement ce que dure l'insolation.

CONCLUSION. — On a trop négligé jusqu'ici l'utilisation de l'énergie solaire.

Nous avons bien des fois, par le passé, exposé ces divers problèmes dont l'intérêt pouvait, alors, être considéré comme chimérique; mais par les temps difficiles que nous traversons, ils retiendront peut-être aujourd'hui plus sérieusement l'attention.

Certaines réalisations présentent toutefois peu d'intérêt pour les Européens; mais elles peuvent prendre dans les colonies une importance de premier ordre. Cependant, en France même, l'utilisation de la « houille d'or » peut nous apporter un secours appréciable, au moment où nous souffrons de la pénurie des moyens de chauffage.

L'actinométrie permet d'établir le bilan des recettes et de préciser les conditions d'utilisation les plus satisfaisantes. Il convient de retenir à ce sujet que notre actinomètre répond à un besoin; la facilité de sa lecture doit normalement en vulgariser l'emploi.

En ce qui concerne le chauffage des appartements, la solution, tout en étant de valeur appréciable, reste forcément partielle et limitée, mais elle est évidemment préférable à l'inaction complète. Quant au stockage d'une certaine quantité d'eau chaude à utiliser par temps couvert, nous en avons montré la possibilité théorique, mais aussi la difficulté pratique (1).

L'économie de combustible est certaine, et, durant la belle saison, le simple chauffage de l'eau peut être obtenu au moyen du soleil.

Nous avons laissé de côté, sans méconnaître leur existence, toutes les difficultés techniques de réalisation au point, de vue des canalisations par exemple, et de la pénurie de métal destiné à construire les réservoirs et les accumulateurs d'eau chaude.

Cet aperçu nous a paru utile, cependant, et nous souhaitons qu'il retienne l'attention des professionnels qui ont méconnu jusqu'ici les ressources que peut nous apporter le soleil en ce temps de carence de houille noire.

D<sup>r</sup> Maurice D'HALLUIN,

Professeur à la Faculté libre de Médecine de Lille.

(1) Quand il s'agit de pièces nombreuses, la surface de chauffe nécessaire peut prendre de grandes proportions, et, dans ce cas, le prix de revient deviendrait sans doute excessif.