

LE CHAUFFAGE DU MATÉRIEL A

AVANT de décrire les équipements utilisés pour assurer le chauffage du matériel à voyageurs, il est utile de préciser le rôle du chauffage et de faire apparaître les difficultés qui surgissent lors de sa réalisation dans le domaine ferroviaire.

Le chauffage du matériel à voyageurs est un problème particulièrement ardu pour deux raisons.

C'est un problème techniquement difficile à résoudre. Des recherches et des essais, pour lesquels de nombreux réseaux ont fini par mettre leurs expériences en commun, ont conduit à des solutions de plus en plus parfaites. On est loin de la bouillotte installée sous les pieds du voyageur ! Mais, si chaque amélioration est momentanément appréciée des usagers, elle sert aussi, très souvent, de tremplin pour de nouvelles exigences, ce qui fait que l'on n'a jamais fini !

L'autre raison serait particulièrement décourageante pour les techniciens si ceux-ci n'avaient, à l'usage, acquis une certaine dose de philosophie. Certain voyageur es-sue ostensiblement la sueur qui commence à perler sur son front dès que la température dépasse 18°, tandis que son voisin, d'un air digne et mécontent, remet son pardessus dès que la température descend en dessous de 22°. Cela fait que, pour une même température moyenne de 20°, aucun des deux voyageurs n'est content, l'un parce qu'il a trop chaud et l'autre parce qu'il a trop froid. Ce dernier problème étant insoluble, nous l'abandonnerons à

son triste sort pour n'envisager que l'aspect technique de la question.

La notion de confort thermique.

Pris dans son sens général, le confort dans une voiture dépend de nombreux facteurs tels que les qualités de roulement, le niveau sonore, les dimensions et la forme des sièges, l'éclairage, l'aération et les conditions thermiques. Ce sont uniquement ces conditions thermiques que nous allons envisager et, dans le texte qui suit, le mot *confort* doit toujours être pris dans le sens restrictif de *confort thermique*.

Du point de vue thermique, c'est une simplification erronée que de confondre les notions de confort et de température de l'air ambiant.

Une ambiance confortable est une ambiance dans laquelle le corps humain se sent « bien ». Or, le corps humain se sent bien quand il y a équilibre entre la quantité de calories (1) qu'il doit dissiper et celle que l'ambiance peut absorber.

A l'intérieur du corps humain s'effectue une combustion lente des aliments, qui développe de la chaleur. L'activité de cette combustion est variable suivant les individus, leur âge, leur sexe et leur état de repos ou de travail (pour une température extérieure de l'ordre de 20° C, un homme au repos dégage environ 100 kcl/heure, ce qui correspond à une puissance de chauffe

de 115 watts ; au cours d'un travail pénible, ce même individu peut dégager environ 330 kcl/heure, ce qui correspond à 380 watts). Or, pour un être bien portant, la température interne doit rester constante au voisinage de 36,5° C. La quantité de chaleur à évacuer est donc susceptible de varier fortement, ce qui requiert la modification des conditions d'ambiance. C'est ainsi qu'une ambiance confortable pour un individu au repos deviendra trop chaude pour le même individu développant une activité physique intense et vice versa.

D'autre part, les possibilités d'absorption de chaleur par l'ambiance sont variables. Le corps humain cède sa chaleur par voie sèche (par convection et rayonnement à travers la peau) et par voie humide (haleine, transpiration). L'ambiance absorbe donc d'autant moins bien la chaleur dissipée par le corps humain qu'elle est chaude et humide. En outre, ces possibilités d'absorption sont conditionnées par l'état de repos ou de mouvement de l'air ; tout le monde sait que, dans un local où tout l'air est à la même température, on peut avoir froid ou chaud suivant que l'on se trouve ou non dans un courant d'air.

Dans une enceinte fermée, la température des parois joue un rôle très important. C'est ainsi que, dans un local refroidi par une absence prolongée de chauffage, on garde une impression d'inconfort, même pour une température élevée de l'air, aussi longtemps que les

(1) Une grande calorie ou kilocalorie (kcl) est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° centigrade la température de 1 kg d'eau à la température de 15° centigrades et sous la pression de 760 mm de mercure.

VOYAGEURS

murs restent froids ; de même, par température extérieure basse, on ressent une impression de froid en s'approchant d'une fenêtre à vitre simple au voisinage de laquelle il n'existe pourtant aucun courant d'air. Ce phénomène provient de ce que le corps humain rayonne de la chaleur vers les masses plus froides que lui.

La situation se résume donc comme suit. D'une part, la chaleur à évacuer du corps humain varie d'un individu à l'autre et, pour un même individu, selon les circonstances. D'autre part, les possibilités d'absorption calorifique de l'ambiance varient avec sa température, son degré d'humidité, l'état de repos ou de mouvement de l'air et la température des parois.

Le corps humain dispose d'un système de régulation chimique et physique qui tend à régler les échanges de chaleur, compte tenu des éléments précédents, de façon à se maintenir dans des conditions normales. Mais, outre que ce système de régulation présente des limites de fonctionnement, son action, quand elle est trop marquée, se traduit désagréablement par des impressions de froid ou de chaud, par le hérissément pileux (« chair de poule ») ou par la transpiration. Ce sont ces manifestations désagréables qui constituent l'inconfort. Ajoutons que, si l'ambiance est à la fois chaude et humide, les échanges de chaleur se trouvent réduits aussi bien par voie sèche que par voie humide ; on a alors affaire à la « chaleur étouffante », qui diminue les possibilités physiques de



La photo de ce sportif célèbre prise dans une de nos voitures confortables donne un bel exemple de réussite thermique : quel équilibre entre la chaleur irradiant de sa personne et la quantité de chaleur que peut accueillir cette belle ambiance qui l'entoure !

l'individu et peut conduire à la syncope.

Une ambiance sera donc confortable pour un individu donné se trouvant dans des circonstances données quand il y aura équilibre entre la quantité de chaleur à évacuer de son corps et la quantité de chaleur absorbable par l'ambiance, sans que le système de régulation du corps n'entre en jeu de façon sensible.

dans lesquelles l'individu peut se trouver successivement (1).

Le confort ne peut donc être obtenu que par une adaptation de l'ambiance, en donnant des valeurs correctes aux différents éléments qui la conditionnent, c'est-à-dire la température de l'air, la température des parois, l'humidité de l'air et sa vitesse de déplacement.

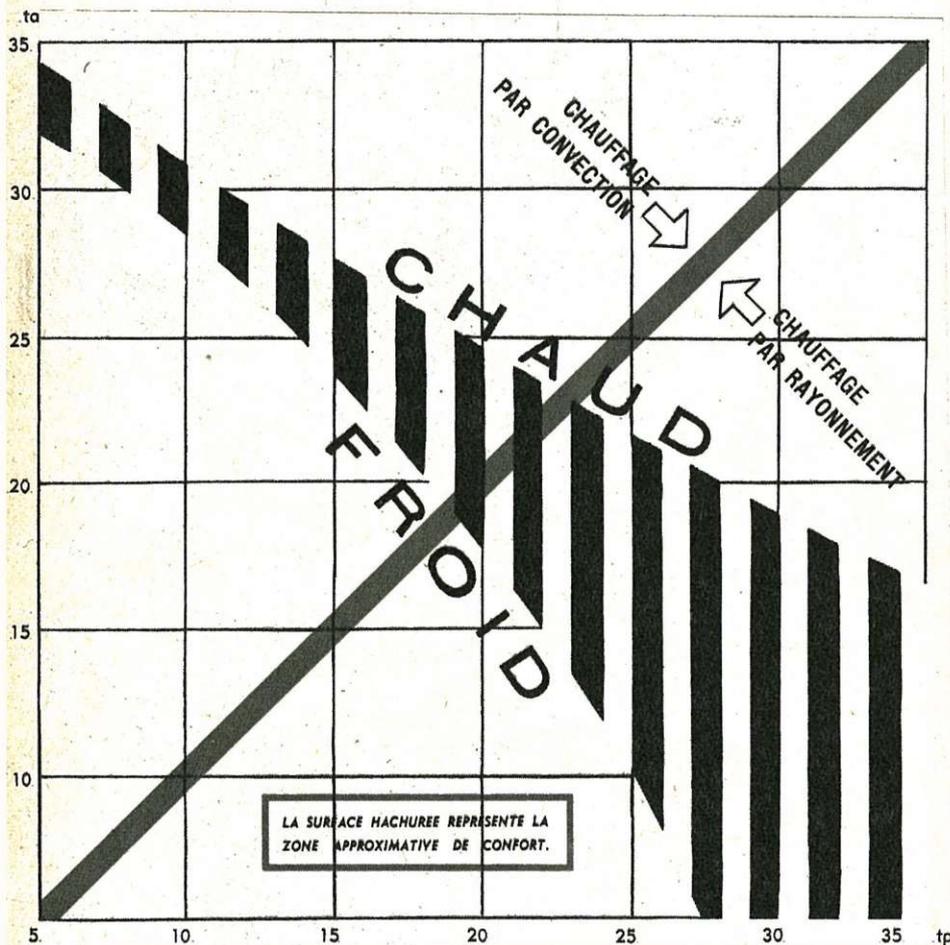
On estime que la valeur optimale de la température de l'air se situe

menée auprès de plus de 10.000 individus placés dans des conditions d'ambiance comparables a, en effet, montré qu'aucune température comprise entre 16° C et 22° C n'arrivait à contenter tout le monde, qu'aucune température n'a été trouvée neutre par plus de 47 % des individus, que 7 % de ces individus ont trouvé chaude une température de 16° C et que 1,5 % d'entre eux ont trouvé froide une température de 22° C.

La température des parois est un élément essentiel du confort. Elle conditionne la température de l'air, celui-ci devant être d'autant plus chaud que les parois sont froides et vice versa. Mais l'obtention du confort par des couplages corrects de la température de l'air et de celle des parois n'est possible que dans certaines limites définies approximativement par la surface hachurée du diagramme ci-contre. Sur ce diagramme, on voit, par exemple, que, pour une température t_a de l'air de 20° C, le confort n'est assuré que si la température des parois t_p se situe entre 18° C et 28° C et que, d'autre part, une température des parois de 10° C exigerait une température de l'air d'environ 30° C.

L'humidité relative de l'air ne doit pas descendre en dessous de 30 % quand l'air est pur ; il est conseillé de la porter à 50 % pour de l'air souillé (fumée de tabac, poussières, etc.). Elle ne doit toutefois pas atteindre une valeur excessive sous peine de provoquer une chaleur étouffante.

L'air en mouvement donne une impression de froid d'autant plus intense que sa vitesse est élevée ; cela revient à dire qu'il faut hausser la température de l'air au fur et à mesure que sa vitesse de déplacement augmente. On estime que, pour réaliser un confort maximal, la vitesse de déplacement de l'air



Réalisation du confort thermique.

Il existe un moyen simple de protéger le corps vis-à-vis de l'ambiance extérieure : c'est le vêtement. Mais l'action de celui-ci n'est valable que, vis-à-vis d'une ambiance trop froide, et son efficacité est limitée, ne fût-ce que par le fait qu'il ne s'adapte pas automatiquement aux différentes conditions

normalement aux environs de 20° C, pour autant que la température des parois soit presque partout la même et qu'il n'y ait aucun déplacement d'air sensible. Il ne s'agit là que d'une valeur relative. Une enquête

(1) Notons que le vêtement offre un autre avantage. En raison de son inertie thermique, il ralentit l'effet sur le corps d'un changement d'ambiance, permet une mise en jeu progressive de la régulation et évite le « coup de froid ».

ne doit pas dépasser 0,2 m/sec., qu'il s'agisse d'un mouvement d'ensemble ou de courants d'air localisés.

La solution la plus parfaite pour assurer le confort est le conditionnement d'air. Dans ce cas, on envoie de l'air en quantité voulue, à la température voulue et, en cas de conditionnement complet, à degré d'humidité contrôlé. La quantité d'air à envoyer est basée sur l'exigence que chaque personne doit, pour bien faire, disposer de 20 m³ d'air frais par heure.

Mais, le plus généralement, on se contente du chauffage, le renouvellement de l'air étant assuré par aération naturelle ou forcée et l'humidification éventuellement assurée par des dispositifs d'appoint.

Application au domaine ferroviaire.

En Europe, le conditionnement d'air dans le matériel ferroviaire est d'un usage très limité. On ne compte actuellement que quelques centaines de voitures équipées ; et encore s'agit-il presque exclusivement de voitures de trains spéciaux à confort poussé, de voitures-restaurants ou de voitures-lits. Il faut en voir la raison dans le fait que, contrairement à d'autres régions du globe, le climat moyen de l'Europe ne justifie l'usage de la climatisation que pendant un nombre relativement faible de jours par an (variable d'ailleurs avec les régions). En revanche, l'installation de la climatisation entraîne des charges supplémentaires au point de vue de l'équipement, de l'entretien, de la consommation d'énergie et du poids.

La réalisation d'un chauffage confortable d'une voiture de chemin de fer pose des problèmes nettement plus complexes que la réalisation du chauffage d'un bâtiment courant.

On exige du chauffage d'une voiture que la température des compartiments soit correctement répartie et qu'elle reste sensiblement constante et égale à la valeur choisie, et cela par toute température extérieure comprise entre + 20° C et - 20° C, et pour toute vitesse comprise entre 0 et 140 ou 160 km/h, quelles que soient les circonstances d'occupation ou autres.

Ces exigences, très dures par elles-mêmes, sont encore aggravées par certaines particularités.

La puissance de chauffe peut varier fortement. Ainsi, en chauffage électrique, on utilise à la S.N.C.B. la tension de caténaire. Cette tension, dont la valeur nominale est de 3.000 volts, varie en fait entre les limites approximatives de 2.800 et 3.600 volts, ce qui fait que la puissance d'un radiateur (qui est proportionnelle au carré de la tension) peut varier dans le rapport de 1 à 1,65.

Le degré d'occupation du véhicule modifie sensiblement les apports calorifiques. Ainsi, un compartiment de 8 places disposant d'une puissance installée nominale de chauffe de 2 kW voit cette puissance portée à $2 + (8 \times 0,115) = 2,920$ kW quand il est pleinement occupé, ce qui correspond à une augmentation de la puissance de chauffe de 46 %, lesquels 46 % sont indépendants de toute régulation. Certaines voitures de la S.N.C.B., préchauffées à 18° C avant le premier départ en période de temps doux et pleinement occupées dès le départ, continuent à s'échauffer, tout chauffage coupé et sous le seul effet de l'occupation, à tel point que la température y devient finalement insupportable sans une ventilation intense.

Dans une voiture de chemin de fer, la répartition de la chaleur est rendue difficile en raison de l'exiguïté des locaux, en raison du peu

de liberté dans le choix de la forme et de l'emplacement des sources de chaleur, en raison des exigences de l'aération, en raison de la gêne apportée à la transmission de la chaleur par l'occupation plus ou moins importante des compartiments, en raison des perturbations plus ou moins fréquentes apportées par l'ouverture des portes et des fenêtres, etc.

Dans une voiture de chemin de fer, chaque voyageur dispose d'un volume d'environ 1,5 à 1,75 m³. Si on veut fournir à un voyageur 20 m³ d'air frais par heure, ce qui est considéré comme un minimum par les hygiénistes, il faut renouveler de 11 à 12 fois par heure le volume d'air local de la voiture, sans créer des courants d'air sensibles pour les voyageurs.

Enfin, en cours de route, les véhicules peuvent traverser, à des intervalles relativement courts, des situations très diverses (vitesse, température extérieure, vitesse et direction du vent, intempéries, « ensoleillement », enneigement, etc.) susceptibles d'influencer fortement leur niveau thermique intérieur.

Nous verrons, dans un prochain article, comment on peut résoudre toutes ces difficultés d'une façon plus ou moins parfaite.

Il faut toutefois signaler que le chauffage, si bon soit-il en lui-même, ne peut donner le confort voulu si la voiture n'est pas bien isolée thermiquement et si elle n'est pas étanche. En effet, une isolation thermique insuffisante ne permet pas de porter les parois à une température suffisante, tandis qu'un manque d'étanchéité provoque des courants d'air qui emportent des calories et donnent une impression de froid aux voyageurs qu'ils atteignent.

P. FRENAY, —
ingénieur en chef.