

dans la bûche inférieure. L'air appelé par la cheminée centrale, traverse le faisceau de cordes et refroidit rapidement l'eau qui les suit.

1865. L'appareil représenté dans les figures 11 et 12 (pl. 108) a beaucoup d'analogie avec le précédent. L'eau s'écoule encore en parcourant des cordes, mais les bûches sont rectangulaires, l'espace qui les sépare est fermé de toute part, et communique d'un côté avec un ventilateur à force centrifuge et par le côté opposé avec une cheminée. L'eau de la bûche inférieure est remontée par une pompe, dans le cas où une seule chute ne la refroidit pas suffisamment.

§ 4. — REFROIDISSEMENT DES CORPS AU-DESSOUS DE LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE
ET CONSERVATION DE LA GLACE.

1866. Le refroidissement d'un corps au-dessous de la température ordinaire, abstraction faite de certaines actions chimiques, peut être produit, par le contact du corps, 1° avec de l'air qui se sature de vapeur d'eau; 2° avec de l'air comprimé qui se détend; 3° avec de la glace ou des mélanges frigorifiques.

1867. *Refroidissement par l'évaporation.* Lorsqu'un courant d'air sec, ou seulement non saturé, passe sur un liquide, l'évaporation en abaisse la température; mais pour le même air à la même température, l'abaissement est indépendant de la vitesse de l'air. D'après les expériences faites par M. Gay-Lussac, l'air étant parfaitement sec, et sa température, ainsi que celle du liquide, étant de 0°, 5, 10, 15, 20 et 25°, les refroidissements obtenus ont été de

5°,82; 7°,27; 8°,97; 10°,82; 12°,73; 14°,70.

Mais si l'air était déjà en partie saturé de vapeur d'eau, l'abaissement de température serait beaucoup plus petit; dans les mêmes circonstances, on peut regarder cet abaissement comme proportionnel à la quantité de vapeur dont l'eau peut se charger. Ainsi, dans les circonstances les plus ordinaires, l'air étant à moitié saturé, le refroidissement serait moitié de celui que nous avons indiqué.

1868. Si le corps qui doit être refroidi était de l'eau, tous les appareils que nous avons indiqués (1862 à 1865) pourraient être employés. Mais si le liquide était de toute autre nature, et si son refroidissement ne pouvait pas avoir lieu par sa propre évaporation, il faudrait le faire circuler



lentement dans un système de tuyaux métalliques dont les surfaces extérieures, recouvertes de toiles, seraient parcourues par de petits filets d'eau, dont on accélérerait l'évaporation par un courant d'air produit par un ventilateur.

1869. Si le corps qui doit être refroidi, était de l'air, et si on pouvait le saturer de vapeur, l'appareil (fig. 11 et 12 pl. 108) serait le plus commode. Mais si l'air devait conserver son état hygrométrique primitif, l'appareil représenté par les figures 1^{re} et 2 (pl. 109) pourrait seul être employé. Cet appareil est disposé de la manière suivante : Une bûche en bois A renferme l'eau qui doit être évaporée; une seconde B reçoit celle qui échappe à l'évaporation. L'eau s'écoule du vase A par un robinet *a* dans une caisse en tôle C, garnie d'un grand nombre de tuyaux qui s'élèvent à une hauteur plus grande que ses parois, et qui sont soudés sur une plaque de tôle horizontale DD, fixée au-dessous du vase C, et au moins à 1 mètre de distance. Les tuyaux sont couverts de toile, et l'eau du réservoir C peut s'écouler sur ces tissus par de petits orifices percés dans le fond du réservoir et très-près des tuyaux; l'eau qui échappe à l'évaporation, se réunit dans l'entonnoir allongé E pour s'écouler ensuite dans la bûche B. L'espace occupé par les tuyaux est fermé latéralement par des planches E, E; il est libre du côté des bûches A et B. Deux ventilateurs à force centrifuge introduisent de l'air, le premier autour des tubes, le second dans les tubes; le premier courant s'échappe librement par l'intervalle qui sépare les bûches A et B; le second se rend dans le canal F, dont la partie inférieure évasée enveloppe la caisse C. Le courant provenant du ventilateur H refroidit les tuyaux, et ces derniers refroidissent le courant d'air lancé par le ventilateur G. Il serait très-utile de garnir les tuyaux d'appendices intérieurs qui permettent à l'air de prendre plus facilement leur température.

1870. On pourrait produire dans l'eau, par son évaporation dans le vide, un refroidissement beaucoup plus considérable que par l'évaporation due au renouvellement de l'air; mais nous ne parlerons de ce moyen de refroidissement que quand il sera question de la congélation de l'eau.

1871. *Refroidissement d'un gaz par sa dilatation.* Lorsqu'on comprime un gaz, il s'échauffe, et si avant qu'il ait perdu la température qu'il a acquise par la compression, on le ramenait à son volume primitif, il reprendrait évidemment sa température initiale; par consé-



quent, si un gaz comprimé se trouvait à la température ordinaire, en se dilatant il se refroidirait d'un nombre de degrés égal à celui dont il s'est échauffé par la compression.

1872. D'après Laplace, en désignant par θ la température de l'air, par d sa densité, par θ' la température qu'il prend par une compression brusque qui lui donne une densité d' , on a

$$\theta' = (267 + \theta) \left(\frac{d'}{d}\right)^{0,42} - 267.$$

En supposant $\theta = 0$ et $d' = 5d$, on trouve $\theta' = 221^\circ$. Ce serait là, par conséquent, l'abaissement de température qu'éprouverait cet air en reprenant sa densité primitive.

1873. La dilatation des gaz est donc un moyen très-puissant de produire un grand abaissement de température dans ces gaz et dans les corps qu'on met en contact avec eux; mais cette méthode de refroidissement exige un travail mécanique considérable quand on veut opérer sur de grandes masses; d'ailleurs le refroidissement produit par la dilatation des gaz, ne serait pas à beaucoup près aussi considérable que celui qui est indiqué par le calcul, à cause de la chaleur développée dans l'air par les jets de gaz comprimés et de la chaleur fournie par l'enveloppe.

1874. Nous rapporterons à ce sujet la belle expérience de M. Thilorier, qui fait voir combien est puissant le mode de refroidissement dont il s'agit. De l'acide sulfurique et du bi-carbonate de soude étant introduits dans un cylindre de fonte, et n'étant mis en contact qu'après la fermeture du cylindre, l'acide carbonique qui se dégage, se liquéfie sous une pression, à 0° , de 36 atmosphères. En ouvrant un orifice par lequel le gaz sort de l'appareil, le refroidissement est de 93° au-dessous de la glace; le gaz est solidifié, et prend la forme d'une neige très-divisée.

1875. On pourrait employer ce mode de refroidissement pour refroidir l'air de quelques degrés au-dessous de la température de l'air, en se servant d'un ventilateur pour comprimer l'air, de longs tuyaux métalliques d'un grand diamètre pour le refroidir, et en le faisant sortir à leur extrémité par des orifices d'un diamètre beaucoup plus petit.

1876. *Refroidissement par le contact de la glace ou des mélanges frigorifiques.* Nous avons donné à la page 37 du premier volume, un tableau des effets produits par les différents mélanges frigorifiques; nous



nous bornerons ici à indiquer la disposition la plus convenable, de l'appareil qu'il faudrait employer pour refroidir l'air au moyen de la glace.

1877. Les figures 3 et 4 (pl. 109) représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil en question. A est un tuyau vertical parcouru par l'air qui doit être refroidi; B, un vase annulaire qui renferme la glace; ce vase a une double enveloppe CC, remplie d'édredon, de ouate, de son, ou de paille hachée; un tuyau à robinet D laisse écouler dans le vase E, l'eau produite par la liquéfaction de la glace. La paroi intérieure du vase B est en fonte et porte plusieurs rangées d'appendices dirigés dans le sens des rayons, d'une petite hauteur, et disposés de manière que ceux qui appartiennent à deux rangées successives ne soient pas dans le même plan. Par cette disposition, le vase plein de glace peut n'avoir qu'une petite hauteur, et cependant refroidir très-rapidement l'air qui le traverse.

1878. Mais lorsque l'air ne doit être refroidi que d'un petit nombre de degrés, et qu'il doit être amené à une température qui ne soit pas au-dessous de 10°, il est beaucoup plus avantageux de le faire circuler dans des carneaux placés dans le sol à une profondeur suffisante. C'est la méthode la plus convenable pour rafraîchir l'air pendant l'été dans les pays chauds; l'air pourrait être lancé par un ventilateur à force centrifuge; et le travail d'un seul homme suffirait à la ventilation d'une pièce renfermant de 50 à 60 personnes, si la vitesse de l'air dans le canal ne dépassait pas 2 ou 3 mètres.

1879. *Refroidissement des corps par le rayonnement vers le ciel, pendant les nuits sereines.* Lorsqu'un corps doué d'un grand pouvoir rayonnant est exposé dans un lieu découvert, pendant une nuit calme et sereine, il éprouve un très-grand refroidissement, dû à ce que l'enveloppe planétaire est à une très-basse température. Le refroidissement serait encore beaucoup plus considérable, si l'air, la terre, et la condensation de la vapeur d'eau à la surface du corps, ne lui restituaient pas une partie de la chaleur qu'il perd.

Pour obtenir par ce moyen un grand refroidissement, il faut que la surface du corps ait un grand pouvoir émissif et que le corps soit soutenu par d'autres corps très-mauvais conducteurs.

1880. Depuis un temps immémorial on fait au Bengale de la glace par un procédé fondé sur le rayonnement nocturne. On place des vases de

terre peu profonds, pleins d'eau, sur des couches de cannes à sucre, ou de tiges de maïs non comprimées; lorsque pendant la nuit le ciel a été pur, l'air calme, et que la température de l'atmosphère s'est abaissée au-dessous de 10°, on trouve le matin l'eau congelée. M. Wels a essayé ce procédé en Angleterre pendant l'été, et il a parfaitement réussi.

1881. *Congélation de l'eau.* Les moyens physiques les plus efficaces pour congeler l'eau, sont la dilatation de l'air comprimé et la vaporisation dans le vide.

1882. Le premier procédé consisterait à faire arriver dans un cylindre vertical formé d'une matière peu conductrice, et par le haut, de l'eau très-divisée, et par le bas, au moyen de douilles nombreuses, de l'air froid comprimé; l'air en se dilatant dans le cylindre au milieu des gouttelettes d'eau, les congèlerait. Mais ce procédé est compliqué et exigerait une grande dépense de force motrice.

1883. Le second paraît plus simple. L'appareil serait composé de deux cylindres de fonte, placés verticalement, fermés de toute part, communiquant entre eux par leurs parties supérieures, environnés de matières non conductrices, renfermant l'un de l'eau, l'autre du chlorure de calcium, et communiquant avec une puissante machine pneumatique, disposée comme celles de M. Babinet. Lorsque le vide aurait été fait dans les cylindres, une évaporation rapide s'établirait à cause de l'absorption de la vapeur par le chlorure de calcium, et refroidirait promptement le liquide à 0°. Si les corps environnants ne restituaient pas de la chaleur à l'eau, supposée primitivement à 10°, la congélation de 1 kilogr. d'eau exigerait l'émission de $10 + 75 = 85$ unités de chaleur, et par conséquent l'évaporation de $85 : 560 = 0,152$ d'eau. Mais comme il y aurait toujours de la chaleur fournie par les corps environnants, et surtout par le vase de condensation, la quantité de vapeur à former serait beaucoup plus considérable. La dépense de travail pour produire le vide serait peu importante, ainsi que la dépense de combustible pour la calcination du chlorure de calcium; et le degré de perfection qu'on a obtenu dans les appareils à cuire les sirops dans le vide, ne permet pas de douter qu'on arriverait très-facilement à maintenir le vide produit pendant le temps nécessaire à la congélation. Mais, de ces considérations générales à l'exécution il y a encore loin, et des essais sur une assez grande échelle seraient indispensables pour s'assurer qu'on ne rencontrera pas de dif-



ficultés imprévues, et pour déterminer approximativement le prix de revient de la glace obtenue.

1884. *Conservation de la glace.* Dans les pays tempérés, et dans les pays chauds où l'on peut recueillir de la glace pendant la saison la plus froide de l'année, on la conserve dans des espèces de citernes qu'on désigne sous le nom de glacières. Les glacières sont creusées dans le sol; elles ont la forme d'un tronc de cône renversé, dont les parois sont formées d'une maçonnerie épaisse recouverte d'une couche de ciment, de manière que l'eau ne puisse pas les traverser. A la partie inférieure se trouve une grille, et au-dessous un puisard dans lequel se réunissent les eaux qui proviennent de la fusion de la glace, et d'où elles s'écoulent naturellement à travers les terres, ou par des conduits qui les amènent au jour par une pente continue, quand les glacières sont creusées sur le penchant d'une colline. L'orifice de la glacière est fermé par une voûte épaisse en maçonnerie, ou par une charpente recouverte de plusieurs couches de chaume. L'entrée est toujours placée au nord; elle est formée d'un couloir fermé par une porte à chaque extrémité, et ordinairement entouré d'arbres qui empêchent les rayons solaires d'y arriver. La glace doit être recueillie pendant un temps sec. On couvre d'abord la grille du puisard, et toute la surface des parois, d'une couche épaisse de paille longue; c'est sur cette couche que l'on place la glace, en la disposant de manière à laisser entre les blocs le moins d'intervalle possible. On peut aussi employer de la neige, mais il faut la comprimer fortement, de manière à former des blocs rectangulaires que l'on serre les uns contre les autres. La glace est ensuite recouverte d'une couche de paille sur laquelle on met des planches ou des pierres.

1885. Malgré toutes les précautions employées pour empêcher la chaleur des corps environnants de pénétrer dans la glacière, on perd toujours pendant chaque saison une partie de la glace, et cette perte, relativement à la masse qui a été recueillie, est toujours d'autant plus grande que la glacière est plus petite; car la perte est proportionnelle à la surface, et les surfaces des corps semblables dont les dimensions augmentent, croissent dans un plus petit rapport que les volumes. La première année qu'on se sert d'une glacière, on éprouve un déchet beaucoup plus grand que dans les années suivantes; il arrive



même quelquefois, quand la maçonnerie n'a pas eu le temps de sécher, qu'on ne conserve point de glace.

1886. On donne ordinairement aux grandes glacières 4 à 5 mètres de diamètre et 7 mètres de profondeur. La figure 5 (pl. 109) représente la coupe verticale d'une glacière.

1887. Les figures 6 et 7 (pl. 109) représentent une coupe et le plan d'une petite glacière américaine d'une construction très-simple et qui peut suffire à une nombreuse famille. *a, a, a* est une excavation de 2 mètres, en tous sens, creusée dans le sol. *b* est une rigole pratiquée au fond de l'excavation et qui sert à l'écoulement de l'eau provenant de la fusion de la glace. *c, c*, deux pièces de bois de 0^m,15 d'équarrissage et de 2 mètres de longueur, placées au fond de l'excavation, et qui s'appuient sur le sol par leurs extrémités. *d, d*, traverses posées sur les poutres *c*; elles servent à supporter un certain nombre de solives de 0^m,05 d'équarrissage et de 2 mètres de longueur. *f, f*, montants de 0^m,08 d'équarrissage, s'appuyant par leurs extrémités inférieures sur le fond de la glacière et s'élevant jusqu'à sa partie supérieure. *g*, lattes de 0^m,04 d'épaisseur, formant le revêtement des parois de la glacière, et clouées sur les montants *f*. *h, h*, garniture de paille de 0^m,08 d'épaisseur, attachée sur les lattes. *i*, glace remplissant l'excavation. *k, k*, quatre poutres de 0^m,16 d'équarrissage et de 3 mètres de long, destinées à soutenir la terre amoncelée au-dessus de la glacière. *l*, lattes placées en travers sur les poutres *k, k*. *m*, lit de paille étendu sur les lattes *l*. *n*, tertre de 1 mètre de hauteur surmontant la glacière. *p*, trou carré creusé dans le tertre et revêtu de planches pour former une caisse qu'on remplit de paille. *q*, entrée de la glacière, dirigée au nord, pourvue de quelques marches, de 1 mètre de largeur à l'extrémité libre et de 0^m,4 seulement à l'autre bout. *r*, bottes de paille très-serrées, qui forment la porte de la glacière. *s*, trappe revêtue de paille et fermant l'entrée de la glacière.

1888. Une glacière ayant les dimensions indiquées peut contenir 4000 kilogrammes de glace. On ne doit y entrer que le soir ou le matin, une seule fois par jour. Pour retirer la glace on fait dans le revêtement en paille un trou seulement suffisant pour y passer le bras. D'après l'auteur, M. Hawkins, la construction d'une semblable glacière coûterait moins de 140 francs.

1889. M. de Valcour, d'après une disposition qu'il avait vue en Améri-



que, a proposé la forme de glacière qui est indiquée dans les figures 8 et 9 (pl. 109). *a, a*, poutres ou sommiers sur lesquels repose la glacière. *b, b*, poutrelles disposées transversalement sur les trois sommiers et suffisamment espacées pour laisser écouler l'eau provenant de la glace fondue. *c, c*, poteaux de 0^m,10 à 0^m,13 d'équarrissage, élevés verticalement et formant la cage dans laquelle on place la glace. *d, d*, planches en chêne formant le revêtement des poteaux *c*, tant en dedans qu'en dehors. *e*, couche de charbon pilé fortement tassé entre les poteaux *c* et les planches *d*. *f*, paille qui tapisse les planches *d* de l'intérieur de la caisse à glace, ainsi que le dessus des poutrelles *b*. *g, g*, poteaux de 0^m,33 de largeur sur 0^m,16 d'épaisseur, formant la seconde enveloppe de la glacière. *h, h*, planches en chêne qui recouvrent les deux faces des poteaux *g*. *i*, charbon pilé. *j*, entrée de la glacière, qui conduit à un couloir garni de deux portes. *s*, couche épaisse de paille qui recouvre la toiture et les faces latérales de la seconde enveloppe. *t*, chevrons de la toiture. *u*, couche de décombres, de tan, ou de charbon, tassé sur toute l'étendue du sol de la glacière.

1890. Enfin on a employé avec succès, mais seulement pour rafraîchir des liquides, la disposition représentée par la figure 10 (pl. 109). *a, a*, est un tonneau cerclé en fer, de 2 mètres de hauteur et d'un mètre de diamètre, placé dans une excavation creusée dans le sol d'une cave; il est environné d'une ceinture de 0,10 de cendres fortement tassées *b, b*. Le tonneau est garni d'un double fond percé de trous, et l'intervalle des deux fonds d'un tube *cc* qui conduit l'eau provenant de la fusion de la glace dans un seau *d*, placé au fond du puisard, et qu'on remonte à l'aide d'une corde lorsqu'il est rempli. On ferme la glacière au moyen d'un vase en bois *f*, d'une petite hauteur, rempli de cendres pressées, garni de larges rebords couverts en dessous d'une étoffe de laine grossière, et suspendu à une corde qui, après avoir passé sur deux poulies fixes, se termine par un contre-poids. Pour remplir la glacière, on commence par placer au milieu un piquet, autour duquel on comprime la glace, et qu'on enlève après.

1891. Je pense qu'il y a peu de modifications à introduire dans les grandes glacières; car avec les précautions connues on obtient tout l'effet qu'on peut espérer. Seulement il est important de leur donner les plus grandes dimensions possibles; car la quantité annuelle de



glace fondue par la transmission de la chaleur à travers le sol, augmente proportionnellement à la surface intérieure de la glacière, et comme nous l'avons déjà dit, ces surfaces augmentent dans un plus petit rapport que les volumes. Il est aussi plus important qu'on ne l'avait pensé, de préserver les glacières du contact des terres humides, même de celles dans lesquelles l'eau est stagnante; car la terre humide conduit beaucoup mieux la chaleur que la même terre desséchée.

1892. Mais les petites glacières qu'on a construites jusqu'ici, ne sont pas aussi bien disposées qu'elles pourraient l'être. Dans la glacière représentée figure 6 (pl. 109), l'enveloppe en charpente devrait être environnée de paille; le vase p a de trop petites dimensions; une couche épaisse de paille devrait couvrir toute la partie supérieure de la glacière; et enfin le tertre placé au-dessus devrait être abrité de la pluie. Dans la construction de l'appareil (fig. 8 et 9 (pl. 109), M. de Valcour a été guidé par une idée très-inexacte de l'influence des doubles enveloppes; la galerie r dans laquelle l'air se meut librement diminuerait fort peu la transmission de la chaleur, qui d'ailleurs s'effectuerait très-facilement à travers le sol. L'appareil figure 10 est bien entendu; mais la paille hachée conviendrait mieux que les cendres, et la partie inférieure du tonneau devrait en être garnie comme les parties latérales.

1893. Il est facile de déterminer approximativement, d'après la conductibilité des corps employés pour ralentir la transmission de la chaleur dans une glacière, la quantité de glace qui serait fondue pendant une saison; mais seulement quand la glacière est exposée à l'air par toutes ses faces, car on ne sait absolument rien sur le réchauffement ou le refroidissement d'un corps en contact avec un milieu indéfini, et c'est ce qui arrive pour les glacières enfoncées dans le sol. Dans le premier cas il y a une remarque importante à faire; quand la chaleur est transmise de l'intérieur à l'extérieur d'un corps, l'étendue de la surface extérieure est sans influence sur la quantité de chaleur transmise, parce que l'abaissement de température de cette surface compense l'excès de son étendue sur la surface intérieure, et tout se passe comme si la surface extérieure avait la même étendue que la surface intérieure; mais quand la transmission de la chaleur a lieu en sens contraire, c'est l'accroissement de température de la surface intérieure qui compense le décroissement de son

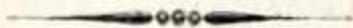


étendue, et tout se passe comme si la surface intérieure avait l'étendue de la surface extérieure.

Supposons, par exemple, un vase rectangulaire ayant 2 mètres de côté, plein de glace, et environné d'une couche de paille hachée de 0^m,50, maintenue par des planches. La surface du vase extérieur sera de 54 mètres carrés. En supposant que la température moyenne du mois de janvier au mois de mai soit de 6°, comme l'indiquent les observations faites à Paris, et en prenant 9 pour la valeur de K relative au bois, la quantité de chaleur qui pénétrera dans la glacière par mètre carré de surface, et par heure, sera $CKt(KC+C) = 0,8271$; pour les 54 mètres de surface, 44,66; et pour les 120 jours, 127680 unités, qui correspondent à la fusion de 1700 kilogr. de glace; en supposant que ce nombre soit porté à 2000, la glace fondue serait égale à un quart de celle qu'on aurait placée dans la glacière.

1894. On diminuerait la quantité de glace fondue, en augmentant l'épaisseur de l'enveloppe, mais dans un rapport beaucoup plus petit; par exemple, en supposant à la couche de paille une épaisseur de 1 mètre, la transmission par heure et par mètre carré serait deux fois plus petite et seulement de 0,41; mais la surface extérieure serait de 96 mètres carrés, et par conséquent la quantité de chaleur transmise par heure et par toute la surface serait seulement de 39 unités, au lieu de 44.

1895. On voit, d'après cela, qu'il y a une bien grande différence dans l'effet des enveloppes, suivant que la transmission a lieu de dedans en dehors et de dehors en dedans. Dans le premier cas, quand le corps qui forme l'enveloppe est très-mauvais conducteur et que son épaisseur est très-grande, la vitesse du refroidissement est sensiblement en raison inverse de son épaisseur, tandis que dans le second cas, la vitesse du réchauffement diminue suivant une loi beaucoup moins rapide, à cause de l'accroissement d'étendue de la surface extérieure.





CHAPITRE XVII.

CHAUFFAGE, VENTILATION ET ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS.

1896. Nous nous occuperons dans ce chapitre, comme son titre l'indique, du chauffage et de l'assainissement des lieux habités. Mais avant de traiter cette question pour les différents cas particuliers qui peuvent se présenter, il en est plusieurs autres qui doivent être résolues d'abord.

1897. L'homme vicie l'air qui l'environne par la respiration et par la transpiration, et il faut déterminer le volume d'air qui doit être fourni par individu et par heure dans un lieu habité, pour que ce lieu soit salubre. Il faut aussi déterminer le volume d'air nécessaire aux différents appareils d'éclairage. L'homme, par l'action même de la respiration, produit constamment de la chaleur, et cette quantité doit être connue, afin qu'on puisse en tenir compte dans l'évaluation de celle qui doit être fournie. Il est indispensable aussi de connaître la quantité de chaleur qui traverse les enveloppes de nos habitations dans des circonstances connues, car ce n'est qu'au moyen de cette donnée qu'on pourra, en ayant égard à la ventilation et à la chaleur animale, déterminer dans chaque cas particulier la quantité de chaleur à produire pour maintenir les habitations à une température constante. Enfin il faut examiner les différents modes de ventilation, afin de pouvoir choisir dans chaque cas particulier celui qui est le plus convenable.

§ 1^{er}. — VOLUME D'AIR NÉCESSAIRE A LA RESPIRATION ET AUX APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

1898. On sait, que par l'acte de la respiration, une partie de l'air est transformée en acide carbonique, et que l'air expiré serait à peu près



impropre à une nouvelle respiration. D'après le docteur Mauzies, dans une heure, un homme par sa respiration, transformerait en acide carbonique tout l'oxygène contenu dans 177 litres d'air. Mais, d'après les expériences plus récentes de M. Dumas, ce volume serait seulement de 90 litres, et le volume d'air expiré de 333 litres, qui renfermerait à peu près 0,04 d'acide carbonique. D'après ce dernier nombre, il faudrait à peu près un tiers de mètre cube d'air par individu et par heure, pour que le même air ne passât qu'une seule fois par les poumons.

1899. Mais l'homme, par son organisation, agit encore d'une autre manière pour vicier l'air qui l'environne : c'est par la transpiration cutanée et pulmonaire. Les vapeurs qu'il émet se dissolvent dans l'air, mais elles sont accompagnées des matières animales qui communiquent promptement à l'air une mauvaise odeur; et ces matières sont, sans aucun doute, la cause la plus puissante d'insalubrité; car, dans un grand nombre de cas, où l'air des pièces qui renferment un grand nombre d'individus, affecte péniblement la respiration, on ne trouve pas dans sa composition un accroissement d'acide carbonique qui puisse expliquer la différence d'effet produit par cet air et par l'air libre, comme cela résulte avec la dernière évidence du mémoire déjà cité de M. Leblanc. D'après cela, il est plus convenable de prendre, pour la dose d'air à fournir par individu et par heure, le volume d'air nécessaire pour dissoudre les produits de la transpiration. Or, il résulte des expériences de Seguin, que la quantité totale de vapeur d'eau produite par un homme dans 24 heures varie de 800 à 1000 grammes; des nombres peu différents ont été obtenus par M. Dumas. En prenant la moyenne, on trouve 38 grammes pour la quantité de vapeur d'eau produite par heure. En supposant l'air à 15°, et déjà à moitié saturé de vapeur d'eau, qui sont les circonstances les plus ordinaires, le volume d'air nécessaire pour dissoudre le poids des vapeurs produites, serait de $2.38:13,028=5^m,84$. Ainsi le volume d'air à fournir par individu et par heure est à peu près de 6 mètres cubes.

1900. L'exactitude de ce nombre a été vérifiée par plusieurs expériences. L'école primaire de la rue Neuve-Coquenard, qui renferme ordinairement 200 enfants, est chauffée et ventilée au moyen d'une disposition particulière, dont nous parlerons bientôt, qui permet de mesurer facilement le volume d'air qui s'écoule de la salle pendant un temps donné; or, j'ai toujours observé qu'avec une ventilation de 6

mètres cubes par élève et par heure, l'air intérieur n'avait jamais d'odeur, et qu'il était impossible, à en juger par l'effet produit sur nos organes, d'y trouver une différence avec l'air extérieur. M. Leblanc rapporte, dans son mémoire sur l'air confiné, des expériences qui viennent à l'appui de celles que j'avais faites auparavant. La salle renfermait 180 enfants, la ventilation était de 1080 mètres cubes par heure, c'est-à-dire, de 6 mètres cubes par élève; après 5 heures de séjour des enfants, la quantité d'acide carbonique s'élevait au plus à 2 millièmes; aucune odeur ne régnait dans la salle, et la respiration n'était nullement gênée. Avec une ventilation de 837 mètres seulement, la quantité d'acide carbonique a été portée à 47 dix-millièmes. La salle étant close, sans ventilation, après le même temps, l'air en renfermait 87 dix-millièmes. *L'atmosphère était lourde, l'inspecteur se plaignait de la chaleur et attendait avec impatience le moment d'ouvrir les fenêtres; la température intérieure n'était pourtant que de 18°.*

1901. Des expériences faites à la Chambre des députés, s'accordent avec celles qui précèdent. La chambre des séances, comme nous le dirons plus tard, est chauffée par des calorifères placés dans les caves; l'air chaud pénètre dans la salle par des orifices percés dans la plus petite contre-marche, celle qui est la plus voisine de la tribune, et il sort de la salle par des orifices nombreux percés sur la dernière marche de l'amphithéâtre et par des orifices pratiqués dans le plafond des tribunes. L'air s'écoule d'abord par plusieurs tuyaux ménagés dans l'épaisseur des murailles qui communiquent avec tous les orifices dont nous venons de parler, et ensuite par une large cheminée plus élevée, à laquelle les tuyaux aboutissent et dans laquelle se trouve un foyer alimenté par du coke. La ventilation se règle principalement au moyen d'un registre vertical, placé dans le canal qui conduit l'air froid aux calorifères. Le chauffeur, homme intelligent et qui connaît très-bien l'appareil qu'il est chargé de diriger, m'a dit qu'il avait reconnu par expérience la hauteur à laquelle devait être placée la vanne, dans les différentes circonstances, pour que l'on ne se plaignît pas d'une odeur désagréable dans la salle; qu'un peu au-dessous de ces limites, l'odeur devenait sensible. Une expérience a été faite à la fin d'une séance nombreuse, vers quatre heures du soir; le volume d'air froid introduit était de 1^m,9 par seconde, ou de 6840^{m. c.} par heure; et comme la salle renfermait de



1000 à 1100 personnes, la ventilation était de 6 à 7 mètres cubes par personne et par heure, du moins en n'ayant égard qu'à l'air fourni par les calorifères. Mais comme il y avait nécessairement de l'air appelé par les fissures des portes et des fenêtres, et par les portes qui s'ouvraient de temps en temps, le chiffre réel de la ventilation ne pouvait se déterminer que par la mesure de la vitesse de l'air dans tous les tuyaux qui le conduisent à la cheminée d'appel; cette vitesse a été observée dans deux embranchements, mais on a oublié de la mesurer dans le troisième, de sorte qu'il a été impossible de déterminer exactement le volume d'air écoulé; mais il devait peu différer de celui qui a été mesuré à l'entrée, et je regarde comme bien probable que l'air fourni par les calorifères eût suffi à l'assainissement de la salle. Quoique l'air n'ait point d'odeur sensible dans la salle, et que la ventilation soit suffisante, on se plaint cependant d'un excès de chaleur dans certaines parties de la salle; cet inconvénient provient, sans aucun doute, du mode de circulation qui a été adopté; nous reviendrons plus tard sur cet objet.

1902. Ces expériences ont donné lieu à une remarque fort singulière. L'odeur de l'air dans les cheminées d'appel était extrêmement désagréable, et cependant l'air de la salle était sans odeur et les cheminées étaient très-propres. Ce phénomène ne semble pouvoir s'expliquer que de deux manières: 1° en supposant que l'odeur de l'air soit augmentée par son mouvement, qui renouvelle constamment les parties en contact avec nos organes; 2° en admettant que les matières animales en dissolution ou en suspension dans l'air éprouvent, par leur contact prolongé, une fermentation qui en change la nature. Ces deux causes concourent probablement à produire l'effet dont il est question.

1903. Nous admettrons désormais, que 6 mètres cubes d'air, par personne et par heure, suffisent à l'assainissement des lieux habités, du moins pour obvier aux effets produits par la respiration et la transpiration.

1904. L'air des appartements est encore vicié par les lumières artificielles. Le tableau suivant renferme les poids des matières brûlées, pendant une heure, dans les différents appareils d'éclairage, ainsi que les volumés d'air nécessaires, en supposant que par la combustion un tiers seulement de l'oxygène de l'air soit absorbé.



Quantités d'air nécessaires aux différents appareils d'éclairage.

NATURE DE L'ÉCLAIRAGE.	CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE PAR HEURE.	VOLUME D'AIR DONT $\frac{2}{5}$ DE L'OXYGÈNE EST ABSORBÉ.
Chandelles de 6 à la livre.	11 ^g	0 ^m ,322
Bougie.	11 ^g	0 ^m ,322
Lampe gros bec.	42 ^g	1 ^m ,266

Les quantités de lumière produites dans ces différents modes d'éclairage, sont à peu près dans le rapport des nombres 11, 14 et 100.

Les résultats précédents donnent le moyen de calculer la quantité d'air qu'il faut fournir par heure à une pièce habitée, quand on connaît le nombre des personnes qu'elle contient, ainsi que la nature et le nombre des appareils d'éclairage.

1905. Quand les pièces ont une grande élévation, l'air qu'elles renferment peut suffire à la respiration pendant un certain temps, facile à calculer; mais, excepté dans les églises, il est rare que le volume d'air soit suffisant, lorsque le nombre des personnes est considérable et que leur séjour doit être prolongé. Il est utile cependant de calculer ce volume pour fixer l'époque à laquelle on doit commencer la ventilation. Cet air est toujours employé d'une manière utile, attendu que celui qui a servi à la respiration ou qui a été en contact avec le corps, étant à une température voisine de 30°, tend à s'élever; alors il se produit des doubles courants qui abaissent progressivement toutes les couches d'air. A la Chambre des députés, le volume de la salle, étant au plus de 4000 mètres cubes, suffirait à peine pendant une demi-heure dans les séances nombreuses.

Lorsque les appartements sont pourvus d'appareils de chauffage qui doivent être alimentés par l'air qu'ils renferment, il ne faut pas avoir égard au volume d'air que ces appareils exigent quand il est plus petit que celui qui est nécessaire à la respiration; parce que le même air qui a servi à la respiration peut encore alimenter la combustion. Mais quand le volume d'air dépensé par la cheminée du foyer est plus grand que celui



qui est nécessaire à la respiration, il est évident qu'il ne faut avoir égard qu'à l'appel du foyer. C'est ce qui a presque toujours lieu dans les appartements chauffés par le rayonnement du combustible, comme nous le verrons bientôt.

1906. Dans tout ce qui précède nous n'avons pas parlé de l'assainissement des lieux chauffés par des foyers découverts qui versent les produits de la combustion dans les pièces elles-mêmes, comme cela a encore lieu dans certaines parties de l'Espagne et dans quelques ateliers, parce que ce mode de chauffage est tellement insalubre qu'il doit être proscrit, non-seulement à cause de l'acide carbonique qui se répand dans l'air, mais surtout à cause de l'oxyde de carbone qui se forme toujours dans ces espèces de foyer, et dont l'action est incomparablement plus délétère que celle de l'acide carbonique. Dans une des expériences de M. Leblanc, un chien de grande taille fut asphyxié dans une atmosphère qui renfermait 0,04 d'acide carbonique et seulement 0,005 d'oxyde de carbone.

§ 2. — CHALEUR PRODUITE PAR LA RESPIRATION.

1907. Dans l'acte de la respiration, une certaine partie de l'oxygène de l'air est transformée en acide carbonique aux dépens d'une partie du carbone du sang. Cette combustion dégage de la chaleur, et d'après les expériences faites par M. Dulong, et plus tard par M. Despretz, la quantité de chaleur produite est la même que celle qui résulterait de la combustion d'un poids de carbone égal à celui qui est enlevé au sang. Ainsi chaque individu renferme un véritable calorifère dans lequel brûle constamment une certaine quantité de carbone. D'après les expériences de M. Mauzies, la quantité de carbone brûlée dans une heure par l'acte de la respiration, s'élèverait à 0^h,019. Mais d'après les expériences récentes de M. Dumas, elle est seulement de 10 grammes, et par conséquent la quantité de chaleur émise dans le même temps est égale à $0,010 \times 7300 = 73$ unités de chaleur.

1908. Cette quantité de chaleur se disperse dans les corps environnants par rayonnement et par contact; mais une grande partie est employée à former la vapeur de la transpiration cutanée et celle qui se trouve dans l'air qui sort des poumons; et comme cette vapeur ne se



condense pas, qu'elle est entraînée en dissolution par l'air de ventilation, la chaleur qu'elle renferme n'est pas employée à chauffer les corps environnants et doit être retranchée de la quantité totale. Or, nous avons déjà vu qu'on peut admettre que la quantité de vapeur fournie par la transpiration est moyennement de 38 grammes; alors la chaleur employée à chauffer l'air et les corps environnants est seulement $73 - 0,038 \times 650 = 48$ unités.

1909. Il est important de remarquer que la quantité de chaleur fournie par la respiration est supérieure à celle qu'exige l'échauffement de l'air nécessaire à la ventilation. En effet, si nous supposons que l'air extérieur soit à 0° , et qu'il soit chauffé à 20° , la quantité de chaleur consommée par heure sera de $6 \times 1,3 \times 20 : 4 = 39$. Ainsi, si plusieurs personnes étaient réunies dans une salle dont les parois fussent à 20° , et ne se refroidissent pas, la température extérieure étant à 0° , celle de l'air intérieur pourrait rester à 20° , par l'effet de la chaleur animale, en supposant même une ventilation de près de 8 mètres cubes par individu et par heure.

§ 3. — DE LA VENTILATION.

1910. La ventilation est le renouvellement de l'air d'un certain lieu. Toujours l'espace ventilé est pourvu de deux orifices, l'un destiné à introduire l'air atmosphérique, l'autre à évacuer l'air intérieur. La ventilation est indispensable dans nos habitations, dans les ateliers, les hôpitaux, les salles de spectacle, parce que l'air y est vicié par la respiration; elle l'est surtout dans les galeries d'exploitations métallurgiques, et dans un grand nombre d'établissements industriels, qui sans ventilation deviendraient insalubres, non-seulement par la respiration des ouvriers, mais souvent par certaines émanations délétères.

1911. La ventilation s'effectue quelquefois naturellement; mais elle peut être produite par la chaleur ou par un agent mécanique. Nous examinerons successivement ces trois modes de ventilation.

1912. *Ventilation naturelle.* Si l'air atmosphérique et celui qui remplit nos habitations étaient exactement à la même température, l'air serait partout immobile; mais les variations diurnes de température produisent des courants qui marchent tantôt dans un sens, tantôt dans



l'autre. En effet, considérons une pièce pourvue d'une cheminée plus ou moins élevée, et dans laquelle l'air extérieur puisse pénétrer par les fissures des portes et des fenêtres. La pièce et sa cheminée pourront être considérées comme un canal, composé de deux branches, l'une horizontale l'autre verticale, ouvert par les deux bouts. Or, d'après ce que nous avons vu précédemment, si l'air du canal est à une plus haute température que l'atmosphère, l'air s'écoulera par l'orifice le plus élevé, et il s'échappera, au contraire, par l'orifice inférieur quand sa température sera inférieure à celle de l'air environnant. En général, pendant l'été et le printemps, la température des appartements est moins élevée que celle de l'air dans le jour, et plus élevée pendant la nuit. Alors, pendant le jour, l'air atmosphérique s'introduit par le point le plus élevé pour s'écouler par le point le plus bas, et le contraire existe pendant la nuit. En hiver, l'air des appartements étant, en général, à une température constamment plus élevée que celle de l'air atmosphérique, l'air s'écoule toujours par l'orifice supérieur.

1913. Il est facile de se rendre compte de ce qui arriverait dans un canal vertical ne communiquant avec le jour que par un seul orifice. En hiver, l'air étant plus chaud au fond du puits qu'à l'orifice, il s'établira nécessairement deux courants qui renouvelleront l'air plus ou moins rapidement; si au fond du canal il y avait un dégagement d'acide carbonique, le mouvement se ralentirait, et pourrait même cesser; il augmenterait, au contraire, s'il se dégageait de l'hydrogène carboné. En été, la température à la surface du sol étant, au contraire, en général, plus élevée qu'au fond du canal, les courants ne se produiront plus, et le renouvellement de l'air n'aura pas lieu. S'il se dégageait de l'acide carbonique, ce dégagement produirait évidemment le même effet qu'un abaissement de température; un dégagement d'hydrogène carboné agirait comme un accroissement de température, et la vapeur d'eau produirait le même effet.

1914. Examinons maintenant ce qui arrivera dans un canal creusé dans le sol à une profondeur plus ou moins considérable et dont les deux extrémités viennent s'ouvrir à la surface du sol à des hauteurs différentes.

On sait qu'à une petite profondeur, la température du sol ne par-



participe pas aux variations diurnes de la température de l'air ; que l'influence des variations annuelles de la température de l'air sur celles des couches de la terre décroît rapidement avec leur profondeur ; qu'à 25 ou 30 mètres elle disparaît complètement ; qu'à partir de cette limite, la température de chaque couche reste invariable et augmente à mesure que les couches sont plus profondes, à peu près de 1° pour 25 à 30 mètres ; et enfin que la température de la première couche à température constante est égale à la température moyenne annuelle de la surface du sol. Il résulte de là, que les parois des grandes excavations souterraines sont en général plus chaudes en hiver que l'air à la surface du sol, et que pour celles qui n'ont pas une grande profondeur, la différence de température peut changer de signe dans les saisons intermédiaires, et même la nuit et le jour.

Il est facile de voir d'après cela, que si le canal dont il s'agit est situé à une grande profondeur, la température de ses parois étant plus élevée que celle de l'air pendant l'hiver, et plus froide pendant l'été, en été, l'air atmosphérique pénétrera dans le canal par l'orifice le plus élevé, pour s'écouler par l'orifice le plus bas, et que le contraire aura lieu en hiver.

Lorsque les deux orifices seront au même niveau, l'équilibre existera ; mais il ne sera stable que dans le cas où l'air du canal sera plus froid que l'air atmosphérique ; dans le cas contraire, lorsque l'équilibre aura été rompu, le mouvement continuera dans le même sens. En effet, supposons d'abord que l'air du canal soit à une température plus élevée que l'air extérieur ; aussitôt que le mouvement aura commencé, la partie du canal dans laquelle l'air atmosphérique aura pénétré, possédera une moindre force ascensionnelle que l'autre, et le mouvement se prolongera, quoique l'air en cheminant prenne progressivement la température de l'enveloppe. Mais si l'air du canal souterrain est à une plus basse température, il est évident, que si l'air extérieur pénétrait dans une des branches du canal, l'état primitif tendrait à se rétablir, et se rétablirait effectivement après plusieurs mouvements oscillatoires.

1915. Si le canal souterrain, au lieu d'avoir la forme d'un siphon renversé, était disposé en sens contraire, c'est-à-dire, si le canal horizontal qui réunit les deux branches verticales, était plus élevé que les deux extrémités, qui communiquent avec l'air par deux courts canaux horizontaux, disposition qu'on ne pourrait réaliser que dans une mon-



tagne, il est évident que, dans tous les cas, il arriverait le contraire de ce que nous avons dit pour un canal ayant la forme d'un siphon. Ainsi, quand l'air du canal sera plus froid que l'air extérieur, l'air du canal s'écoulera par l'orifice le plus bas; quand il sera plus chaud, l'écoulement aura lieu par l'orifice le plus élevé; et quand les deux orifices seront à la même hauteur, l'équilibre ne sera stable que quand l'air du canal sera plus chaud que l'air atmosphérique.

1916. Dans les deux formes différentes du canal, et quand les deux orifices ne sont pas à la même hauteur, on pourrait déterminer par le calcul la vitesse d'écoulement, si on connaissait la température de l'air dans les différentes parties du canal. Mais ces températures ne peuvent pas se déduire de celle de l'air atmosphérique et de celles des différents points de la paroi du canal, parce que l'air qui traverse le canal n'en prend point instantanément la température, et que la différence varie avec la section du canal, et la nature plus ou moins conductrice du terrain.

A plus forte raison il serait impossible de calculer les dimensions d'un canal qui, pour un état donné de l'air, et pour des températures également données des différentes couches du terrain, produisît un effet déterminé.

1917. *Ventilation par la chaleur.* On peut produire la ventilation par la chaleur de deux manières : 1° en échauffant l'air qui doit sortir; 2° en échauffant l'air à son entrée. Ce dernier mode de ventilation est employé, dans le cas où l'air vicié doit être remplacé par de l'air chaud, et que l'espace à ventiler se trouve à une assez grande hauteur, ou que l'air chaud s'écoule par le haut de la pièce. Ce mode d'aérage est surtout en usage pour le chauffage et la ventilation des salles dans lesquelles se réunissent un grand nombre de personnes, et dans certains séchoirs mal disposés (1285).

Dans la ventilation par le chauffage de l'air à sa sortie, il faut distinguer deux cas : 1° celui où l'air peut alimenter la combustion; 2° celui où la combustion doit avoir lieu par de l'air extérieur.

1918. *Cheminées d'appel dans lesquelles l'air appelé peut alimenter la combustion.* Ce cas se rencontre fréquemment, car c'est celui où l'air n'a pas été assez vicié pour devenir impropre à la combustion, et où l'espace à ventiler ne renferme pas de mélange explosif. Ces deux circonstances sont toujours réalisées dans les habitations; mais elles ne le



ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS.

sont pas toujours dans les galeries des mines de houille, parce que ces galeries renferment souvent des carbures d'hydrogène, dont le mélange avec l'air pourrait produire de violentes détonations s'ils étaient en communication avec un foyer.

1919. Dans le cas que nous considérons, le foyer d'appel est toujours alimenté par une partie de l'air appelé. Lorsque la ventilation doit être peu considérable, on peut se contenter de placer dans la cheminée une lampe à double courant d'air (fig. 1^{re}, pl. 110). Mais quand la ventilation doit être puissante, on emploie toujours un foyer alimenté par un combustible solide. La figure 2 représente la disposition la plus simple du foyer et de la cheminée. A est le foyer d'appel; B, la cheminée; D, la porte du foyer; et E, celle du cendrier, qu'on n'ouvre que pour enlever les cendres. Mais comme le combustible ne doit occuper qu'une partie de la surface de la grille, car autrement la température de l'air dans la cheminée serait trop élevée, et l'appel exigerait trop de combustible, cette disposition ne peut être employée que pour les combustibles qui brûlent facilement; elle aurait d'ailleurs l'inconvénient de diminuer la section de la cheminée par les barreaux de la grille. La disposition indiquée par la figure 3 est bien préférable; le foyer est latéral, toute la grille est couverte de combustible, et un registre G permet de faire passer à côté du foyer un volume plus ou moins considérable d'air. On peut aussi placer le foyer dans l'intérieur de la cheminée, comme on le voit figure 4.

1920. La hauteur d'une cheminée d'appel a une grande influence sur l'effet produit, du moins quand le canal d'appel a une grande longueur, ou que l'air appelé éprouve, par une cause quelconque, une grande résistance; car alors (390), la vitesse d'écoulement est presque proportionnelle à la racine carrée de la hauteur.

1921. Mais des accroissements assez considérables dans la température de l'air écoulé ne produisent que des accroissements assez faibles de tirage, tandis que les consommations de combustible augmentent suivant une loi très-rapide. En effet, il résulte du tableau (383), que pour des excès de température de

30°, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°,

les quantités d'air froid appelées sont proportionnelles aux nombres

4,93; 5,51; 5,98; 6,35; 6,66; 6,92; 7,13; 7,33.

Tandis que les quantités de chaleur consommées sont proportionnelles à chacun de ces nombres multipliés par l'excès de température, c'est-à-dire aux nombres

147; 220; 299; 381; 466; 484; 558; 641; 733.

Ainsi de 30° à 100° le tirage augmente dans le rapport de 1 à 1,5, tandis que la consommation de combustible augmente dans le rapport de 1 à 5. Le maximum d'effet aurait lieu, comme nous l'avons déjà dit, à 300° environ.

1922. On voit d'après cela, qu'il est toujours important d'employer des cheminées d'appel très-hautes, et très-larges, afin de ne porter l'air qu'à une température peu élevée.

1923. Les cheminées d'appel qui partent de la surface du sol ont rarement plus de 30 mètres de hauteur; mais celles qui sont employées à la ventilation des mines de houille, étant formées, en grande partie, par un puits qui descend jusqu'à la profondeur des travaux, ont souvent plus de 200 mètres de hauteur; pour ces dernières un prolongement plus ou moins considérable du canal au-dessus de la surface du sol est presque sans influence.

1924. Les cheminées d'appel présentent ces deux questions également importantes à résoudre: 1° déterminer l'effet produit par un appareil fonctionnant; 2° déterminer les dimensions d'une cheminée d'appel et la quantité de combustible qui doit être consommée pour produire un effet donné. Occupons-nous d'abord de la première question: elle peut être résolue de plusieurs manières.

1925. On peut d'abord mesurer directement l'effet produit, en observant la vitesse moyenne de l'air dans une section quelconque du canal, avant ou après le foyer. Ces sortes d'expériences se font avec une grande facilité au moyen de l'anémomètre de M. Combes, que nous avons décrit précédemment (300). Cette manière de mesurer l'effet d'une cheminée d'appel est applicable quelle que soit la forme du canal, pourvu que sa section ne soit pas trop petite, et que la vitesse de l'air soit au moins de 0^m,25, et c'est la meilleure et la plus sûre; nous indiquerons cependant d'autres moyens, moins exacts, qu'on pourrait employer à défaut d'anémomètre.

1926. On obtiendrait une évaluation approximative de la dépense





de la cheminée d'appel, si on connaissait le poids du combustible brûlé par heure et la proportion n d'oxygène libre que renferme l'air dans la cheminée. En effet, en désignant par v le volume d'air rigoureusement nécessaire pour brûler 1 kilogramme de combustible, et par V le volume d'air appelé en outre, par la combustion de chaque kilogramme de combustible, on aura évidemment

$$n = \frac{V \cdot 0,21}{V + v}; \quad \text{d'où} \quad V = \frac{nv}{(0,21 - n)}.$$

Par conséquent, le poids du combustible brûlé par heure étant représenté par P , le volume total d'air appelé dans le même temps, sera $Pnv : (0,21 - n) + Pv$. Mais cette méthode exige une trop grande précision dans l'estimation de la valeur de n ; car n diffère en général très-peu de 0,21, et une petite erreur sur sa valeur en produirait une très-grande sur celle de V . Par exemple, en prenant $v = 9$, pour $n = 0,20$, on a $V = 180$; et pour $n = 0,205$, on aurait $V = 369$. Ainsi cette méthode ne peut pas être employée avec assurance.

1927. On pourrait aussi calculer approximativement l'effet produit par une cheminée d'appel, si on connaissait le poids du combustible consommé dans une heure, et la température moyenne de l'air dans la cheminée. En effet, désignons par P le poids du combustible brûlé par heure, par t la température de l'air dans la cheminée, et par x le poids total de l'air appelé, la quantité de chaleur développée sera $7500P$, et on aura

$$4 \cdot \frac{7500P}{x} = t; \quad \text{d'où} \quad x = \frac{4 \cdot 7500P}{t} = \frac{30000P}{t}.$$

Cette formule suppose une houille de très-bonne qualité; mais comme en général on ne brûle dans les cheminées d'appel que de mauvaises houilles, on obtiendra un résultat plus approché en prenant pour P le poids du combustible employé diminué de celui des résidus.

1928. On parviendrait aussi à déterminer la dépense d'air par une cheminée d'appel, si on connaissait les dimensions du canal et la consommation de combustible. En effet, désignons par s la section de la cheminée, par t l'excès de la température de l'air de la cheminée sur celle de l'air extérieur, par v la vitesse d'écoulement, et par m la quantité de chaleur produite par seconde. Le volume d'air chaud écoulé par seconde sera vs ;



son poids sera $vs. 1,3:(1+at)$, et la quantité de chaleur nécessaire pour élever ce poids d'air à t° , sera $vs. 1,3.t : 4(1+at)$; ainsi nous aurons

$$m = \frac{vst. 1,3}{4(1+at)}; \quad \text{d'où} \quad t = \frac{4m}{1,3vs - 4am} \quad (1)$$

En désignant par L la longueur totale du canal, en supposant que sa section soit constante, ou celle d'un canal de même section que la cheminée qui présenterait la même résistance que le circuit réel, et en admettant que le frottement soit le même que dans un tuyau de terre cuite, nous aurons en même temps

$$v = 8,85\sqrt{\frac{HaD}{L+4D}} \quad (2)$$

H et D étant la hauteur et le côté de la cheminée.

Les équations (1) et (2) peuvent alors servir à déterminer les deux inconnues t et v . En négligeant $4D$ par rapport à L, elles donnent

$$v^2 = \frac{(8,85)^2.HaD.4m}{L(1,3vs - 4am)} = \frac{1,1748.H.Dm}{L(1,3.vs - 0,0146m)}$$

d'où l'on tire

$$v^2\left(v - \frac{0,0112m}{s}\right) = \frac{0,903HDm}{Ls} \dots\dots\dots (3)$$

Si on néglige d'abord le second terme du premier membre de l'équation (3), on obtiendra une première valeur de v , qui, substituée dans le second facteur du premier membre de l'équation, donnera une seconde valeur plus approchée, méthode de calcul qu'on continuera jusqu'à ce que deux valeurs consécutives diffèrent de moins de 0,01.

Supposons, par exemple, que la cheminée d'appel ait 20 mètres de hauteur, 1 mètre de section, le canal 600 mètres de longueur, et que la consommation de houille soit de 10 kilogr. par heure.

$$s = 1; \quad D = 1; \quad L = 600; \quad H = 20; \quad \text{et} \quad m = \frac{7500.10}{3600} = 21;$$

on obtiendra successivement pour v les valeurs suivantes :

$$0,84; \quad 1,02; \quad 0,90; \quad 0,97; \quad 0,93; \quad 0,95; \quad 0,95.$$

Ainsi la dépense par seconde sera de $0^m,95$, et par heure de $0^m,95.3600 = 3420^m$, à la température de t° . L'équation (1) donne $t = 90^\circ$.

1929. On peut également déduire de ces formules la température à



laquelle il faudrait élever l'air, et par suite la dépense de combustible, pour obtenir l'appel d'un volume donné d'air V . En effet, le volume d'air chaud qui s'écoule étant représenté par vs , on a

$$V = vs:(1 + at) = 8,85 \cdot s \sqrt{\frac{HaD}{L(1 + at)^2}},$$

équation qui peut se mettre sous la forme $(1 + at)^2 V^2 = nt$, en désignant par n , $(8,85)^2 \cdot s^2 \cdot HaD:L$, et qui donnera la valeur de t cherchée.

1930. *Cheminées d'appel dans lesquelles l'air appelé ne doit pas alimenter le foyer.* Il peut arriver qu'il n'y ait pas d'inconvénient à mêler la fumée avec l'air appelé, ou que le mélange ne soit pas possible; ce dernier cas se présente quand l'air appelé renferme des mélanges explosifs, ou quand il serait dangereux que, par l'action des vents, de l'air chargé de fumée rentrât dans les pièces ventilées.

1931. Dans le cas où la fumée peut être mêlée avec l'air d'appel, la disposition indiquée par la figure 5 (pl. 110) est la plus simple et la plus convenable; le foyer est placé latéralement et la fumée se rend directement dans la cheminée.

1932. Tout ce que nous avons dit relativement aux cheminées d'appel dont les foyers sont alimentés par l'air appelé, serait applicable au cas que nous examinons maintenant, attendu que le volume d'air appelé est toujours très-grand relativement à celui qui est employé à la combustion; il est rare que le premier volume ne dépasse pas 20 fois le second; c'est ce qui résulte de ce fait, que la température des gaz dans la cheminée excède bien rarement 50°.

1933. Reste enfin à examiner le cas où les gaz qui sortent du foyer ne peuvent pas être mêlés avec l'air appelé. Il faut alors, pour chauffer l'air dans la cheminée, employer des dispositions analogues à celles des calorifères. Les figures 6 et 7 (pl. 110) représentent les appareils les plus simples. Dans la première le foyer est latéral, et l'air brûlé monte dans un tuyau placé dans la cheminée; dans la seconde, c'est l'air d'appel qui s'élève dans le tuyau placé dans la cheminée. Mais dans ces deux dispositions on consommerait inutilement une grande quantité de combustible, parce que les surfaces de chauffe auraient une trop petite étendue, et que l'air qui doit être échauffé, marchant dans le même sens que la fumée, il y aurait très-peu de chaleur transmise.



1934. Une disposition beaucoup plus convenable est indiquée dans les figures 8 et 9; l'appareil de chauffage se compose d'un foyer latéral et de tuyaux horizontaux parcourus par la fumée et placés dans la cheminée. L'appareil représenté par les figures 10, 11 et 12 serait beaucoup plus convenable encore, et pourrait être établi après la construction de la cheminée. Il se compose de deux calorifères à tubes horizontaux comme ceux des figures 9 et 10 (pl. 80); un registre tournant oblige l'air d'appel à circuler autour des tubes. La figure 10 est une coupe verticale suivant xx' ; la figure 11, une coupe horizontale suivant yy' ; et la figure 12, une coupe verticale suivant zz' .

1935. La figure 13 (pl. 110) représente une espèce de calorifère construit par M. Coqueril pour chauffer l'air d'une cheminée d'appel. L'appareil est placé à côté de la cheminée, et consiste en un gros tuyau de tôle placé au-dessus du foyer et logé dans une enveloppe en maçonnerie qui communique par le haut et par le bas avec la cheminée d'appel. Cet appareil, par la mauvaise disposition des surfaces de chauffe, doit produire peu d'effet.

1936. On pourrait aussi chauffer l'air dans la cheminée d'appel, au moyen d'un calorifère à vapeur ou à eau chaude. La figure 14 représente un appareil dans lequel le chauffage de l'air a lieu par la circulation de l'eau chaude dans un tuyau qui forme deux hélices coniques.

1937. Dans le cas dont il s'agit, le combustible est employé moins utilement que quand la fumée est mêlée avec l'air d'appel; mais les appareils peuvent être construits de manière à utiliser les 0,9 de la chaleur produite dans les foyers.

1938. Tous les calculs que nous avons indiqués dans le cas où l'air d'appel alimente la combustion, seraient applicables au cas actuel, en diminuant de $\frac{1}{10}$ la puissance calorifique du combustible.

1939. Dans toutes les cheminées d'appel chauffées par l'air brûlé, que l'air d'appel soit ou non employé à produire la combustion, comme la vitesse d'écoulement de la fumée est très-petite, le tirage est fortement influencé par les vents, et il est indispensable de garnir le sommet de la cheminée d'un appareil destiné à soustraire le tirage à l'action des vents, ou mieux d'un des appareils décrits dans le premier volume, qui font concourir le vent à l'accroissement du tirage.

1940. Dans certaines circonstances on peut produire la ventilation



par les cendriers des fourneaux. Ce mode d'appel est certainement le plus ancien de tous, car c'est celui des cheminées domestiques et des poêles. Mais il a l'inconvénient d'être limité à 20 mètres cubes d'air par kilogramme de houille brûlé, quand les foyers sont disposés de manière à produire le maximum d'effet. Ce tirage peut suffire dans certaines circonstances, par exemple quand les foyers sont employés à d'autres usages que le chauffage de l'air, et qu'ils consomment une très-grande quantité de combustible, ou quand la ventilation ne doit pas être très-grande. Ce mode d'appel peut cependant être employé quand le foyer sert déjà à un objet quelconque, pourvu que la grille reste en partie découverte, et que les carneaux ainsi que la cheminée aient une section suffisante; mais on dépenserait autant de chaleur que par un foyer spécial pour l'appel, et avec certains combustibles, la faible température du foyer occasionnerait une grande perte de chaleur.

1941. La ventilation peut encore être produite par une machine ou par l'action directe de la vapeur; nous avons donné à ce sujet, dans le premier volume de cet ouvrage, tous les détails nécessaires; nous ne les reproduirons pas, mais nous examinerons d'une manière générale les circonstances dans lesquelles chaque mode de ventilation doit être préféré.

1942. Quand la ventilation n'exige pas que l'air, dans la cheminée d'appel, ait une grande vitesse, tous les modes de ventilation peuvent être employés. Mais si le travail à dépenser est peu considérable, s'il est inférieur à celui pour lequel on pourrait établir une machine à vapeur, la ventilation par la chaleur doit être préférée, à cause de la continuité de l'effet, de la simplicité des appareils, et du peu d'avantage qu'il y aurait à employer l'action directe des hommes ou des animaux. Si cependant une machine à vapeur se trouvait dans le voisinage, il serait plus avantageux de produire la ventilation au moyen d'un ventilateur à force centrifuge.

1943. Lorsque le travail qu'exige la ventilation est très-considérable, dans le plus grand nombre de cas, l'emploi des machines mues par la vapeur, est beaucoup plus avantageux que l'emploi d'une cheminée d'appel; mais l'avantage est d'autant moins grand que la hauteur de la cheminée est plus considérable. Dans tous les cas de ventilation des habitations, le ventilateur à force centrifuge, à ailes planes, et à enveloppe excentrique, doit être préféré à tous les autres appareils, à



cause de sa simplicité, de l'absence de tout ajustement et du peu de place qu'il occupe. Ce n'est que dans l'aérage des mines qu'on peut hésiter entre les différentes formes de ventilateurs et les machines à pistons. Nous reviendrons sur cette question à la fin de ce chapitre.

§ 4. — QUANTITÉS DE CHALEUR TRANSMISES PAR LES VITRES ET PAR LES MURAILLES DES HABITATIONS.

1944. Considérons une enceinte fermée de toute part, par des vitres, et par des murailles d'une même épaisseur, et supposons que, par un mode de chauffage quelconque, l'air intérieur soit maintenu à une température constante, supérieure à la température extérieure. Si au commencement du chauffage les murailles ont la température extérieure, elles s'échaufferont progressivement, et après un temps plus ou moins long chaque point aura acquis une température qui restera constante, tant que les températures intérieures et extérieures ne varieront pas. A cet instant le régime sera établi, un flux constant de chaleur traversera l'enveloppe, et l'on pourra considérer la surface intérieure des murailles comme ayant sensiblement la température de l'air intérieur.

1945. En désignant par t et par t' les températures intérieure et extérieure, si elles ne diffèrent que d'un petit nombre de degrés, la quantité de chaleur qui s'écoulera à chaque instant, sera proportionnelle à $t - t'$; et celle qui s'écoulera par heure et par mètre carré de muraille sera égale, d'après ce que nous avons dit (1828), à

$$\frac{KC(t - t')}{Ke + C}. \quad (1)$$

1946. Ainsi, quand on connaîtra la conductibilité C des matériaux qui forment la muraille, la transmission K de sa surface extérieure, l'étendue de la surface intérieure, et la différence des températures intérieure et extérieure, on calculera facilement la quantité de chaleur transmise par heure de l'intérieur à l'extérieur.

1947. La température la plus convenable pour des lieux habités étant de 15° , en supposant une température extérieure de -5° , qui est rarement dépassée dans nos climats, il suffira de calculer le chauffage pour une différence de 20° .

1948. Si les murailles sont en pierre de taille de l'espèce de celle qui est employée à Paris, on prendra $K = 9$, $C = 0,8$, $t - t' = 20$, et on trouvera que pour des épaisseurs de 0^m,20; 0^m,30; 0^m,40; 0^m,50; 0^m,60, les quantités d'unités de chaleur qui seraient transmises par mètre carré, et par heure, sont

55, 41, 32, 27 et 23.

Dans les mêmes circonstances, si la muraille était en briques, les quantités de chaleur émises seraient de

45, 33, 25, 21 et 18.

1949. Les quantités de chaleur transmises seraient même un peu plus petites que celles que nous venons de trouver, attendu que les surfaces intérieures sont presque toujours à une température inférieure à celle de l'air; mais comme la différence est en général très-petite, nous n'y aurons pas égard.

1950. Quant aux vitres, on ne peut pas supposer que leurs surfaces intérieures soient à la température de l'enceinte, la différence est trop grande. On ne peut pas non plus se servir des résultats que nous avons obtenus dans le cas du refroidissement d'un vase recouvert successivement d'une ou de plusieurs cloches de verre, parce que les circonstances diffèrent complètement de celles dans lesquelles se trouvent les vitres des appartements. Pour déterminer la quantité de chaleur transmise par les vitres, j'ai employé un vase en fer-blanc formé de deux demi-cylindres concentriques dont les diamètres et les hauteurs différaient de 0^m,06; les bords des deux enveloppes étaient réunis par une lame de fer-blanc; le vase était recouvert intérieurement de papier blanc, et sa partie supérieure était percée de plusieurs orifices qui donnaient passage à des thermomètres et à des agitateurs. Le vase étant rempli d'eau chaude, on observait la durée du refroidissement, d'un même nombre de degrés, quand la cavité intérieure du vase était fermée par un autre vase de même forme et de même dimension, et renfermant de l'eau à la même température, et quand cette cavité était fermée par une vitre ou par plusieurs plus ou moins espacées. La première expérience donnait la quantité de chaleur transmise par la surface extérieure du vase, les autres la somme des quantités de chaleur transmises par la



surface extérieure du vase et les cadres garnis de vitres qui fermaient la cavité; alors il était facile de calculer les quantités de chaleur transmises par les cadres et par les vitres, et ensuite celles qui étaient transmises par les vitres seulement, en retranchant la chaleur transmise par les cadres, obtenue par d'autres expériences. Je rapporterai seulement les résultats de ces expériences.

Quantités de chaleur transmises, par mètre carré, par heure et pour une différence de température de 1°, entre l'air extérieur et l'air intérieur.

Une seule vitre.....	3,66.
Une seule vitre recouverte en dedans d'une mousseline légère.	3
2 vitres à une distance de 0 ^m ,04.....	1,70
2 vitres à une distance de 0 ^m ,02.....	1,70
2 vitres à une distance de 0 ^m ,05.....	2
2 vitres en contact.....	2,5

1951. Ainsi, en désignant par S la surface des murailles d'une pièce exposées à l'air libre, par S' la surface des vitres, par t le plus grand excès de température qui puisse exister dans la saison la plus froide, et en conservant les notations déjà employées, la quantité totale de chaleur qui sera transmise et qui devra être fournie par les appareils de chauffage, sera

$$St \cdot \frac{Kc}{Ke + C} + 3,7S't \dots \quad (2)$$

1952. Mais tous les appareils de chauffage, même ceux à eau chaude, n'étant pas permanents, il faudrait bien se garder d'en déterminer les dimensions d'après les nombres que nous venons de donner; car tous doivent avoir un excès de puissance, destiné à rétablir le régime perdu pendant la nuit, et cela dans un petit nombre d'heures.

1953. Prenons pour exemple une muraille ayant 0^m,33 d'épaisseur, dont la surface intérieure soit à 20°, et qui se trouve en contact par l'autre avec de l'air à 0°. Quand le régime est établi, la surface extérieure est à une température $t' = Ct : (Ke + C)$, qui dans le cas actuel est égale à 4. La densité de la pierre étant à peu près égale à 2, et sa chaleur spécifique à peu près 0,2, la quantité de chaleur renfermée dans chaque mètre carré de muraille, est égale à $330 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 12 = 1584$ unités de chaleur. Si la muraille était à 0°, on ne parviendrait jamais à l'échauffer au point qui correspond à une température intérieure de 20°, en ne four-

1962. Mais quand on n'utilise que la chaleur rayonnante, et c'est ce qui arrive ordinairement, ces appareils consomment beaucoup de combustible, en produisant peu d'effet pour le chauffage; d'abord, parce qu'une partie seulement de la chaleur rayonnée pénètre directement dans la pièce, et que la chaleur rayonnée n'est qu'une partie de la chaleur totale développée; en second lieu, parce que l'air appelé par la cheminée n'étant pas préalablement chauffé, et arrivant directement de l'extérieur par les fissures des portes et des fenêtres, produit un refroidissement qui n'est pas toujours compensé par le rayonnement du foyer; de sorte que quand l'air extérieur est à une basse température, on parvient rarement par les foyers découverts, à maintenir dans les appartements la température convenable. En outre, lorsque les cheminées ne sont pas pourvues de ventouses d'une section suffisante, elles sont sujettes à fumer; et quand il y a des ventouses d'une grande section, comme elles débouchent toujours près du foyer, l'air qu'elles fournissent est appelé immédiatement par la cheminée, et l'air de la pièce n'est pas renouvelé.

1963. Les poêles, de quelque nature qu'ils soient, ont l'avantage de produire un chauffage très-économique, parce qu'ils peuvent utiliser presque toute la chaleur produite dans le foyer. Mais ils sont insalubres parce qu'ils ne produisent pas une ventilation suffisante.

1964. Les calorifères intérieurs jouissent des mêmes avantages que les poêles, et ils ont le même inconvénient, quand il n'y a pas de dispositions spéciales pour le renouvellement de l'air. Quant aux calorifères placés en dehors des pièces et qui les chauffent par des courants d'air chaud, les courants ne peuvent exister que par un renouvellement d'air; ainsi, ce mode de chauffage sera à la fois salubre et économique, si l'air n'est pas à une trop haute température, si le volume d'air qui traverse la pièce est suffisant, et si le calorifère n'est pas placé à une assez grande distance de la pièce pour qu'une grande partie de la chaleur de l'air échauffé se dissipe dans le trajet.

1965. Mais, par tous ces modes de chauffage, lorsque les appareils sont convenablement disposés, on peut satisfaire à toutes les conditions de chauffage et de ventilation.

D'abord, avec les foyers découverts, il est facile de faire disparaître complètement tous les inconvénients que nous avons signalés, excepté



pourtant celui de l'excès de dépense de ce mode de chauffage sur les autres. En effet, si le tuyau de cheminée a une section seulement suffisante, ou s'il est pourvu d'un registre au moyen duquel on puisse régler l'appel, et si par un des différents moyens que nous avons indiqués précédemment, ou par d'autres moyens équivalents, l'air extérieur appelé, introduit autour du foyer par un canal d'une section suffisante, ne pénètre dans la pièce qu'après avoir été échauffé à 15 ou 20°, il ne reste plus dans ce mode de chauffage que l'inconvénient d'une plus grande consommation de combustible qu'avec les autres appareils; mais cet inconvénient se trouve compensé par la vue du feu.

1966. Les poêles peuvent toujours être disposés de manière à chauffer l'air de ventilation ou par des tuyaux intérieurs, ou entre leur surface extérieure et une double enveloppe; mais il faut que le canal d'appel ait une section suffisante. En outre, la cheminée dans laquelle se rend le tuyau à fumée du poêle, est toujours assez large et assez échauffée, pour produire un appel suffisant, quand elle est ouverte par le bas sur une assez grande étendue.

1967. Quant aux calorifères, il est facile de voir, que quand ils n'occasionnent pas nécessairement une puissante ventilation, il est toujours facile de la leur faire produire.

Examinons maintenant avec quelques détails les dispositions des appareils de chauffage les plus convenables dans les principales circonstances qui se présentent.

1968. Pour les pièces vastes, élevées, dans lesquelles on ne séjourne que peu de temps, et dont les portes sont fréquemment ouvertes, telles que les antichambres, les salles à manger, les poêles sont très-convenables, surtout les poêles en terre cuite, ou à eau chaude, parce qu'ils se refroidissent lentement et que les foyers peuvent n'être alimentés qu'à de longs intervalles.

Le chauffage des antichambres par des poêles, est surtout très-avantageux, quand ces pièces sont contiguës à d'autres qui sont pourvues de cheminées, parce que les poêles peuvent alors servir à chauffer l'air appelé par les cheminées; mais il faut pour cela que les tuyaux placés dans l'intérieur des poêles aient une grande section, qu'ils communiquent avec l'extérieur par un large canal, et que les orifices de dé-



gagement de l'air chaud dans les pièces à cheminée aient aussi une grande section. Cette disposition est employée quelquefois; mais les bouches de chaleur sont beaucoup trop petites, rarement elles ont plus de 8 à 10 centimètres de diamètre, et leur ouverture est obstruée ou par des toiles métalliques ou par des découpures; ces bouches, ainsi que le canal par lequel l'air extérieur est appelé, doivent avoir une grande section, afin qu'elles fournissent un grand volume d'air à une température peu élevée. Les fumistes persistent à donner aux bouches d'écoulement de l'air échauffé de très-petites dimensions, parce qu'alors l'air en sort avec une très-grande vitesse et une très-haute température, et qu'ils pensent que l'effet produit par le calorifère est d'autant plus grand que la vitesse d'écoulement de l'air et sa température sont plus considérables; mais il n'en est rien, car le volume d'air écoulé augmente avec l'étendue des orifices, et les surfaces de chauffe transmettent d'autant plus de chaleur à l'air qu'il est à une basse température; d'ailleurs, il est important de ne pas échauffer trop fortement l'air, afin de ne pas lui faire acquérir une mauvaise odeur. Des poêles en fonte disposés comme l'indiquent les figures 10, 11 et 12 (pl. 72), seraient préférables aux poêles en terre cuite, surtout quand ces derniers sont engagés dans les murs. On pourrait de même n'alimenter les foyers qu'à de longs intervalles, en employant des houilles sèches, combustibles qui brûlent lentement et qui ont en outre l'avantage de ne pas produire de fumée. Les poêles à eau chaude présenteraient encore plus d'avantages.

1969. Lorsque les pièces servent de réunion à un grand nombre de personnes, et qu'elles communiquent à de vastes antichambres chauffées par des poêles, la chaleur produite par les appareils d'éclairage et par les personnes réunies, est en général assez considérable, pour qu'un foyer de cheminée suffise au chauffage et à la ventilation. Il arrive quelquefois cependant que dans les grands salons qui réunissent un grand nombre de personnes, l'air est tellement vicié, que les appareils d'éclairage en sont fortement affectés; mais le plus souvent cet effet ne provient pas d'une action insuffisante de la cheminée pour renouveler l'air, mais de ce que les orifices d'accès de l'air extérieur n'ont pas assez de surface; car, en général, les sections des cheminées des grands salons peuvent suffire à l'appel de l'air nécessaire à une très-grande réunion de personnes, quand toutefois l'air extérieur a un libre accès dans la pièce.



Je rapporterai à cette occasion une expérience qui a été faite dans une des salles de la société d'encouragement. En introduisant dans l'intérieur d'une cheminée dont le foyer était éteint, le tuyau d'un poêle de M. Chevalier, dont la fumée s'échappait à 107° , la cheminée appelait par heure de 1400 à 1600 mètres cubes d'air, indépendamment de celui qui alimentait le poêle; or cette ventilation aurait suffi à près de 300 personnes, et elle aurait été certainement beaucoup plus grande encore si le foyer de la cheminée avait été en activité. La cheminée avait à peu près $0^{\text{m}},20$ de section. Ainsi, dans la plupart des cas, les cheminées des salons sont suffisantes pour la ventilation; mais il est rare que ces cheminées produisent tout l'effet qu'elles peuvent produire, à cause de l'insuffisance des orifices d'appel.

1970. Ce qu'il y a de plus convenable pour les grands salons, consiste à placer sur la face opposée à celle où se trouve la cheminée, une large bouche ayant une section peu différente de celle de la cheminée, et alimentée par un calorifère placé dans une pièce voisine et communiquant avec l'air extérieur par un canal à grande section. On pourrait modérer à volonté la température de l'air appelé, en conservant cependant à la cheminée toute son efficacité. Les poêles d'antichambre convenablement disposés serviraient très-bien pour cet objet.

1971. Pour les pièces d'une plus petite dimension, qui sont constamment habitées, et par un plus petit nombre de personnes, il est nécessaire que l'appareil de chauffage, quel qu'il soit, satisfasse à la double condition du chauffage et de la ventilation. Mais, de tous les appareils généralement employés, il n'en est aucun qui remplisse ces deux conditions: les poêles chauffent mais ne ventilent pas, et les cheminées ventilent sans chauffer suffisamment. Il est cependant facile, comme nous l'avons déjà dit, de disposer les appareils de manière à leur faire produire ces deux effets au degré convenable.

1972. Les poêles, de quelque manière qu'ils soient disposés, pourvu qu'ils abandonnent la fumée à une température assez élevée, qui soit, par exemple, supérieure à 50° , et presque tous se trouvent dans ce cas, produisent dans la cheminée où ils versent leurs fumées, un tirage assez grand pour produire une ventilation suffisante quand on établit une communication entre la pièce et la cheminée. Ainsi, en fermant l'ouverture d'une cheminée dans laquelle débouche le tuyau d'un



poêle, par une plaque dans laquelle on aura ménagé des ouvertures susceptibles d'être augmentées ou diminuées, on pourra régler la ventilation au point convenable, quand elle ne doit pas être très-grande, ce qui a toujours lieu pour les pièces dont il s'agit maintenant. Cette disposition a été employée avec les poêles de M. Chevalier et on a obtenu de très-bons résultats : il ne pouvait pas en être autrement d'après l'expérience rapportée précédemment. Par cet arrangement, l'air appelé est fourni par les fissures des portes et des fenêtres ; mais rien ne serait plus facile que de faire passer dans des tuyaux de chauffage, ou entre le poêle et une enveloppe, de l'air extérieur qui ne pénétrerait dans la pièce qu'après avoir été échauffé. Ce dernier mode de chauffage serait certainement le plus économique de tous ; il n'aurait contre lui que l'inconvénient de ne pas laisser voir le feu, inconvénient qu'on pourrait même faire disparaître, en employant des poêles à portes glissantes qui pourraient rester plus ou moins élevées.

1973. Quant aux foyers découverts tels qu'on les construit généralement, tous ont un très-grand tirage et chauffent très-peu. Mais on peut réduire par un registre leur tirage au degré convenable, et on peut chauffer l'air d'appel au moyen de la chaleur de la fumée ; les dispositions indiquées par les figures de 9 à 22 (pl. 68) satisfont à cette condition, et ces appareils pourraient être modifiés d'un grand nombre de manières.

1974. Ainsi, en résumé, pour les antichambres et les salles à manger des poêles à chauffage lent ou rapide, mais à grandes bouches d'air chaud alimentées par l'air extérieur et pouvant fournir à l'appel des cheminées des pièces voisines. Pour les salons, de grandes cheminées ordinaires à foyers fixes ou mobiles, avec ou sans registres, mais sans ventouses, à la condition d'avoir dans la même pièce et du côté opposé à la cheminée, de grandes bouches d'air chaud pouvant fournir un volume d'air égal à celui qui est dépensé par la cheminée. Enfin, pour les petites pièces d'habitation, des foyers découverts chauffant, par le rayonnement et par la fumée, l'air d'appel fourni par une ventouse d'une section suffisante, dont la cheminée est pourvue d'un registre, et la face antérieure d'un tablier mobile, qui permettent de faire varier l'activité de la combustion, l'appel et la température de l'air appelé.

Après ces considérations générales sur le chauffage des habitations, nous donnerons quelques exemples particuliers.



1975. La figure 1^{re} (pl. 111) représente la disposition du chauffage d'une pièce X, qui n'avait point de cheminée. La pièce précédente Y, qui servait d'antichambre à la première, a reçu un calorifère A, garni d'une large bouche à air chaud D, et dont le tuyau à fumée BB débouchait dans la cheminée C, entièrement fermée par la partie inférieure. On a placé ensuite dans la pièce X un foyer découvert E dont le tuyau F traverse la salle Y, et vient se rendre dans la cheminée C. Cet appareil a bien réussi. On augmente à la fois le chauffage et la ventilation de la pièce X en augmentant l'activité du feu dans le foyer E. Cette disposition a été employée à l'École centrale. La pièce Y est occupée par les bureaux ; la pièce X est le cabinet du directeur. Cette dernière pièce, qui est très-élevée, et qui est éclairée par une très-grande fenêtre, n'avait jamais pu être chauffée : elle l'est maintenant très-facilement et avec un feu très-faible dans la cheminée E. La bouche D est rectangulaire ; elle a 0^m,40 sur 0^m,20 ; sa surface est 20 fois plus grande que celle de la bouche que le fumiste qui a construit le calorifère voulait établir ; mais c'est évidemment dans la grandeur de cette bouche que réside l'efficacité de l'appareil. Ce mode de chauffage n'a présenté qu'un seul inconvénient : les tuyaux de chauffe, dans le calorifère A, n'étant fixés qu'avec de la terre, comme dans les autres calorifères du même genre, il arrive que, quand le tirage de la cheminée E l'emporte sur celui de la cheminée B, un peu d'air brûlé, et par suite un peu de fumée, passe dans l'air chaud qui débouche dans le canal D. Cette quantité de fumée est très-petite, tout à fait insensible à l'odorat, mais à la longue elle finit par donner une légère teinte de bistre au mur qui est au-dessus de la bouche à air chaud. Le mélange d'une petite quantité de fumée à l'air chauffé dans les calorifères est inévitable, quand la vitesse du courant d'air chaud l'emporte sur celle de l'air brûlé, car on n'a aucun moyen de rendre étanches les joints des métaux et de la terre cuite. Mais on pourrait en faire disparaître les traces en employant pour combustibles du coke ou des houilles sèches, ou en brûlant un combustible quelconque, si on avançait dans la pièce l'extrémité du tube D, ou si on plaçait à la partie supérieure de la bouche une plaque inclinée qui éloignât la veine d'air chaud du mur.

1976. Les figures 2 et 3 représentent une pièce chauffée et ventilée par un poêle. A, B, C, sont trois dispositions différentes des orifices

d'appel de l'air de la pièce, dans la cheminée où débouche le tuyau du poêle. A et B sont des plaques de cuivre percées d'orifices rectangulaires séparés par des intervalles pleins de mêmes dimensions ; deux plaques identiques sont placées l'une sur l'autre ; l'une est fixe, et l'autre peut glisser sur la première d'une quantité égale à la largeur des espaces pleins ou vides ; par cette disposition on peut fermer à la fois plus ou moins tous les orifices. L'appareil C est analogue ; il est formé de deux plaques de cuivre circulaires, l'une fixe, l'autre mobile autour d'un axe passant par le centre commun ; toutes deux sont divisées en secteurs égaux alternativement pleins et vides.

1977. On voit dans les figures 4 et 5 une disposition analogue appliquée à un poêle à enveloppe.

1978. Dans ces derniers appareils l'air de ventilation est fourni par les fissures des portes et fenêtres. Dans l'appareil représenté figure 6, l'air qui passe entre le poêle et son enveloppe arrive directement de l'extérieur par un tuyau A ; la fumée s'écoule dans la cheminée par le tuyau B et l'air par l'orifice C.

1979. La figure 7 représente les appareils de chauffage et de ventilation d'un grand salon. A est un calorifère métallique à air chaud et à double enveloppe, recevant directement l'air extérieur qui doit être échauffé ; B est une cheminée située sur la face opposée, qui sert principalement de cheminée d'appel. Le calorifère A pourrait être placé dans une pièce voisine, et la bouche de chaleur contre le mur ou dans des colonnes qui seraient disposées de manière à les dissimuler. Les bouches doivent avoir au moins la section de la cheminée, et à peu près 0^m,20 pour les très-grandes pièces.

1980. La figure 8 est une disposition analogue à celle de la figure 6, mais dans laquelle la cheminée est formée de tuyaux. A est le tuyau d'appel d'air froid ; B, le tuyau à fumée ; C, le tuyau d'évacuation de l'air de la pièce ; il enveloppe le tuyau à fumée, afin que la chaleur de ce dernier produise le tirage nécessaire.

1981. Les figures 9 et 10 (pl. 111) représentent une disposition analogue à la précédente. Un calorifère A est placé entre deux croisées ; l'air brûlé s'écoule par les deux tuyaux B qui se réunissent dans une cheminée commune C ; l'air extérieur entre par les orifices annulaires D, D, qui environnent les tuyaux de sortie de l'air E. Ces derniers se rendent dans



un tuyau vertical qui enveloppe le tuyau à fumée. Les orifices de sortie E, E, sont placés sur la face antérieure de deux caisses placées dans les soubassements des croisées.

1982. La figure 11 représente une disposition dans laquelle l'air d'appel et l'air à sa sortie, sont chauffés dans le tuyau à fumée. AA, tuyau à fumée; BB, tuyau d'appel de l'air extérieur; ce tuyau est garni d'un appendice E, au moyen duquel, en fermant les registres *a* et *c*, et ouvrant le registre *b*, on peut faire passer l'air de la pièce dans le tuyau B. D, tuyau d'écoulement de l'air de la pièce.

1983. Toutes les dispositions que nous avons indiquées lorsque l'air appelé est fourni par les fissures des portes et des fenêtres, sont faciles à exécuter. Mais quand il s'agit de produire une ventilation d'air chaud, il n'en est plus ainsi, parce qu'en général les maisons particulières n'ont pas de tuyau d'appel, et que quand il existe des ventouses, elles ont presque toujours des sections trop petites; alors, il faut établir des communications à travers les planchers, et percer des murs, opérations qui présentent souvent des difficultés, et qui occasionnent toujours des frais assez considérables. Jusqu'ici les architectes ne se sont pas occupés des conditions de chauffage des appartements; tous les détails de construction des appareils sont abandonnés à des fumistes le plus souvent fort ignorants, qui se bornent à placer des poêles et des cheminées d'une forme élégante, sans s'inquiéter des effets qu'ils produiront.

1984. On a de la peine à comprendre que cet état de choses subsiste encore, quand on pense que l'énorme volume d'air qui s'écoule par les cheminées des appartements est uniquement fourni par les fissures des portes et des fenêtres, que l'absence de fumée est plutôt un accident qu'un état normal, et enfin, quand on songe au malaise et aux inconvénients de toute espèce que présente le mode de chauffage habituel. Mais il faut espérer que les architectes finiront par sentir la nécessité de s'occuper eux-mêmes, et avant la construction des maisons d'habitation, de toutes les conditions qu'exige un chauffage à la fois salubre et économique.

1985. Je suis persuadé qu'une maison à loyer, dont chaque pièce serait pourvue d'un tuyau d'appel d'une section suffisante, qui déboucherait dans l'appareil de chauffage, de manière à alimenter la pièce d'air chaud, présenterait de si grands avantages, que l'accroissement du prix des loyers, et la diminution des non-valeurs, indemni-



seraient promptement le propriétaire des dépenses que ces dispositions auraient occasionnées.

§ 6. — CHAUFFAGE DES ÉDIFICES PUBLICS.

1986. Nous ferons précéder l'examen des principaux cas particuliers, de quelques considérations générales sur les différents modes de chauffage, de ventilation, et de renouvellement de l'air dans les pièces.

1987. Le chauffage peut avoir lieu : 1° par des poêles de différentes formes et de différentes matières, renfermant de l'air chaud, de la vapeur ou de l'eau chaude, en mouvement; c'est-à-dire, par le rayonnement de surfaces échauffées, et le contact de l'air des pièces avec ces surfaces; 2° par de l'air chaud, chauffé dans des calorifères de différente nature placés au loin, ou chauffé dans l'espace qui se trouve entre le foyer et les pièces, par des tuyaux à fumée, à vapeur ou à eau chaude, logés dans des tuyaux d'un plus grand diamètre parcourus par l'air.

1988. Indépendamment de toute considération de ventilation et de dépense, les poêles à vapeur, ou à eau chaude, sont préférables aux poêles à air chaud en briques ou en métal, du moins pour les grands établissements, parce que ces derniers produisent des effets trop variables, que chacun exige un foyer particulier, et que les poêles en métal sont susceptibles de donner une mauvaise odeur à l'air quand la combustion est trop vive.

1989. Le chauffage intérieur à l'eau chaude à basse pression, est préférable au chauffage à vapeur, parce que les appareils à eau chaude sont beaucoup plus simples, plus faciles à diriger, qu'ils n'exigent point d'appareils d'alimentation, de nettoyage des chaudières, qu'ils s'altèrent moins par l'usage; enfin, parce que la grande masse d'eau qu'ils renferment produit une grande régularité dans le chauffage, malgré les plus grandes irrégularités dans l'alimentation du foyer, et que le chauffage se prolonge longtemps après l'extinction du feu. Deux considérations seulement sont défavorables à ce mode de chauffage: c'est, d'une part, les effets fâcheux qui pourraient résulter d'une fuite dans les tuyaux; en second lieu, la perte de chaleur provenant de la continuité du chauffage. Le premier inconvénient est réel, d'autant plus que les joints des tuyaux à eau sont plus difficiles à rendre étanches que ceux des tuyaux à va-

peur, et que la pression dans les appareils de chauffage est souvent considérable, du moins dans les étages inférieurs. A la vérité, les grands chauffages à eau chaude qui existent depuis longtemps en Angleterre et ceux qui ont été construits depuis quelques années en France par M. L. Duvoir, n'ont donné lieu à aucun accident grave; mais, malgré cela, et tous les soins qu'on peut apporter dans la construction des appareils, il y a quelques chances à courir et une surveillance à exercer qui diminuent les avantages de ce système de chauffage. Mais on peut diminuer les chances de fuite et atténuer leurs effets, en établissant des circuits partiels chauffés séparément par la vapeur, comme nous le dirons plus loin. Quant à l'accroissement de dépense résultant de la permanence du chauffage, il existe également, quoique le chauffage décroisse avec le refroidissement de l'eau; mais la perte de chaleur pendant la nuit excède peu cependant celle qui aurait lieu, si les appareils de chauffage ne fournissaient point de chaleur, parce que, dans ce dernier cas, le décroissement de la température intérieure ne serait pas beaucoup plus rapide, à cause de la grande quantité de chaleur renfermée dans les murailles. Dans les circonstances ordinaires, et quand les murailles sont épaisses, je pense que ces pertes sont dans un rapport qui n'excède pas celui de 3 à 2. Mais la continuité du chauffage, malgré son décroissement, diminuant le refroidissement que les murailles intérieures éprouveraient si le chauffage était suspendu, dispense de donner à l'appareil un grand excès de puissance, et la continuité elle-même présente, dans la plupart des circonstances, de grands avantages, et quelquefois même elle est indispensable.

1990. Quant au chauffage à eau chaude à haute pression, système de M. Perkins, les appareils sont simples, faciles à placer et à diriger; mais comme chaque circuit ne peut avoir qu'une longueur limitée, ce mode de chauffage ne peut être employé que pour échauffer des pièces voisines du foyer, et dont les surfaces de refroidissement ne dépassent pas une certaine étendue. D'après M. Gandillot, dans les appareils qu'il construit, la pression ne dépasse pas 5 atmosphères, les surfaces de chauffe transmettent deux fois plus de chaleur que dans le chauffage à vapeur, et le courant, pour une hauteur de 4 à 5 mètres, peut avoir 450 mètres de développement; d'après cela, un seul foyer pourrait chauffer des pièces voisines ordinaires ayant de 6000 à 7000 mètres





cubes de capacité. Ce mode de chauffage peut être avantageux dans un grand nombre de cas.

1991. Parlons maintenant du chauffage des pièces par de l'air chaud, chauffé dans des calorifères. De quelque nature que soit l'appareil, aussitôt que l'air chaud a un long trajet à parcourir pour se rendre dans le lieu qui doit être échauffé, ce mode de chauffage occasionne une perte très-grande de combustible, à cause du refroidissement de l'air dans les tuyaux de conduite. Cette perte est énorme quand les tuyaux sont placés dans le sol; et elle est encore très-grande quand les tuyaux sont isolés et entourés de matières peu conductrices. C'est un fait bien constaté par l'expérience, et qui résulte de ce que l'air n'a qu'une faible chaleur spécifique, qu'on ne peut jamais lui imprimer une grande vitesse, et par conséquent que les tuyaux de conduite doivent avoir une très-grande section et de très-grandes surfaces de refroidissement.

1992. Ainsi, le chauffage des pièces par de l'air chauffé dans des calorifères, ne peut être avantageux qu'autant que l'air chaud n'a pas un grand trajet à parcourir. Alors on peut employer les différents calorifères dont nous avons parlé. Les plus simples sont les calorifères à fumée; mais ils ont l'inconvénient de donner quelquefois à l'air une mauvaise odeur. Les calorifères à eau chaude sont compliqués, plus chers; mais ils exigent moins de surveillance et donnent des effets plus constants qui se prolongent longtemps après l'extinction du foyer.

1993. Si le foyer ne peut être placé qu'à une grande distance des pièces, il faut transmettre la chaleur par les corps qui, sous le même volume, renferment le plus de chaleur, et auxquels on puisse imprimer une grande vitesse, afin de pouvoir les faire circuler dans des canaux ayant une petite section, qui alors dans toute leur étendue ne transmettent qu'une petite quantité de chaleur. On ne peut alors employer que la vapeur et l'eau; et la vapeur est plus avantageuse, parce qu'on peut donner aux tuyaux de conduite une moindre section, et les contourner sans que les sinuosités s'opposent au mouvement de la vapeur. Lorsque le bâtiment qui doit être échauffé est à une grande distance du foyer, ou qu'il y a plusieurs bâtiments voisins à chauffer par un même foyer, on peut employer le mode de chauffage imaginé par M. Grouvelle. La disposition proposée par cet ingénieur consiste à établir, pour chaque bâtiment et même à chaque étage, un circuit à eau chaude, renfermant



un réservoir de 2 mètres de hauteur aux extrémités duquel aboutissent celles du circuit, et qui contient un serpentin dans lequel vient se condenser la vapeur fournie par une chaudière. Ce mode de transmission de la chaleur présente, sur le chauffage direct de l'eau, l'avantage de rendre indépendants les systèmes partiels de chauffage, de réduire la pression que supportent les appareils, et de n'exiger que des tuyaux de conduite d'un diamètre beaucoup plus petit et d'un moindre développement.

1994. Les tuyaux peuvent amener de la vapeur ou de l'eau chaude dans des calorifères placés dans les pièces à chauffer, ou peuvent être entourés d'une enveloppe dans laquelle l'air soit échauffé pour être versé ensuite dans les pièces.

1995. Dans presque tous les cas, la ventilation est trop petite, pour qu'il soit avantageux de la produire par un ventilateur mis en mouvement par une machine à vapeur, et on ne peut employer que des cheminées d'appel, ou des ventilateurs mus par des hommes; mais les cheminées d'appel produisent un effet plus régulier, plus assuré, et sont préférables. Il est toujours avantageux d'alimenter les foyers des cheminées d'appel par des houilles sèches, qui brûlent lentement, parce qu'on peut charger les foyers pour plusieurs heures. Lorsque la ventilation doit avoir lieu jour et nuit, il serait plus avantageux encore d'employer de l'antracite et des foyers alimentés d'une manière continue par des trémies (661). Un calorifère à eau chaude, placé dans la cheminée, exigerait de trop grandes surfaces pour transmettre la chaleur; car, pour remplacer un foyer brûlant 25 kilog. de houille par heure, il faudrait au moins 150 mètres de surface de chauffe, sans compter celle de la chaudière, et il faudrait plusieurs cheminées pour les placer.

1996. Enfin, relativement au mode de renouvellement de l'air des pièces, il est évident que les orifices d'accès de l'air chaud doivent toujours se trouver à la partie inférieure; mais les orifices de sortie peuvent être situés ou à la partie inférieure, ou à la partie supérieure.

1997. L'air chaud arrivant toujours dans les pièces à une température plus élevée que les pièces, le courant monte directement à la partie supérieure et sans augmenter beaucoup de section; alors, si les orifices de sortie sont placés dans le sol ou à une petite hauteur, l'air se distribue par couches horizontales de même température, et descend régulièrement en se refroidissant, quels que soient d'ailleurs le nombre et la

position des orifices d'appel. Il y a cependant contre les surfaces de refroidissement des remous occasionnés par la transmission de la chaleur, mais ils ne s'étendent pas à une grande distance.

1998. Si les orifices d'écoulement étaient placés à la partie supérieure, les veines d'air chaud qui s'élèvent verticalement, alimenteraient presque seules les orifices d'appel, et l'air environnant ne serait pas renouvelé. Ce renouvellement n'aurait lieu qu'autant que les orifices d'accès seraient répartis régulièrement sur toute la surface du sol.

1999. Ainsi on ne peut employer que deux dispositions pour le renouvellement de l'air : 1° des orifices d'accès et de sortie peu nombreux, placés à la surface du sol ou à une petite hauteur, mais situés sur des points éloignés ; 2° des orifices d'accès de l'air très-nombreux, uniformément distribués sur le sol, et des orifices de sortie situés à la partie supérieure.

2000. Le premier mode est d'une exécution plus facile que le second, et il occasionne moins de dépenses de construction ; mais il a l'inconvénient d'amener sur les personnes assemblées, des couches d'air renfermant déjà les émanations de la transpiration pulmonaire et cutanée dont il s'est chargé pendant la descente. Cependant, quand le renouvellement de l'air est suffisant, ces émanations étant disséminées dans un très-grand volume, il n'en résulte pas d'inconvénient sensible. Le second mode est sans contredit le meilleur, parce que l'air respiré est toujours pur. Tous deux exigent la même température dans l'air de ventilation ; mais si les murailles de la salle devaient être échauffées d'abord par un courant d'air chaud, on y parviendrait plus facilement et avec moins de dépense, en faisant parcourir à l'air deux fois la hauteur de la salle, qu'en le laissant monter seulement dans la pièce.

2001. Quant à la ventilation d'été, l'air appelé devant être à une température moins élevée que celui de la pièce, si l'air arrivait par la partie supérieure et sortait par des orifices placés dans le sol, il descendrait immédiatement sur le sol et gagnerait horizontalement ces orifices, de sorte que l'air de la pièce ne serait pas renouvelé dans toute son étendue ; pour que le renouvellement eût lieu, il faudrait que les orifices d'accès et de départ fussent uniformément distribués dans le plafond et dans le plancher. Mais si l'air froid entrant par le bas de la pièce est appelé par des orifices placés vers le haut, l'air s'élèvera progressivement par couches en s'échauffant par son contact avec les murailles et par la respiration,



et l'air de la pièce sera uniformément renouvelé. Il est évident que la plus mauvaise de toutes les dispositions qu'on puisse employer consisterait à placer dans le sol les orifices d'accès et de sortie.

2002. Le chauffage à eau chaude, par une circulation générale, pouvant être employé avec avantage dans certaines circonstances, nous donnerons quelques détails sur la disposition des appareils.

2003. Pour un bâtiment renfermant plusieurs étages, l'appareil se compose : 1° d'une chaudière à eau chaude ; 2° d'un tuyau d'ascension d'un grand diamètre, qui monte par le chemin le plus court jusqu'au point le plus élevé du bâtiment ; 3° d'un vase d'expansion qui termine la colonne d'ascension ; 4° de tubes de distribution horizontaux partant du vase d'expansion, en nombre égal à celui des pièces de chaque étage, et prolongés jusqu'à la distance des appareils de chauffage qu'ils doivent alimenter ; 5° de tubes verticaux, qui font suite à ceux dont nous venons de parler et qui communiquent avec les réservoirs à eau chaude ; 6° des appareils de chauffage ; 7° des tubes de retour d'eau disposés comme ceux de distribution, et qui se réunissent en un seul communiquant avec la partie inférieure de la chaudière.

2004. La chaudière doit être en tôle, à fond concave ou à foyer intérieur, quand la pression est peu considérable ; et cylindrique avec foyer extérieur, quand la pression excède plusieurs atmosphères. Dans tous les cas, elle doit être pourvue d'un trou d'homme. La surface de chauffe doit être assez grande pour que dans les jours les plus froids, lorsque la consommation de combustible est la plus grande, la fumée ne se dégage dans la cheminée qu'à une température peu supérieure à 200° ; et pour cela il suffit de prendre 1 mètre carré de surface de chauffe pour 2 kilogr. de houille à brûler par heure. La cheminée doit être pourvue d'un registre pouvant la fermer le plus exactement possible, et le cendrier doit être garni d'une porte, afin que, quand on cesse le feu, on puisse intercepter complètement le courant d'air dans le fourneau pour diminuer son refroidissement. Il est très-avantageux, surtout pendant les jours d'hiver qui ne sont pas très-froids, d'employer des houilles sèches, parce qu'elles peuvent produire des feux languissants sans perte de matière combustible, ce qui n'arriverait pas avec les houilles grasses ; elles ont d'ailleurs la propriété de brûler sans donner de fumée, tout en produisant autant de chaleur que les autres.



2005. M. Léon Duvoir, qui a construit plusieurs grands chauffages à eau chaude, emploie des chaudières formées de deux demi-sphères et de deux cylindres concentriques verticaux; le foyer est circulaire et placé au-dessous de la demi-sphère inférieure. Dans certains appareils, la chaudière est surmontée d'un calorifère à air chaud, formé de deux plateaux de fonte circulaires, réunis par un grand nombre de tubes de même matière; dans d'autres appareils, les deux cylindres concentriques qui forment la partie supérieure de la chaudière, sont environnés de deux canaux annulaires séparés, dans lesquels circule de l'air qui doit être échauffé, dont les surfaces extérieures sont parcourues de haut en bas et de bas en haut par la fumée, et qui renferment chacun un serpentin en fonte que l'eau, refroidie pendant sa circulation dans les conduits placés dans le bâtiment, parcourt avant de se rendre dans la chaudière. Ces dispositions sont compliquées et me paraissent sans utilité quand la chaudière a une surface de chauffe suffisante; dans le cas contraire, un grand nombre d'autres dispositions du calorifère à air seraient préférables; en outre les serpentins à eau chaude seraient mieux placés à côté du fourneau qu'autour de la chaudière, parce que l'eau qu'ils renferment se refroidirait davantage et que la vitesse de circulation serait plus grande. M. L. Duvoir se sert des foyers des chaudières comme foyers d'appel, mais la faible économie que présente ce mode d'appel (1940) disparaît et se trouve remplacée par une perte réelle quand la ventilation est considérable, parce que la température à laquelle l'air est versé dans la cheminée est plus élevée que celle qui suffit au tirage dans une cheminée d'appel ordinaire. D'ailleurs cette disposition ne peut pas être employée quand la ventilation doit être constante, parce que le foyer fait marcher dans le même sens le chauffage et la ventilation.

2006. Le tube d'ascension est ordinairement en fonte et doit être environné de matières conduisant mal la chaleur. Ce tube ayant un grand diamètre, il est difficile d'éviter l'emploi des compensateurs à boîtes à étoupe (1598).

2007. Dans les calorifères à eau chaude que nous avons décrits précédemment, le vase d'expansion était ouvert, ou fermé par un couvercle simplement posé sur les bords du vase, et un tuyau amenait dans le cendrier la petite quantité de vapeur qui pouvait se former: l'apparition des vapeurs à l'extrémité du tube avertit le chauffeur de modérer



son feu. M. Léon Duvoir a remarqué que la vapeur sortant du vase d'expansion par un tube placé à son sommet, entraîne beaucoup d'eau avec elle; cet effet provient de la même cause que dans les chaudières à vapeur, et on pourrait facilement y remédier en donnant au vase d'expansion une largeur suffisante pour que les orifices du tuyau d'ascension et du tuyau de départ de la vapeur fussent assez éloignés, ou en employant un vase intermédiaire (fig. 10, pl. 26) dans lequel l'eau, entraînée mécaniquement, se séparerait de la vapeur (888). Comme il est important de ne perdre ni la chaleur, ni l'eau provenant de la condensation de la vapeur, le tuyau de conduite de la vapeur pourrait être placé dans un canal parcouru par de l'air qui doit être échauffé. Dans les grands appareils, on introduit l'eau dans le vase d'expansion, et par suite dans tout le circuit, au moyen d'une pompe. Il est commode de placer le tube d'alimentation et le tube de dégagement de l'air et de la vapeur dans une partie latérale du vase d'expansion, à quelques centimètres l'un de l'autre, de manière que le niveau que l'eau doit conserver dans le vase, lorsqu'elle est chaude, soit compris entre les deux orifices; un robinet placé latéralement sur le tube d'alimentation et près du chauffeur, lui permet alors de reconnaître si le réservoir supérieur contient la quantité d'eau suffisante. Le réservoir doit avoir au moins $\frac{1}{20}$ du volume total de l'eau contenue dans les appareils.

2008. Dans plusieurs chauffages construits par M. Léon Duvoir, le vase d'expansion est exactement fermé et garni d'une soupape chargée directement d'un poids correspondant à un excès de pression intérieure de deux atmosphères; le tube à air et à vapeur est garni d'un robinet à portée du chauffeur. Cette disposition permet d'élever jusqu'à 135° la température de l'eau dans la colonne d'ascension, et par suite d'employer des tuyaux de conduite d'une plus petite section et des surfaces de chauffe d'une moindre étendue. Mais l'économie des surfaces de chauffe est en grande partie compensée par la plus grande épaisseur qu'il faut donner aux tuyaux de conduite et aux vases de refroidissement, et cette disposition présente des inconvénients tellement graves que je n'hésite pas à dire qu'elle doit être proscrite. En effet la soupape, si elle n'a pas fonctionné depuis longtemps, peut adhérer sur son siège, et alors, si un ou plusieurs robinets de distribution étaient fermés, ou si un dégagement d'air, dans certains points du circuit, arrêterait la circulation, le chauff-

fage serait ralenti ou supprimé dans certaines parties, et le chauffeur serait conduit à augmenter l'activité du foyer; il en résulterait un accroissement continu de pression, qui pourrait occasionner la rupture de la chaudière ou des vases dans lesquels la circulation a lieu; en outre, la charge de la soupape est à la disposition du chauffeur, qui pourra l'augmenter à volonté, pour obvier dans un temps très-court, à l'effet d'une négligence dans son service. Si, par des circonstances particulières, il était nécessaire de chauffer l'eau à plus de 100°, par exemple quand le chauffage doit avoir lieu par l'air chaud seulement et que la ventilation est très-petite, et par conséquent que l'air doit être porté à une température élevée, tous les poêles devraient être en tôle, et la fonte employée uniquement en tuyaux d'un petit diamètre; il faudrait aussi, à la place d'une soupape de sûreté, se servir d'un manomètre à eau ou à mercure, en fer, d'un diamètre de plusieurs centimètres, disposé comme dans la figure 2 (pl. 23), et dont la grande branche aurait la hauteur correspondante à la pression maximum; le réservoir devrait être garni d'une soupape à air, afin que, par la condensation de la vapeur, le mercure ne pût pas entrer dans le réservoir. On pourrait aussi remplacer la soupape à air par la disposition indiquée (fig. 12, pl. 19). Mais il est toujours préférable de ne point établir de pression dans le vase d'expansion; à la vérité, les surfaces de chauffe doivent avoir un peu plus d'étendue, et les frais d'établissement sont un peu plus grands; mais sur chaque point du circuit la pression est constante et plus petite, circonstances qui diminuent de beaucoup les chances de fuite et de rupture.

2009. Les tubes de distribution partent du fond du vase d'expansion; ils peuvent être en cuivre, ou en fer, réunis par des vis, ou par des collets ou des emboîtements, garnis de mastic de fonte. Comme ces tuyaux sont d'un petit diamètre, le mode de jonction indiqué (1590), qui peut s'appliquer aux tuyaux de fer et de cuivre, serait préférable à tous les autres. Ces tuyaux ayant presque toujours une très-grande longueur, il est utile de leur donner une légère courbure qui détermine le sens des mouvements occasionnés par la dilatation, et qui permette un certain raccourcissement pour des températures inférieures à celle qu'avaient les tuyaux lorsqu'ils ont été mis en place. Dans tous les cas, on pourrait employer, dans une certaine partie de la longueur, des tuyaux flexibles sur lesquels se porteraient les effets de la dilatation.



Ces tuyaux sont ordinairement placés dans les greniers ou sous le plancher des étages supérieurs; on doit les renfermer dans des caisses en bois remplies de paille ou de foin, afin d'éviter leur refroidissement. Chaque embranchement doit être garni d'un robinet qui permette de régler la quantité d'eau qui circule dans chaque circuit partiel; les robinets ordinaires n'étant jamais parfaitement étanches, il est plus avantageux d'employer les robinets à soupape dont les tiges sont à vis et tournent dans des boîtes à étoupes (fig. 42, pl. 87). On emploie ordinairement autant de tuyaux qu'il y a de circuits; cependant quand plusieurs tuyaux ont la même direction, il est plus avantageux de les réunir en un seul dans la partie commune du trajet, parce qu'il y a moins de matière employée et moins de joints; mais les robinets se trouvent alors quelquefois à de trop grandes distances, et il peut en résulter des inconvénients pour le service. Les tuyaux doivent être supportés par des galets, qui leur permettent de prendre facilement les mouvements qui résultent de leur dilatation, et ils doivent avoir la pente nécessaire pour que l'air puisse se dégager lors du remplissage.

2010. Chaque tuyau de distribution communique avec un ou plusieurs tubes verticaux qui amènent l'eau chaude dans les appareils de chauffage correspondants des différents étages. Les tubes sont en cuivre ou en fer, réunis par la méthode indiquée (1590), et un peu courbés. Les appareils de chauffage consistent ou dans des poêles, ou dans des serpentins, ou dans de grands tuyaux de fonte logés dans des caniveaux pratiqués dans l'épaisseur des planchers, et dans lesquels circule de l'air qui se dégage dans les pièces qui doivent être échauffées. Les poêles sont des cylindres en fonte ou en tôle, ordinairement traversés par un ou plusieurs tuyaux verticaux ouverts par les deux bouts; l'eau chaude y arrive par un tube qui se prolonge dans l'intérieur jusqu'à une certaine hauteur, et en sort par un autre tube fixé sur le fond; chaque poêle est percé à la partie supérieure d'un petit orifice fermé par un bouchon à vis, et qu'on ouvre quand on remplit l'appareil, pour laisser dégager l'air. M. Léon Duvoyer emploie des poêles en fonte formés de deux cylindres concentriques; le petit cylindre est ouvert par les deux bouts et donne passage à de l'air pris à l'intérieur ou à l'extérieur qui, après s'être échauffé, se rend dans la pièce; l'intervalle des deux cylindres renferme de l'eau; le fond du vase annulaire et les parties cylindriques ne forment

qu'une seule pièce, et la partie supérieure est fixée par du ciment de fonte et un grand nombre d'écrous. Quelquefois les surfaces extérieures sont polies. Ces poêles, avant d'être posés, sont essayés sous une très-grande pression, et il paraît que, jusqu'ici, ils n'ont éprouvé aucun accident. Mais ces deux circonstances ne sont pas suffisantes pour en motiver l'usage, à cause de leur grand diamètre et des grandes pressions qu'ils éprouvent dans les rez-de-chaussée des bâtiments élevés, même quand le vase d'expansion est ouvert; car les essais des poêles sous des pressions beaucoup plus grandes que celles qu'ils doivent supporter, mais qui ne durent jamais qu'un temps très-court, ne peuvent pas donner l'assurance qu'ils résisteront toujours sous des pressions permanentes beaucoup plus petites, et les appareils construits jusqu'ici ne datent que de quelques années. D'ailleurs, dans les conduites d'eau, il y a très-souvent des tuyaux qui cassent, malgré la faible variation de température qu'ils éprouvent, et cependant ils ont toujours été essayés sous des pressions beaucoup plus considérables que celles qu'ils supportent habituellement; les chemises des cylindres des machines à vapeur, qui sont disposées de la même manière que les poêles de M. Léon Duvoir, cassent quelquefois, malgré les épreuves qu'elles ont subies. Enfin, c'est un principe bien reconnu que la fonte ne convient, pour soutenir de grandes pressions, que quand elle est en tuyaux d'un petit diamètre, et qu'on ne doit l'employer pour des vases d'un grand diamètre que quand il y a impossibilité complète de la remplacer par de la tôle.

Les poêles en tôle, qui ne sont pas d'ailleurs d'un prix plus élevé que ceux de fonte, à cause de la différence des épaisseurs qui compense la différence des prix de ces métaux, doivent être, à mon avis, toujours préférés aux poêles de fonte, à moins qu'il ne s'agisse de poêles d'un petit diamètre. Quant au polissage de la fonte, comme cette opération occasionne une dépense considérable, des soins de tous les jours, et qu'elle diminue la transmission de la chaleur dans le rapport de 8 à 5, il est évident que c'est une chose fort mal imaginée.

Les poêles sont employés de plusieurs manières. Souvent leur surface est libre; d'autres fois ils sont environnés d'un manchon, et traversés par des tubes, et le manchon et les tubes sont parcourus par l'air de la pièce ou par de l'air venant du dehors. Il serait utile de placer les poêles sur des bassins en zinc ou en plomb très-mince, qui recevraient



les petites quantités d'eau qui pourraient s'échapper, et d'où elles seraient conduites à l'extérieur par un très-petit tube. Cette disposition serait facile à exécuter quand le poêle renferme des tuyaux intérieurs ou une enveloppe, et qu'il chauffe de l'air extérieur. Lorsque le poêle est découvert, qu'il soit en tôle ou en fonte, on peut compter sur une transmission de près de 1000 unités de chaleur par mètre carré par heure, et pour une différence de température de 85°. Quand le poêle est environné d'un manchon de même hauteur, ouvert par le bas et par le haut, la transmission de la chaleur est plus petite à peu près de 0,1; mais si le manchon dépasse le poêle de manière que la section de la veine d'air augmente dans une grande proportion, la transmission de la chaleur peut être beaucoup plus grande que quand la surface du poêle est libre. Quant aux tuyaux intérieurs, la transmission de la chaleur n'a lieu que par le contact, et si la vitesse de l'air n'était pas plus grande que contre les surfaces extérieures des poêles, la transmission de la chaleur serait deux fois plus petite, mais dans les circonstances ordinaires elle est seulement plus petite de $\frac{1}{4}$, à cause de l'accroissement de vitesse de l'air; d'ailleurs, on peut augmenter de beaucoup la transmission de la chaleur par des lames de zinc ou de tôle qui s'échaufferaient par rayonnement et transmettraient à l'air une partie de la chaleur qu'elles auraient reçue; le même moyen pourrait être employé pour augmenter la transmission de la chaleur lorsque le poêle est couvert d'une enveloppe. La transmission de la chaleur est plus grande quand c'est l'air extérieur qui est admis autour du poêle ou dans la double enveloppe, parce que sa température est plus basse; mais alors le chauffage a lieu avec ventilation. Les enveloppes extérieures sont indispensables toutes les fois que les poêles sont en tôle, et qu'ils sont placés dans des pièces décorées; les enveloppes peuvent être en tôle mince, vernies et garnies de moulures; le plâtre aluné, qui acquiert une si grande dureté et qui peut si facilement prendre l'apparence et le poli du marbre, conviendrait également, car cette matière résiste à une température beaucoup plus élevée que celle que l'eau peut acquérir dans ces poêles.

2011. Les poêles peuvent être remplacés par des serpentins en fer, environnés d'une enveloppe dans laquelle circule l'air extérieur ou l'air de la pièce. Il est plus avantageux de donner au serpentin la forme d'une hélice conique que celle d'une hélice cylindrique. La disposition la plus

simple consiste à faire arriver l'eau par la partie supérieure de l'hélice, et à la faire écouler par la partie inférieure; mais alors, pour que les tuyaux ne soient pas apparents, l'hélice doit être appliquée contre un mur, et les tuyaux logés dans son épaisseur. L'hélice pourrait être placée au milieu d'une pièce, alors l'eau chaude arriverait à sa partie inférieure par un tube placé sous le plancher, et sortirait par la partie supérieure au moyen d'un tube de descente; mais la partie supérieure du serpentin devrait être pourvue d'un orifice fermé par un bouchon à vis, qui servirait à faire dégager l'air au moment du remplissage et qu'il faudrait ouvrir de temps en temps pour évacuer l'air qui se serait accumulé au sommet des spires. Cette opération devrait se répéter à des époques d'autant plus rapprochées, que le serpentin aurait un plus petit diamètre. En augmentant convenablement le volume du canal au point culminant, on éviterait la nécessité d'ouvrir aussi souvent l'orifice. Pour obtenir une grande surface de chauffe sous un très-petit volume, on pourrait employer plusieurs spires concentriques que l'eau parcourrait simultanément.

2012. On peut aussi chauffer les pièces par de l'air échauffé dans des caniveaux pratiqués sous les planchers, renfermant des tuyaux remplis d'eau chaude, et communiquant avec l'air extérieur et avec les pièces. Ce mode de chauffage est depuis longtemps employé en Angleterre, de préférence aux poêles, parce que la fonte en tuyaux présente beaucoup moins de chances de fuite ou de rupture, que quand elle est employée à former des réservoirs d'un grand diamètre.

Il est impossible de déterminer l'effet des surfaces de chauffe dans ce mode de chauffage, parce qu'il dépend de la section du canal annulaire parcouru par l'air, de la vitesse de l'air, et du chemin qu'il parcourt depuis son entrée jusqu'à sa sortie. Dans les circonstances ordinaires, lorsque l'air doit être chauffé de 40 à 50°, il ne faudrait pas compter sur une transmission supérieure à la moitié de celle qui aurait lieu si le tuyau était libre. Cette transmission serait plus petite, si l'air devait être échauffé à une plus haute température; dans le cas contraire, elle serait plus grande; et, dans tous les cas, elle varie dans le même sens que la vitesse d'écoulement. Lorsque l'air parcourt le tuyau avec une grande vitesse produite par un appel puissant, la transmission peut dépasser celle qui aurait lieu si le tuyau était libre.



2013. Les tuyaux de retour d'eau sont toujours logés sous le dallage des rez-de-chaussée ou à la partie supérieure des caves; comme les tuyaux de distribution, ils doivent avoir une pente suffisante pour le dégagement de l'air. Il est toujours très-avantageux de les employer comme surface de chauffe, en les plaçant dans des caniveaux où ils échauffent l'air destiné aux salles du rez-de-chaussée.

2014. Dans un chauffage à eau chaude, il est important, 1° qu'à chaque point culminant il y ait un orifice fermé par un bouchon à vis, et que les parties élevées du circuit aient toujours une grande capacité, afin qu'on ne soit pas obligé d'évacuer de temps en temps l'air accumulé, pour maintenir la continuité dans le circuit d'eau chaude; 2° qu'aucune partie du circuit ne soit formée de tuyaux de plomb ou de zinc, ou de cuivre soudé à l'étain.

L'accumulation progressive de l'air dans un coude, rétrécit d'abord la veine, et finit par interrompre la circulation; l'interruption n'a pas lieu aussitôt que l'air occupe l'espace qui se trouve au-dessus du plan horizontal mené par le point le plus bas de la courbure, parce que l'inégale densité de l'eau dans les deux colonnes produit une différence de niveau qui favorise l'écoulement à travers l'air, d'autant plus que la différence de température des deux colonnes est plus grande.

L'exclusion des tuyaux en plomb est motivée par le gonflement qu'ils éprouvent constamment par la pression, et qui finit par les crever. Celle des tuyaux de zinc résulte de ce que ce métal change de forme et de dimensions par la chaleur, sans revenir à son état primitif par le refroidissement, et qu'on est obligé d'employer les soudures à l'étain qui, se dilatant d'une autre manière que le zinc, cassent très-souvent; c'est par cette dernière raison qu'il ne faut jamais employer de tuyaux de cuivre soudés à l'étain.

2015. Lorsque les pièces à chauffer se trouvent au rez-de-chaussée, et sur caves, la disposition la plus simple consiste en une série de calorifères à eau chaude, chauffés par un même foyer, et versant de l'air échauffé dans chaque pièce. Dans toutes les dispositions de calorifères, comme il y a toujours des surfaces de chauffe qui rayonnent les unes sur les autres, il serait avantageux d'intercepter ce rayonnement par des plaques de tôle ou de zinc qui échauffent l'air par contact.

2016. Il est évident que, quand les pièces sont chauffées par de l'air

chaud, il faut nécessairement qu'il sorte de la pièce un volume d'air froid égal au volume d'air chaud qui entre. Quand le canal qui amène l'air chaud a une grande hauteur, que les portes et les croisées sont nombreuses et ferment mal, la pression que l'air chaud produit dans la pièce peut suffire à l'évacuation de l'air; mais cette ventilation n'est assurée que quand il y a une cheminée dans la pièce, ou qu'on pratique un orifice d'écoulement.

2017. Les dimensions de toutes les parties de l'appareil, ainsi que la consommation de combustible pour produire le chauffage et la ventilation, peuvent facilement être calculées d'une manière assez approchée.

On commencera par déterminer la quantité de chaleur qui sera transmise par les vitres et les murailles, dans les circonstances les plus défavorables, par la méthode que nous avons indiquée (1951). Supposons, par exemple, que le bâtiment renferme 1000^m de surface de murailles de $0^m,50$ d'épaisseur, et 200^m de vitres, que la température intérieure soit de 15° , et que la température extérieure la plus basse soit de -10° ; la quantité de chaleur transmise par heure sera de

$$1000 \times 34 + 200 \times 4 \times 25 = 54000 \text{ unités.}$$

Pour avoir la consommation moyenne, il faut prendre la température moyenne des six mois de chauffage. A Paris, de 1840 à 1841, les températures moyennes des mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, ont été de

$$9^\circ,50; 8^\circ,01; 2^\circ,30; 2^\circ,50; 2^\circ,50; 9^\circ,10$$

dont la moyenne est de $5^\circ,65$; par conséquent, la différence moyenne de température sera de $15^\circ - 5^\circ,65 = 9^\circ,35$, et, par suite, la transmission moyenne sera de $54000 \times 9,35 : 25 = 20905$ unités. Comme les murailles éprouvent pendant la nuit un assez grand refroidissement, on s'éloignera peu de la réalité en supposant que la transmission de la chaleur est moitié de celle qui a lieu pendant le jour; alors la perte de chaleur pendant 1 jour, sera de $20905 \times 18 = 363528$, ce qui correspond à peu près à la chaleur développée par 72 kilogr. de houille, en supposant que chaque kilogr. de ce combustible ne produise que 5000 unités de chaleur utilisée.

En supposant une ventilation de 10000 mètres cubes d'air par heure, pendant 10 heures, et une température de 45° dans la cheminée d'appel,



la chaleur nécessaire au chauffage de l'air à 15° sera de $100000 \times 1,3 \times 9,35 \times 0,25 = 303700$; celle qui sera consommée pour l'appel sera de $100000 \times 1,3 \times 30 \times 0,25 = 975000$, ensemble 1278700 unités qui correspondent à peu près à 255 kilogrammes de houille. Ainsi la dépense moyenne de combustible par jour serait d'environ 327 kilogrammes.

2018. Quant aux dimensions des différentes parties de la chaudière, il faut les calculer pour les jours les plus froids de l'hiver, lorsque la chaleur qu'elle doit fournir est de $54000 + 10000 \times 1,3 \times 30 \times 0,25 = 151500$ unités par heure, ce qui correspond à une combustion d'environ 30 kilogrammes de houille; alors la surface de chauffe de la chaudière sera de 15 à 16 mètres carrés.

2019. L'étendue des surfaces destinées au chauffage des pièces, dépendra de leur disposition et des diamètres des tuyaux qui y amèneront l'eau chaude et la reconduiront à la chaudière. Supposons d'abord que les surfaces soient libres, et considérons un circuit partiel, chauffant 3 pièces à trois étages différents, exigeant chacune par seconde 0,33 unités de chaleur, ce qui correspond à des pièces ayant chacune 24 mètres carrés de murailles, et 5 de vitres exposées à l'air. S'il n'y avait point de perte de chaleur par les surfaces des vases et des tuyaux, l'eau, dans tout le circuit, atteindrait, après un certain temps, la température de 100° , et la vitesse de circulation, d'abord très-grande, diminuerait progressivement, de manière à devenir nulle quand l'équilibre de température serait établi. Mais quand les surfaces des vases et des tuyaux perdent de la chaleur, par rayonnement et par le contact de l'air, il n'en est plus ainsi, car la quantité de chaleur apportée par le courant va constamment en diminuant, tandis que la perte de chaleur due au refroidissement augmente avec la température de l'eau. Ainsi, l'eau dans les vases, prendra une température constante, telle que la quantité de chaleur perdue soit, à chaque instant, égale à celle qui est apportée par le courant. Cela posé, supposons qu'un circuit partiel ait un développement de 100^m , que le tuyau ascensionnel ait 20^m de hauteur, et que le tuyau de circulation ait $0^m,03$ de diamètre, sa section sera de $0^m,0007$, et le volume d'eau qui le traversera par seconde sera $v \times 0,0007$; alors en désignant par t le refroidissement de l'eau dans la partie du circuit qui est employée au chauffage, la quantité d'unités de chaleur émises par seconde sera $v \times 0,70 \times t$, et on aura $v \times 0,70 \times t = 1$. Ainsi $v t = 1,43$.



Mais, la vitesse d'écoulement de l'eau est donnée par la formule

$$v = 26,50 \sqrt{\frac{DH}{L + 54D}},$$

dans laquelle D représente le diamètre de la conduite, L sa longueur, et H la charge qui produit l'écoulement. La dilatation de l'eau étant de $1:22 = 0,045$ pour 100° , est de $0,00045$ pour 1° , et on a, $H = ht' \cdot 0,00045$; h étant la hauteur du circuit, t' l'excès moyen de la température de la colonne ascendante sur celle de la colonne descendante. En supposant le refroidissement uniforme, on a $t' = \frac{1}{2} t$, et par suite,

$$1,43 = 26,50 \cdot t \sqrt{\frac{Dht \cdot 0,00045}{2(L + 54D)}},$$

formule qui donne

$$t = \left(\frac{2 \cdot (1,43)^2 (L + 54D)}{D \cdot h \cdot 0,00045 \cdot (26,5)^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 13^\circ.$$

Ainsi l'eau chaude, au bas du circuit, aura 87° ; et les poêles, au deuxième étage, au premier et au rez-de-chaussée, auront sensiblement 96° , 92° et 87° . D'après cela, si l'air des pièces doit être maintenu à 15° , les excès de température seront de 81° , 77° et 72° , et les surfaces de chauffe supposées toutes extérieures, seront données par les trois équations,

$$x \cdot \frac{1000}{3600} \cdot \frac{81}{85} = 0,33; \quad y \cdot \frac{1000}{3600} \cdot \frac{77}{85} = 0,33; \quad \text{et} \quad z \cdot \frac{1000}{3600} \cdot \frac{72}{85} = 0,33;$$

équations qui donnent

$$x = 1^m,24; \quad y = 1^m,36; \quad \text{et} \quad z = 1^m,38.$$

Si les surfaces de chauffe étaient disposées d'une autre manière, on pourrait déterminer l'étendue de leur surface, comme nous l'avons dit précédemment. Mais comme il y a un peu d'incertitude sur cette dernière détermination, il sera toujours utile de prendre des surfaces un peu plus grandes, ou d'employer les dispositions que nous avons indiquées pour augmenter leur effet.

2020. On peut aussi effectuer le chauffage à l'eau chaude en transmettant la chaleur à l'eau au moyen de la vapeur (1989). Dans ce mode de transmission, qui présente souvent de grands avantages sur le chauffage direct de l'eau, les appareils de chauffage se composent de poêles et de tuyaux pleins d'eau, sans pression, chauffés séparément, ou de circuits partiels chauffés seulement à une extrémité; la vapeur se con-



dense dans des tubes d'un petit diamètre plongés dans l'eau. Dans tous les cas, les surfaces de chauffe se calculeraient en supposant l'eau à une température de 80° , et les surfaces des serpentins, qui seraient incomparablement plus petites, se détermineraient comme nous l'avons dit (1210).

2021. Dans le chauffage par l'eau chaude, comme dans tous les autres modes de chauffage, quand il est important que la ventilation soit régulière, il est indispensable que le chauffage et la ventilation aient lieu par des foyers distincts, parce que ce n'est qu'à cette condition qu'on peut régler à la fois ces deux effets, et il faut autant que possible que la ventilation ait lieu par une seule cheminée.

2022. *Chauffage des amphithéâtres des cours publics.* Les amphithéâtres des cours publics qui sont fréquentés par un grand nombre de personnes exigent un chauffage pendant l'hiver et une partie de l'automne, et une ventilation dans toutes les saisons. On pourrait croire que la capacité des amphithéâtres, qui sont ordinairement très-élevés, renferme un volume d'air assez grand pour qu'il ne soit point nécessaire de le renouveler pendant la durée des leçons qui n'excède jamais 2 heures; mais il est rare que ce volume soit suffisant. En effet, dans les amphithéâtres remplis de spectateurs assis et serrés, chaque spectateur occupe au plus $0^{\text{m}},33$ en surface horizontale; alors il faudrait que la salle eût au moins 18 mètres de hauteur pour contenir l'air nécessaire pour une heure; 36 mètres pour renfermer celui qu'exigerait une séance de 2 heures, tandis que dans les salles les plus élevées la hauteur dépasse rarement 10 mètres.

La première question à examiner est celle-ci. Faut-il fournir la chaleur absorbée par les vitres et par les murailles au moyen de surfaces rayonnantes, et ventiler avec de l'air à une température seulement suffisante de 15 à 18° ? ou faut-il produire tout le chauffage par de l'air de ventilation à une température convenable? Le dernier mode est certainement le plus simple; mais avant de l'employer, il faut examiner si l'air ne doit pas être porté à une trop haute température. Supposons, par exemple, un amphithéâtre devant contenir 1200 personnes, la section horizontale de la salle sera au plus de 600 mètres; en la supposant formée d'un demi-cercle, son diamètre serait de 40 mètres; et en supposant 10 mètres de hauteur moyenne, la surface des vitres et des murailles serait à peu près de 1600 mètres carrés; en supposant que les vitres for-

ment 0,1 de la surface totale, et que les murailles aient 0^m,50 d'épaisseur, la perte totale de chaleur pour une différence de 20° serait (1951) de $1440 \times 27 + 160 \times 80 = 51680$ unités, tandis que la quantité de chaleur nécessaire à l'échauffement de l'air de ventilation serait de $1200 \times 6.1,3.20 \cdot \frac{1}{4} = 46800$. Ainsi l'air devrait pénétrer dans la salle à une température supérieure à 35° si l'air extérieur était à —5. Mais il faut remarquer que la quantité de chaleur produite par la respiration, et qui est employée à échauffer l'air et les murailles, est de $1200 \times 48 = 57600$. Ainsi, en réalité, la température de l'air ne devrait pas être élevée à une température supérieure à 15°, pour suffire au refroidissement des parois, d'autant plus qu'il est bien rare que les murailles soient exposées à l'air libre dans toute leur étendue.

2023. Ainsi, pour les grands amphithéâtres, la chaleur animale compense presque toujours la perte par les surfaces des vitres et des murailles; et il suffit de chauffer l'air de ventilation à une température très-peu différente de celle qu'on doit maintenir dans la salle.

Au reste, on peut dire que, dans le cas dont il est question, le chauffage a aussi lieu par rayonnement; car les spectateurs offrent des surfaces d'une grande étendue à une température voisine de 30°, et qui échauffent l'air par contact et les parois de l'enceinte par rayonnement.

2024. D'après cela, il sera toujours facile de calculer l'étendue des appareils de chauffage, ainsi que la consommation maximum de combustible. Il est important de remarquer que cette consommation variera peu avec le nombre des personnes renfermées dans la salle, parce que l'excès de température de l'air devra augmenter à mesure que le nombre des auditeurs diminuera.

Si le foyer peut être placé près de la salle, et si la chaleur n'est pas fournie par un système général de chauffage du bâtiment, un calorifère à air chaud suffit et doit être préféré, à cause de sa simplicité et de son prix beaucoup moins élevé que celui des autres appareils de chauffage; d'ailleurs c'est le mode de chauffage intermittent le plus avantageux.

2025. Mais les appareils devront avoir des surfaces de chauffe beaucoup plus étendues que celles qu'exigerait le maximum d'effet dont nous venons de parler, afin que l'on puisse élever d'avance, et dans un petit nombre d'heures, les murailles à la température qu'elles doivent con-



server pendant que la salle sera occupée, et pour obvier à un accroissement de conductibilité des murailles occasionné par leur humidité. Il serait aussi très-important, sous le rapport de l'économie du combustible, que le chauffage préalable des murailles eût lieu par une circulation du même air de la pièce dans le calorifère et du calorifère dans la pièce, et que les tuyaux de conduite de l'air chaud et la caisse fermée supérieurement par les gradins, fussent le mieux possible isolés du sol par des corps mauvais conducteurs, parce que la terre, surtout quand elle est humide, absorbe une très-grande quantité de chaleur.

2026. Si le bâtiment renfermait des caves ayant un très-grand développement, et inoccupées, il serait avantageux de les faire parcourir dans la plus grande longueur par l'air de ventilation; il en résulterait une économie notable de combustible pour le chauffage, et pendant l'été cet air pourrait être versé dans la salle, sans dépense, à une température peu supérieure à 12°.

2027. Pour répartir uniformément l'air et la chaleur dans la pièce, on peut employer deux moyens différents : 1° on peut faire arriver l'air chaud par un grand nombre d'orifices percés dans le plancher ou les marches de l'amphithéâtre, et le faire sortir par la partie supérieure; 2° on peut faire arriver l'air chaud par un petit nombre de bouches placées près du centre de l'amphithéâtre à une petite distance du sol, et le faire sortir par un grand nombre d'ouvertures percées dans la dernière contre-marche. Dans la première disposition, l'écoulement de l'air aurait lieu pendant l'hiver par le seul effet de l'excès de température de l'air sur celle de l'extérieur, et il faudrait employer une cheminée d'appel ou un ventilateur pour l'été. Dans le second, il faudrait une cheminée d'appel ou un ventilateur pour toutes les saisons.

2028. La première disposition serait évidemment la plus simple et la plus économique. Pour distribuer uniformément l'air chaud sous l'amphithéâtre, il faudrait le faire arriver par des tuyaux en tôle, également inclinés entre eux et percés d'orifices latéraux, dont les diamètres iraient en augmentant à mesure qu'ils seraient plus éloignés du calorifère. L'air chaud devrait sortir du plancher de l'amphithéâtre par un grand nombre d'orifices percés sous les bancs, et dont la surface totale fût assez grande pour que la vitesse d'écoulement de l'air ne dépassât pas 0^m,20. Au centre du plafond, ou au point le plus élevé, devrait se trou-



ver une lanterne par laquelle l'air s'écoulerait dans l'atmosphère; les orifices devraient être latéraux et disposés de manière que la pluie ne pût pas pénétrer dans la pièce, et que les vents fussent sans action sur le mouvement de l'air. On pourrait aussi faire écouler l'air par un ou plusieurs orifices percés dans les murailles à une hauteur plus grande que celle des derniers gradins, et communiquant avec une cheminée.

2029. Lorsque les orifices d'écoulement sont placés à la partie supérieure, et qu'on est dans l'impossibilité de placer des cheminées dans les combles, la ventilation d'été ne peut avoir lieu que par un ventilateur soufflant placé à côté du calorifère, ou par un ventilateur aspirant placé au-dessus de la lanterne. Quand les orifices d'écoulement sont pratiqués dans un mur à une hauteur seulement suffisante et communiquant avec une cheminée, cette cheminée peut servir à déterminer l'appel pour la ventilation d'été, et pour activer celle d'hiver, si le mouvement que l'air chaud tend à prendre naturellement n'est pas suffisant.

2030. La seconde disposition exigerait, comme nous l'avons dit, un appel permanent en hiver et en été. Si l'appel avait lieu par une cheminée, l'air devrait être échauffé de 40° environ, et la consommation de chaleur par heure, et pour 1000 personnes, serait de $1000 \times 6 \times 1,3 \times 40 \times 0,25 = 76000$, ce qui correspond à peu près à 13 kilogrammes de houille.

2031. Les figures 1^{re}, 2 et 3 de la planche 112 représentent la disposition d'un projet fait il y a quelques années pour le chauffage du nouvel amphithéâtre de l'École de droit, mais qui n'a point été exécuté. La figure 1^{re} est une coupe verticale passant par l'axe du bâtiment. La figure 2, la coupe horizontale par le plan XY; et la figure 3, la projection horizontale de l'amphithéâtre, en supposant qu'on ait enlevé le plancher. Le plan de la salle est un demi-cercle. Les auditeurs arrivent à la partie supérieure de l'amphithéâtre par des escaliers A placés dans un couloir annulaire qui environne la salle. La chaire est en B. Le calorifère C était placé dans un caveau situé au-dessous de la chaire. L'air chaud s'échappait par trois orifices, l'un destiné à alimenter des bouches D placées dans le soubassement de la chaire; le second débouchant dans le cabinet du professeur placé derrière la chaire; le troisième, le plus grand de tous, conduisait l'air chaud dans six tuyaux E, E', E'', placés sous l'amphithéâtre et divisant sa circonférence en quatre parties égales. Ces tuyaux



d'abord horizontaux et en maçonnerie, devaient être ensuite en tôle et dirigés parallèlement à la pente des gradins; ils étaient fermés à leur extrémité, et garnis latéralement de petits tuyaux *g, g*, pour distribuer uniformément l'air chaud. Les orifices de dégagement de l'air dans la salle, *a, a, a*, au nombre de 100, étaient percés dans les planchers des gradins, mais ils auraient été beaucoup mieux placés dans les contremarches, parce qu'ils n'auraient jamais pu être bouchés.

2032. A côté du calorifère devait se trouver un ventilateur à force centrifuge, destiné à pousser l'air extérieur dans le calorifère pendant les premiers jours de printemps et d'automne, où l'appel naturel de la salle n'aurait pas suffi à la ventilation, et le faire passer directement pendant l'été dans les tuyaux de distribution. Le travail d'un seul homme était suffisant dans tous les cas.

2033. *Chauffage de la Chambre des pairs.* Ce chauffage a été exécuté par MM. Rohaut et Musard d'après les plans de M. Talabot. En 1840, une commission nommée par M. le ministre de l'intérieur, sous la présidence de M. le baron Thenard, et dont MM. Gay-Lussac, Pouillet et Pécelet faisaient partie, fut chargée d'examiner les effets des appareils et de donner son avis sur leur efficacité. C'est du rapport de cette commission que j'ai extrait les détails qui suivent.

2034. La planche 114 représente le plan de la partie du palais qui donne sur le jardin. ABBA est la salle des séances, dont le plancher se trouve à la hauteur du premier étage des bâtiments environnants. CDDC est un couloir demi-circulaire, qui existe au rez-de-chaussée, au premier et au deuxième étage. E, E sont les emplacements des escaliers des tribunes. FF, une salle de pas perdus servant en même temps d'orangerie. Au-dessus se trouve la bibliothèque, et de chaque côté des pièces occupées par les bureaux. Le but que s'était proposé l'ingénieur était de chauffer et de ventiler la salle des séances, les couloirs, l'orangerie, la bibliothèque et les pièces des pavillons.

2035. Les calorifères sont au nombre de 8. Ils sont placés au-dessous de la grande salle, quatre de chaque côté d'une galerie dont l'axe coïncide avec celui des bâtiments. Ils sont désignés dans la planche par les lettres *a, b, c, d, a', b', c', d'*. Chaque calorifère est disposé comme l'indiquent les figures 6, 7, 8, 9, 10 et 11 (pl. 81). Il renferme 30 tuyaux de fonte horizontaux, traversés simultanément par l'air, de 1^m,50 de longueur



sur $0^m,16$ de diamètre, qui ont ensemble une surface de chauffe de $21^m,60$. Pour chaque calorifère la grille a 1 mètre de longueur sur $0,30$ de largeur. Les quatre calorifères d'une même rangée ont une cheminée commune rectangulaire, dont la section est de $0^m,64$. La galerie prend l'air dans le jardin par un orifice *e* (pl. 114) à fleur du sol, et recouvert d'une grille. L'air qui doit être échauffé arrive par un couloir qui règne derrière les calorifères et qui s'ouvre dans le jardin comme la galerie, mais à une plus grande distance. L'orifice des prises d'air est représenté dans la planche par la lettre *f*.

En avant des calorifères, du côté de la prise d'air, se trouvent deux ventilateurs à force centrifuge *g, g'*, de deux mètres de diamètre, de $1^m,50$ de largeur et à 6 ailes, dont les orifices d'appel communiquent avec les canaux de prise d'air, et les circonférences avec les couloirs qui règnent derrière les calorifères.

L'espace *hh*, qui sépare les deux rangées de calorifères, est voûté, et l'intervalle qui se trouve entre cette voûte et celle de la galerie et les murs de derrière des calorifères, reçoit l'air chaud des deux premiers calorifères de chaque rangée, c'est-à-dire de ceux qui sont désignés par les lettres *a, b, a', b'*. L'air chaud s'échappe de cette première chambre par de grandes ouvertures pratiquées dans la clef de la voûte de la galerie pour passer dans l'espace compris entre l'extrados de cette voûte et le dallage de la salle des gardes, qui se trouve au-dessus. L'air chaud passe ensuite dans deux autres chambres *i, i*, situées de chaque côté de la salle des gardes. De ces dernières chambres l'air chaud passe sous le plancher de la grande salle, d'où il s'introduit sous les gradins, et de là dans la salle par des orifices de 1 à 2 centimètres de hauteur qui règnent dans toutes les contre-marches, et qui forment ensemble une section de près de 4 mètres carrés. Près des orifices de sortie de l'air, les marches sont garnies de plaques de fonte qui sont chauffées par l'air. Les deux grandes chambres à air chaud *i, i*, placées de chaque côté de la salle des gardes, reçoivent l'air par deux grands orifices percés dans les murs près du sol et ayant $0^m,90$ de surface. Les orifices par lesquels l'air sort de ces chambres sont également au nombre de deux, et de même surface; tous sont garnis de registres: ceux du bas glissent dans des coulisses et se manœuvrent directement; ceux d'en haut tournent autour d'axes auxquels ils sont fixés et se manœuvrent au moyen de chaînes.



Dans les pièces *k, k*, adjacentes aux deux chambres *i, i*, se trouvent quatre ventilateurs, deux dans chaque chambre, de mêmes dimensions que ceux qui sont placés en avant des calorifères; ils sont destinés à prendre l'air des chambres *i, i*, et à le verser sous le plancher de la grande salle, les communications directes de ces capacités étant interceptées. Ces machines sont destinées à la ventilation d'été.

Les calorifères *a, b, a', b'*, sont exclusivement destinés au chauffage de la grande salle.

Les calorifères *c* et *c'* qui servent au chauffage des couloirs et des deux grands escaliers, versent chacun l'air chaud dans un canal séparé qui traverse une des chambres *i, i*, et qui alimente 10 bouches placées dans le couloir du rez-de-chaussée CDDC, 2 placées au bas des escaliers E, E, et 4 qui se trouvent dans le couloir du premier étage. Ces calorifères alimentent aussi des bouches de la bibliothèque.

Les calorifères *d* et *d'* sont à haute température, et pour cela les tuyaux sont divisés par des cloisons en trois séries qui sont parcourues successivement par l'air. Ces calorifères alimentent 7 bouches de chaleur *s, s, s*, placées dans l'orangerie F, et à fleur du sol. Les caniveaux, qui sont placés dans l'axe de l'orangerie, se prolongent dans les pavillons qui terminent cette face du bâtiment, et aboutissent à des bouches placées dans les pièces du rez-de-chaussée de ces pavillons. La disposition de ces caniveaux est indiquée en lignes ponctuées.

2036. La figure 1^{re} (pl. 115) représente sur une plus grande échelle la galerie qui renferme les ventilateurs, en coupe horizontale par deux plans situés à différentes hauteurs. La figure 2 est une coupe transversale de la galerie et des chambres à air chaud. Enfin la figure 3 est une coupe verticale de la grande salle par l'axe du bâtiment. L, galerie des calorifères. M, M, conduits de l'air. *l, l, l, l*, orifices de dégagement de l'air derrière les calorifères. N, N, conduits à fumée. *m, m, m*, orifices par lesquels l'air chaud passe sous le dallage de la salle des gardes. *n, n, n*, orifices par lesquels on peut faire passer de l'air froid dans l'air chaud pour en abaisser la température. *i, i*, chambres à air chaud. P, salle des gardes. Q, seconde chambre à air chaud placée sous l'amphithéâtre de la chambre. R, amphithéâtre sous lequel l'air chaud arrive par un grand nombre d'orifices. S, salle des séances. T, tribunes publiques.

L'air peut sortir de la salle ou par l'orifice du lustre, ou par des



orifices percés dans l'intérieur et à la partie supérieure des tribunes, d'où il se réunit à l'air chaud des couloirs pour se rendre ensuite, par les cages des escaliers de service, sous le comble qui surmonte l'orifice du lustre, et se dégager dans l'atmosphère.

2037. Les premières expériences ont été faites en opérant la ventilation de la salle par l'orifice du lustre; les suivantes en laissant sortir l'air par les portes entr'ouvertes des tribunes; les dernières par des orifices pratiqués dans les parties supérieures des tribunes.

Dans les premières expériences, qui n'ont duré que quelques jours, avec la ventilation par l'orifice du lustre, la température a été maintenue dans tous les points de la salle à 14 ou 15°. Dans les expériences qui ont eu lieu sans interruption du 18 décembre au 9 mars 1841, avec les deux autres systèmes d'appel, après trois ou quatre jours, la température à sept heures du matin, à l'instant où l'on allumait les foyers, a toujours été comprise entre 12 et 15°. De une heure à cinq heures, elle a toujours été voisine de 15°. Cependant, toujours depuis une heure la consommation de combustible avait été diminuée, et pendant un grand nombre de jours la température extérieure avait été de plusieurs degrés au-dessous de zéro. Ainsi les calorifères peuvent maintenir la salle à une température suffisante pendant les jours les plus froids de l'année.

Quant à la ventilation, elle a été mesurée lors des premières expériences et sans l'action des ventilateurs; elle a été trouvée de 12060 mètres cubes par heure. En supposant que la salle renferme 600 personnes, ce serait plus de 20 mètres par personne et par heure. D'autres expériences faites depuis ont donné des résultats peu différents. La ventilation, par la seule force ascensionnelle de l'air chaud, excède donc de beaucoup celle qui est nécessaire; d'autant plus que l'effet pourrait être augmenté, et par l'accroissement de surface des orifices, et par le jeu des ventilateurs.

2038. Pour reconnaître si la ventilation d'été serait suffisante par l'action des ventilateurs, on a suspendu le chauffage, et on a mesuré avec beaucoup de soin la vitesse avec laquelle l'air pénétrait dans les calorifères à air chaud, par l'effet de l'excès de sa température sur celle de l'air extérieur, et ensuite l'accroissement de vitesse qui résultait de l'action des ventilateurs. On a d'abord mis en mouvement les ventila-

teurs g, g' , qui sont principalement destinés au chauffage d'hiver, pour accélérer la vitesse d'écoulement de l'air chaud. Toutes les circonstances étant les mêmes, l'accroissement de vitesse en un même point d'un des orifices de passage dans les chambres à air chaud, ces machines mises en mouvement chacune par un homme, a été de $0^m,25$; elle eût été beaucoup plus grande si l'air avait passé par les orifices n au lieu de traverser les calorifères. On n'a pas insisté sur ces expériences, attendu que, pendant l'hiver, la force ascensionnelle de l'air chaud suffit à la ventilation. Mais la commission a examiné avec beaucoup d'attention l'effet des quatre calorifères placés dans les chambres k, k , et qui sont spécialement destinés à la ventilation d'été. On a fermé les orifices qui établissent la communication des chambres i, i , avec la chambre supérieure Q qui règne sous le plancher de la salle, de manière que l'air n'ait d'autre issue pour passer des chambres i, i , à la chambre Q , que les ventilateurs; on a mesuré successivement la vitesse d'accès de l'air dans ces ventilateurs lorsqu'ils étaient en repos et en mouvement; les moyennes d'un grand nombre d'expériences ont été trouvées de $0^m,84$ et de $1^m,37$. Chaque couple de ventilateurs étant mis en mouvement par deux hommes, ainsi l'accroissement de vitesse a été de $0^m,53$. La vitesse que le mouvement de ces machines imprimerait à l'air en repos serait beaucoup plus grande, et on peut en obtenir une évaluation approximative en assimilant les deux vitesses observées à des effets produits sur l'air froid par les ventilateurs tournant avec des vitesses différentes, et en supposant que les effets produits soient les mêmes fractions du travail dépensé; car en désignant par v la vitesse que les ventilateurs imprimeraient à l'air en repos, par v' et v'' les deux vitesses observées, on a

$$v^3 = v'^3 - v''^3 = (1,37)^3 - (0,84)^3 = 1,17; \quad \text{et} \quad v = 1^m,08.$$

Mais en supposant que la vitesse que les ventilateurs imprimeraient à l'air en repos fût seulement égale à $0,53$; comme les orifices d'appel sont au nombre de 4, d'une forme circulaire et de $0,80$ de diamètre, le volume d'air que les ventilateurs pourraient envoyer par heure dans la chambre serait de 7200 mètres cubes, à peu près 12 mètres cubes par personne et par heure. Ainsi, sous le rapport de la ventilation, comme sous celui du chauffage, les appareils ont un excès de puissance qui ne permet pas de douter qu'ils soient suffisants dans tous les cas.





2039. Pour le chauffage des couloirs et des escaliers, voici ce qui a été observé. Dans les premières expériences, pendant lesquelles la ventilation avait lieu par l'orifice du lustre, le chauffage des couloirs et des escaliers était insuffisant. Dans les dernières, où la ventilation de la salle s'effectuait par les portes des tribunes, par les escaliers de service qui communiquent avec les escaliers et les couloirs des tribunes, la température des couloirs et des escaliers a toujours été suffisante. Celle du couloir du rez-de-chaussée a toujours été comprise entre 11 et 14° ; celle des grands escaliers entre 10 et 12° ; celle du couloir de la salle entre 10 et 13° , quand la salle était ventilée; et celle des couloirs des tribunes entre 12 à 13° .

2040. La consommation de houille a été de 469 hectolitres du 18 décembre au 8 mars, c'est-à-dire de $5^{\text{h}},9$ par jour. Mais comme pendant les premiers jours du chauffage la consommation a été beaucoup plus grande, parce qu'il fallait échauffer la masse du bâtiment, il est plus exact de déduire la consommation moyenne de la consommation faite à partir du 1^{er} janvier. On trouve qu'elle est à peu près de 5 hectolitres. En supposant que pour les 8 calorifères la consommation ait été la même, elle aurait été pour chacun de $0^{\text{h}},62$, et celle des 6 calorifères affectés au chauffage de la chambre et de ses dépendances, aurait été de $3^{\text{h}},75$. Mais comme les deux calorifères qui chauffent les couloirs et les escaliers, fournissent en même temps de l'air chaud à deux bouches de la bibliothèque, la consommation pour le service de la chambre est en réalité plus petite. En calculant la quantité moyenne de chaleur versée par ces bouches d'après leur section, la vitesse de l'air et sa température, on trouve que ces bouches consomment au moins $0^{\text{h}},75$. La consommation de combustible pour le chauffage et la ventilation de la salle serait alors seulement de 3 hectolitres par jour.

2041. Les calorifères c et c' sont destinés, comme nous l'avons déjà dit, à chauffer l'orangerie, la bibliothèque qui se trouve au-dessus, et les deux pavillons. Il est résulté des expériences faites du 18 décembre au 10 mars, que la température moyenne de l'orangerie, de sept heures du matin à six heures du soir, a toujours été comprise entre 6 et 7° , quand la température extérieure était de 3 ou 4° au-dessus de 0° , et qu'elle ne s'est élevée à 10 que pour des températures extérieures supérieures à 5 ou 6° . Ainsi cette vaste salle, qui est réellement une salle de pas perdus, était suffisamment chauffée.



2042. La bibliothèque, placée au-dessus de l'orangerie, est chauffée par 6 grandes bouches d'air chaud, dont 4 proviennent des calorifères *d* et *d'* à haute température, et 2 des calorifères *c* et *c'* qui chauffent en même temps les couloirs et les escaliers de la salle des séances. Dans la bibliothèque, on a obtenu les mêmes résultats que dans l'orangerie, pour des températures extérieures inférieures à 0°; des thermomètres placés dans la bibliothèque n'ont jamais indiqué plus de 7 à 8°, et seulement 10° pour des températures extérieures supérieures à 5°. Ainsi la bibliothèque n'était pas convenablement chauffée.

Enfin les pièces qui se trouvent dans les pavillons ne reçoivent que de l'air froid.

L'inefficacité du chauffage de l'orangerie, de la bibliothèque et des pavillons résulte du refroidissement que l'air éprouve en parcourant les conduits placés sous le sol de l'orangerie. La température de l'air en sortant des calorifères à basse température étant de 80°, celle de l'air des calorifères à haute température de 140°, la température aux bouches de l'orangerie, à partir de celle du centre, était de 95°, 65°, 55°, 47° et 27°; et aux bouches de la bibliothèque elle était de 35° pour celles qui recevaient l'air des calorifères *c* et *c'*, et de 35° à 60° pour celles qui étaient alimentées par les calorifères *d* et *d'*.

2043. Par suite des faits que nous venons de rapporter, la commission a conclu : 1° que le chauffage et la ventilation de la salle étaient satisfaisants, mais qu'il était nécessaire de supprimer le passage de l'air chaud entre la voûte de la galerie L, et la salle qui se trouve au-dessus, attendu que cette salle était trop échauffée, et qu'il en résultait une grande perte de chaleur; 2° que le chauffage de l'orangerie et de la bibliothèque était complètement manqué.

Depuis, quelques modifications ont été faites dans les appareils de chauffage de la bibliothèque, mais elles n'ont pas produit d'amélioration sensible.

2044. Dans le système de chauffage et de ventilation que nous venons de décrire, le mode de renouvellement de l'air de la salle est très-bien entendu, car l'air respiré est toujours parfaitement pur; la ventilation d'hiver est très-convenable, car elle s'effectue seule; mais la ventilation d'été exige nécessairement une surveillance des hommes qui sont chargés de mouvoir les ventilateurs, et cette circonstance rend la ventilation



bien moins certaine que celle des cheminées d'appel. Dans le choix du mode de chauffage, l'ingénieur a été guidé par ce principe, qu'il fallait, avant tout, chauffer la masse des bâtiments. Ce principe serait bon, si ces masses étaient isolées; mais comme elles communiquent avec le sol par de très-grandes surfaces, elles propagent rapidement la chaleur et occasionnent de très-grandes pertes de combustible. Il paraît cependant que les conduits d'air chaud ont des sections bien plus petites que celles qui étaient indiquées dans le plan de M. Talabot, et que l'insuffisance du chauffage de la bibliothèque et des pavillons doit, en grande partie, être attribuée à cette circonstance.

2045. Récemment, le ministre des travaux publics a nommé une commission, présidée par M. le baron Thenard, composée de MM. Gay-Lussac, Pouillet, Seguiet et Péclet, pour donner son avis sur le mode de chauffage le plus convenable pour chauffer toutes les pièces du palais.

2046. On ne pouvait pas penser à donner une plus grande extension, même en le modifiant, au mode actuel de chauffage, parce qu'il ne peut convenir qu'au chauffage des pièces voisines des calorifères. La conservation même des calorifères qui existent, et l'établissement d'un appareil destiné à chauffer la totalité du palais, excepté la salle des séances et les corridors, présentaient plusieurs inconvénients. L'administration du palais aurait été obligée de conserver à ses frais un chauffeur qui aurait été fort peu occupé; il aurait été difficile de trouver, ailleurs que dans la cave où sont construits les calorifères, un emplacement convenable pour placer les nouveaux appareils de chauffage; en outre, l'économie qui résulterait de la conservation d'une partie des calorifères, serait loin de compenser l'économie des frais de chauffage que présenterait un système occasionnant moins de perte de chaleur dans le transport; et enfin l'accroissement des frais d'établissement du nouvel appareil pour chauffer la chambre et ses dépendances serait insignifiant. Ces considérations et la nécessité de substituer, pour la ventilation d'été, une cheminée d'appel au travail incertain des ventilateurs, a déterminé la commission à proposer un système unique de chauffage pour tout le palais. La commission a ensuite admis en principe, que le chauffage à l'eau chaude circulant dans des tuyaux d'une grande section, devait être préféré à tous les autres modes de chauffage.



2047. M. Léon Duvoir ayant présenté un projet complet de chauffage du palais par l'eau chaude, dont les principales dispositions répondaient aux vues de la commission, comme ce constructeur a une grande expérience de ce mode de chauffage, et qu'il offrait de prendre des engagements qui présentent toutes les garanties désirables, relatives à l'exécution et à l'économie annoncée, la commission décida que le projet en question serait examiné dans tous ses détails, modifié s'il y avait lieu, et proposé au ministre des travaux publics.

2048. Les principales modifications introduites dans le projet proposé sont les suivantes. L'air destiné à la ventilation de la salle des séances devait être échauffé, en partie par la chaleur de la fumée transmise à travers une cloison en briques et une feuille de tôle; dans la crainte qu'un excès de tirage accidentel dans la colonne d'air chaud, n'y introduisît de la fumée, la commission a exigé que le chauffage de l'air de ventilation de la salle n'ait lieu que par son contact avec des tuyaux à eau chaude. Le renouvellement de l'air de la salle des séances devait s'effectuer par des orifices d'accès et de sortie, pratiqués dans les parties basses de la chambre, et l'appel devait avoir lieu par les cendriers des fourneaux; la commission a exigé que le mode actuel de ventilation soit conservé, sans aucun autre changement que l'établissement d'une cheminée d'appel au-dessus du lustre, pour la ventilation d'été. Dans le projet, le vase d'expansion devait être fermé et muni d'une soupape chargée directement d'un poids équivalent à une pression de 2 atmosphères; l'excès de pression a été limité à 1 atmosphère et demie, et la soupape sera remplacée par un manomètre à mercure ouvert à la partie supérieure. Les appareils de dilatation à boîtes, qui devaient être très-nombreux dans le projet primitif, seront réduits à un très-petit nombre. Enfin, les poêles, qui devaient être en fonte, seront en tôle. Après ces modifications, l'appareil de chauffage se trouvera disposé de la manière suivante. Dans la cave, où se trouvent les huit calorifères à air chaud, seront placés deux chaudières à eau chaude en tôle; de ces chaudières partiront deux tubes en fonte d'un grand diamètre, qui s'élèveront, par le chemin le plus court, dans les greniers des deux pavillons neufs qui donnent sur le jardin, et aboutiront chacun à un vase d'expansion; de chacun de ces vases partiront vingt tubes de distribution, de 0,03 de diamètre, en cuivre avec jonctions à vis, garnis de robinets à soupape et à boîte à



étoupes; chaque tube se prolongera jusqu'à l'angle d'une des pièces du premier étage, et alimentera successivement deux poêles placés, l'un au premier étage, l'autre au rez-de-chaussée. Les tubes se réuniront ensuite sous le dallage du rez-de-chaussée, où ils échaufferont de l'air destiné au chauffage de certaines pièces. Le tuyau de retour formera deux hélices placées dans le fourneau et logées dans des carreaux échauffés extérieurement par la fumée, qui échaufferont de l'air destiné au chauffage de la bibliothèque, des couloirs et des escaliers. Des tuyaux à eau chaude sont destinés au chauffage spécial de l'air de ventilation de la chambre; d'autres à chauffer de 50 à 60° de l'air qui pénétrera dans la chambre par de larges orifices situés à la partie basse, pour chauffer les murs avant les séances. Enfin, un foyer, placé dans le grenier qui se trouve au-dessus de la chambre, chauffera des tuyaux à eau chaude placés dans une cheminée d'appel qui se trouve au-dessus de l'orifice du lustre, et versera dans cette cheminée l'air brûlé en partie refroidi. Le devis des frais d'établissement s'élève à 180,000 fr.

2049. M. L. Duvoir s'engage, 1° à ne pas dépasser le devis, et se soumet à faire régler toutes les dépenses suivant la méthode ordinaire, à l'exception des deux calorifères, dont le prix est fixé à 20,000 francs; 2° à se charger pendant douze ans du chauffage, sous la condition de maintenir dans la chambre et dans les vestiaires, pendant les séances, une température de 18°; une température de 15° dans toutes les pièces habitées et dans la bibliothèque, une température de 12° dans toutes les pièces qui ne servent que de passage, et 10° seulement dans l'orangerie; de ventiler la salle des séances de manière à y faire passer de 7000 à 8000 mètres cubes d'air par heure, en hiver et en été; moyennant 35 fr. par jour de chauffage pour un chauffage continu de 7 mois, plus 5 fr. par jour de séance d'hiver, 10 fr. par jour de séance d'été, et 15 fr. en sus pour les jours de séance d'été, si l'on veut refroidir l'air de ventilation; 3° à remettre, après douze ans, les appareils en bon état, moyennant une somme annuelle de 2000 fr., pour les frais d'entretien.

2050. D'après cela, en supposant 7 mois de chauffage, 30 séances d'hiver et 10 séances d'été, le chauffage, la ventilation, et l'entretien des appareils, coûteraient annuellement 9600 fr., tandis que le chauffage actuel, qui a lieu par les appareils que nous avons décrits d'abord, par de petits calorifères distribués dans le bâtiment, et par des chemi-



nées, chauffage incomplet et insuffisant sur beaucoup de points, coûte maintenant 35,500 francs, et environ 10,000 fr. d'entretien. A la vérité, dans un certain nombre de pièces chauffées, on conservera des feux de cheminée, qui exigeront une certaine dépense; mais elle sera peu considérable, et l'établissement du nouvel appareil produira une économie considérable, même en tenant compte de l'intérêt du capital dépensé.

2051. Les pièces chauffées ont ensemble un volume de 60,000 mètres cubes; les murs ont de 0^m,50 à 0^m,60 d'épaisseur, leur surface totale est de 7870 mètres; la surface des fenêtres est de 3770 mètres. En prenant 15° pour la température moyenne de l'air dans les pièces, 7° pour la température moyenne de l'air extérieur, pendant les 7 mois de chauffage, l'excès moyen de température sera 8°, et la quantité moyenne de chaleur transmise par heure sera de $3770 \times 32 + 7800 \times 12 = 214240$ unités qui, en supposant un effet utile de 5000 unités par kilogr. de houille, correspondent à 43 kilogr. par heure moyenne de chauffage; alors pour huit heures de chauffage et une perte de chaleur équivalente pendant les interruptions, la quantité moyenne de combustible consommé par jour sera de $42 \times 16 = 672$ kilogr., qui, à raison de 4 francs les 100 kilogrammes, prix maximum de la houille en grandes masses, élèverait la dépense du combustible à 26 francs; et cette somme est même trop élevée, parce que les frais de chauffage sont faibles les jours fériés, que les pièces ne seront maintenues aux températures indiquées que quand elles seront occupées, que la température moyenne est réellement au-dessous de 15°, que la transmission de la chaleur à travers les murailles est un peu plus petite que celle qui a été supposée, attendu que leur température est un peu inférieure à celle de l'air des pièces, et que leur conductibilité est diminuée par les boiseries et les tapisseries. Ainsi la somme accordée est suffisante pour les frais de chauffage, le salaire du chauffeur et pour laisser à l'entrepreneur un bénéfice convenable.

2052. *Chauffage de la Chambre des Députés.* La salle des séances de la Chambre des Députés et ses dépendances sont chauffées par des calorifères, en même nombre et disposés de la même manière qu'à la Chambre des Pairs; deux sont destinés au chauffage des couloirs et des escaliers, quatre au chauffage de la salle. Mais le mode de distribution de l'air dans la salle et le mode d'appel sont très-différents. A la Chambre des Députés, l'air chaud se rend dans la salle par des orifices

percés dans la contre-marche du banc des ministres, qui se trouve dans la partie la plus basse, au centre de la salle; il est appelé dans un caniveau qui règne sous le dernier rang des bancs, et par des orifices percés dans le plafond des tribunes; de là, il se rend simultanément, par plusieurs canaux verticaux, dans une vaste cheminée, renfermant un foyer à coke, et terminée au-dessus du toit par de larges plaques de zinc percées de trous disposés comme ceux des mitres de Millet (fig. 3, pl. 6).

2053. La fig. 1 (pl. 116) représente le plan général des bâtiments. A, B, C, D sont les calorifères destinés au chauffage de la salle; E et F ceux qui sont affectés au chauffage des escaliers et des couloirs. Les flèches indiquent la direction du mouvement de l'air extérieur. La fig. 2 représente une coupe verticale de la salle; les prises d'air sont en *a*, *b* et *c*. Tous les conduits aboutissent à des cheminées d'appel ayant à peu près 3 mètres de section; ces dernières débouchent dans une cheminée de 3 mètres de côté, qui reçoit en même temps l'air brûlé d'un foyer à coke, alimenté d'air par les cheminées d'appel. Les fig. 4, 5, 6 et 7 (pl. 115) représentent le calorifère E, fig. 1 (pl. 116). La figure 4 est une coupe verticale suivant *x x'* (fig. 6); la figure 5, une coupe verticale suivant *y y'* (fig. 4); la figure 6, une coupe horizontale suivant *t t'* (fig. 4); et la figure 7, une coupe verticale suivant *z z'* (fig. 4) Les figures 8, 9 et 10 représentent une coupe horizontale et deux coupes verticales, perpendiculaires entre elles, du foyer d'appel; les grilles sont encaissées afin de produire une plus haute température dans le foyer, et par suite une meilleure combustion.

2054. On allume les foyers des calorifères plusieurs heures avant l'ouverture de la séance, et on laisse tomber les feux quand elle commence; la chaleur des conduits et la chaleur produite par les personnes réunies suffisent pour maintenir une température convenable. On n'allume que plus tard le foyer d'appel. Avant la séance, les couloirs et les escaliers sont chauffés par la circulation de la même masse d'air. La salle, les couloirs et les escaliers sont chauffés tous les jours, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de séance. La consommation de houille a été de 613 hectolitres, du 19 octobre 1840 au 10 mars 1841, et par conséquent de 4,3 hectolitres par jour. La consommation de coke dans la cheminée d'appel est, moyennement, de 2 hectolitres par jour de séance.

2055. L'appareil de chauffage de la Chambre des Députés a été



construit par M. Talabot, mais avant celui de la Chambre des Pairs. Le mode de chauffage employé présente moins d'inconvénients qu'à la Chambre des Pairs, parce que le chemin parcouru par l'air chaud est plus court; mais le mode de renouvellement de l'air est bien moins convenable. L'air chaud, en sortant des bouches, s'élève rapidement au plafond, et les couches d'air descendent progressivement, en se refroidissant, jusqu'au niveau des orifices de départ; alors comme les gradins sont très-inclinés, le renouvellement de l'air à leur surface n'a lieu que par des doubles courants, et la température de l'air est plus élevée à la partie supérieure qu'à la partie inférieure. C'est là, sans aucun doute, la cause des inconvénients dont on se plaint (1091). On n'éviterait pas l'inégalité de température en plaçant les orifices d'appel dans la partie la plus basse de la chambre, car toujours les couches d'air auraient une température décroissante de haut en bas. Le seul remède consisterait dans une répartition uniforme de l'air dans toute l'étendue des gradins, comme à la Chambre des Pairs, et dans des orifices de sortie d'une étendue suffisante, placés à la hauteur des plafonds des tribunes. Le moyen d'appel est aussi moins favorable qu'à la Chambre des Pairs, parce qu'il exige toute l'année un foyer très-actif, tandis qu'au Luxembourg la sortie de l'air, pendant l'hiver, a lieu naturellement; mais avant d'entrer dans la chambre, l'air chaud parcourt un long canal vertical dont la force ascensionnelle facilite la sortie de l'air de la chambre, circonstance qui ne peut être réalisée à la Chambre des Députés. A la Chambre des Députés, l'air extérieur parcourt des caves d'un très-grand développement avant d'arriver dans les calorifères; cette circonstance est favorable à l'économie du combustible en hiver, et fournit de l'air frais pour la ventilation d'été. M. Talabot avait proposé pour la Chambre des Pairs une disposition qui aurait été plus efficace : elle consistait à prendre l'air d'appel dans des carrières abandonnées, dont plusieurs embranchements existent sous le jardin du Luxembourg. Ces longues galeries à air peuvent cependant avoir de graves inconvénients, quand elles sont d'un accès facile.

2056. *Palais du quai d'Orsay.* Ce palais, occupé par le Conseil d'État et la Cour des comptes, est aussi vaste que celui du Luxembourg, et renferme des pièces dont le volume total est aussi d'environ 60,000 mètres cubes. Ce palais est chauffé par un appareil à eau chaude construit



par M. Léon Duvoir. L'entrepreneur s'est engagé à maintenir dans les pièces une température de 15°, moyennant une somme de 30 francs par jour de chauffage, salaire du chauffeur compris. Cette condition est remplie, comme j'ai eu plusieurs fois l'occasion de m'en assurer. Les dispositions générales du chauffage me paraissent bien entendues, et tous les appareils en évidence sont construits avec soin et avec élégance. Mais une faute grave a été commise; rien n'a été prévu pour la ventilation. A la vérité, toutes les pièces de petite dimension sont pourvues d'une cheminée, et comme elles sont chauffées par de l'air chaud animé d'une assez grande vitesse, quand la température extérieure est peu élevée, les cheminées peuvent alors produire un renouvellement d'air suffisant. Mais il n'en est pas ainsi des grandes salles d'audience. Celle du Conseil d'État a été ventilée dernièrement par des orifices pratiqués dans le sol, près des fenêtres, et communiquant avec un canal qui vient s'ouvrir dans le cendrier du foyer de la chaudière à eau chaude. Mais, comme nous l'avons déjà dit, par l'appel d'un foyer qui sert en même temps au chauffage, on ne peut pas obtenir une ventilation régulière.

Pour les palais, et les grands édifices, je regarde le chauffage à l'eau chaude par des circuits partiels, ou par des poêles isolés chauffés séparément par la vapeur comme préférable au chauffage à l'eau chaude par une circulation générale, et parce que les réservoirs et les tuyaux de chauffage ne supporteraient pas de pression, et parce que les joints seraient plus faciles à maintenir étanches, enfin parce qu'une fuite aurait des inconvénients beaucoup moins graves. Une chaudière destinée à chauffer de l'eau par l'intermédiaire de la vapeur, alimentée par l'eau de condensation et marchant toujours à basse pression, ne présenterait d'ailleurs aucun inconvénient.

2057. *Théâtres.* Le mode le plus convenable de chauffage et de ventilation des théâtres, a été décrit par M. Darcet, dans des notes imprimées, en 1829, dans les Annales d'hygiène publique. Nous nous bornerons à une indication succincte des principes admis par M. Darcet, et qui satisfont à toutes les conditions.

2058. La salle doit être chauffée par l'air de ventilation, attendu qu'il suffit que cet air se trouve à une température peu supérieure à celle de 15°, pour fournir la chaleur transmise par les murailles. La faible déperdition provient de ce que les salles sont environnées d'une double



enceinte, formée par les couloirs, qui est toujours échauffée, et de ce que la chaleur produite par les spectateurs est considérable. L'air doit être chauffé dans des caniveaux renfermant des tuyaux à vapeur ou à eau chaude, et se répandre d'abord dans les couloirs, d'où il pénètre dans la salle par des orifices pratiqués entre le plafond de chaque loge et le plancher de celle qui se trouve au-dessus. Un petit vasistas placé au fond de la loge et à sa partie supérieure, permet d'appeler dans chaque loge de l'air du couloir. Il serait aussi très-utile d'établir un certain nombre de bouches dans le parterre, ou mieux encore de faire entrer l'air par un grand nombre d'orifices très-petits, distribués sur toute la surface du sol; il serait convenable aussi de placer dans les couloirs des poêles à vapeur ou à eau chaude. Le foyer doit être chauffé par des poêles à vapeur ou à eau chaude et par des cheminées. Les loges d'acteurs et le théâtre doivent être chauffés par des poêles à vapeur ou à eau chaude. Quant à la ventilation, la hauteur de la colonne d'air chaud, contenue dans la salle, serait suffisante, en hiver, pour produire un très-grand appel; mais on emploie dans toutes les saisons la chaleur développée par les lumières du lustre, en plaçant au-dessus de l'orifice du cintre une cheminée en planches, s'élevant de quelques mètres au-dessus du toit, fermée en dessus, garnie sur les quatre faces de jalousies fixes, et pourvue d'un registre tournant destiné à régler le tirage, parce qu'il dépasse presque toujours celui qui est nécessaire. Pour répartir l'air d'une manière plus uniforme, il serait nécessaire de faire communiquer les parties supérieures des dernières loges avec la cheminée, par des canaux en planches construits au-dessus du plafond de la salle. Une semblable cheminée, placée au-dessus du théâtre, permettrait d'évacuer rapidement, et sans les faire passer dans la salle, les fumées et les gaz qui se produisent dans certaines représentations. Il est évident que, pour ces établissements, on ne peut hésiter qu'entre le chauffage à vapeur et le chauffage par l'eau chaude à basse pression.

Malgré la facilité avec laquelle le chauffage et la ventilation des salles de spectacle peuvent être établis, il y a peu de salles qui soient convenablement chauffées et ventilées, et presque toujours les mauvais résultats obtenus proviennent de ce que les orifices d'accès de l'air dans la salle n'ont pas une surface suffisante.

2059. *Chauffage de la Bourse.* Ce chauffage a été établi en 1828,



d'après l'avis d'une commission composée de MM. Gay-Lussac, Thénard et Darcet. La salle de la Bourse ayant une très-grande capacité et une très-grande hauteur, un chauffage continu, à une température voisine de 15°, aurait été difficile à établir, et aurait exigé une grande consommation de combustible. D'ailleurs, la salle n'étant occupée que pendant un petit nombre d'heures de la journée, par des personnes presque continuellement en mouvement, on ne pouvait employer qu'un chauffage intermittent. La commission, dans son projet, a cherché à satisfaire seulement aux conditions suivantes : 1° échauffer une partie du sol; 2° verser dans la salle un volume d'air chaud suffisant pour la salubrité; 3° produire ces effets par un chauffage rapide. Le chauffage par la vapeur était le seul qui pût satisfaire à ces conditions, et c'est celui qui a été adopté.

2060. La chaudière à vapeur est placée vers l'angle sud-est de l'étage de soubassement. La chaudière est rectangulaire, un peu concave en dessous; elle a 4 mètres de longueur, 1^m,10 de largeur, et 0^m,65 de hauteur. Un tuyau amène à cette chaudière l'eau d'un réservoir supérieur, où se réunissent les eaux pluviales des combles. Lorsque celles-ci manquent, on y supplée au moyen d'un embranchement établi sur les conduits d'eau de la ville. La cheminée est en fonte de fer, elle a 25^m de hauteur et 0^m,36 de diamètre.

2061. L'appareil principal est placé dans un caniveau pratiqué au-dessous du sol de la grande salle, au milieu et dans le pourtour des galeries. Le sol du caniveau est formé d'un dallage en pierre posé sur mortier hydraulique, et légèrement incliné vers la chaudière, de manière à faire écouler les eaux qui pourraient s'échapper par les joints. L'appareil de condensation, placé dans ce caniveau, se compose de quatre caisses en fonte qui occupent les quatre angles, et de trois conduits en fonte qui établissent la communication des caisses. La caisse la plus voisine de la chaudière en reçoit la vapeur par un tuyau qui communique avec elle; de cette caisse la vapeur passe dans les autres caisses par les tuyaux de fonte dont nous venons de parler. Les tuyaux ont 2 mètres de longueur, 0^m,16 de diamètre intérieur, et 0^m,017 d'épaisseur; ils sont réunis par des collets à boulons. Ils reposent sur des rouleaux en fer, et chaque système de tuyau est garni d'un compensateur placé au milieu de sa longueur. Les quatre caisses et toute l'étendue du caniveau sont recouvertes de plaque



de fonte, placées à feuillures dans des barres de fonte qui règnent dans tout le pourtour des caniveaux, et sont maintenues par des vis. Des ouvertures pratiquées de distance en distance, dans le fond des caniveaux, prennent dans les caves de l'air froid qui, après s'être échauffé autour des tuyaux, passe sous le dallage et ensuite dans la salle, et dans le vestibule d'entrée. L'appareil principal communique avec un poêle à vapeur, placé dans le vestibule, dont la partie inférieure est garnie d'un tuyau qui s'ouvre dans les caves, et qui sert à expulser l'air lors du chauffage, et à le faire rentrer lorsque l'émission de la vapeur est suspendue. Ce tuyau est garni d'un robinet, mais il est percé avant le robinet d'un petit orifice. Un second tuyau, communiquant directement avec la chaudière, et placé dans le caniveau dont il a été question, au-dessus des trois qui établissent la communication des caisses de fonte placées dans les angles, est destiné à chauffer des calorifères à vapeur placés dans différentes pièces. On avait pensé, à l'origine, que les eaux de condensation pourraient retourner directement à la chaudière par les tuyaux à vapeur, en marchant en sens contraire; mais il n'en a pas été ainsi, et on a été obligé d'établir des tuyaux pour le retour de l'eau, un au-dessous de la caisse la plus éloignée de la chaudière, et d'autres dans les calorifères.

2062. La figure 1^{re} (pl. 117) est le plan de la Bourse au niveau du rez-de-chaussée; on a supposé que les plaques de fonte qui ferment les caniveaux étaient enlevées. 1, 1, porche et galeries extérieures. 2, 2, 2, vestibules. 3, logement du concierge. 4, grande salle. 5, 5, salles et bureaux des courtiers de commerce. 6, 6, bureaux du commissaire de police. 7, latrines. 8, salles des agents de change. 9, 9, bureaux des agents de change. 10, dépôt des cannes.

Les figures 2, 3 et 4 représentent le plan, et deux coupes verticales de l'angle de l'appareil principal le plus rapproché des chaudières. *a, a*, caisses d'angle. *b, b, b*, triple conduite entre les caisses. *c*, conduite amenant la vapeur dans la caisse la plus rapprochée de la chaudière. *d, d*, rouleaux en fer sur lesquels reposent les tuyaux. *e, e*, plaques de fonte qui recouvrent les caisses et le caniveau. *f, f*, ouvertures pratiquées dans le fond des caniveaux pour les prises d'air. *g, g*, conduits pratiqués à la partie supérieure des caniveaux, et par lesquels l'air chaud se rend dans la salle. *j*, calorifère à vapeur dans lequel se trouve le tuyau de dégagement de l'air. *k*, seconde conduite alimentant



les calorifères à vapeur. *l*, première branche de cette conduite alimentant deux calorifères placés dans les bureaux du commissaire de police et des courtiers de commerce. *mm*, seconde branche alimentant les autres calorifères.

La figure 5 est une coupe verticale faite en travers de la partie du caniveau la plus éloignée de la chaudière. La figure 6 représente les plaques de fonte qui ferment les caisses et le caniveau. Les figures 7, 8 et 9 représentent l'élévation, le plan, et une coupe verticale de deux calorifères chauffés par le même courant de vapeur; celui du rez-de-chaussée se trouve dans les bureaux des agents de change, celui qui est au-dessus dans les bureaux des transferts. *a*, petit tuyau pour la sortie et la rentrée de l'air. *bb*, portion du tuyau général, recevant le tuyau *a* et incliné de manière à laisser écouler l'eau qui s'y condense.

Les figures 10 et 11 représentent l'élévation, la coupe et le plan du calorifère *z*, figure 1^{re}, et du tuyau de plomb par lequel s'écoule l'air contenu dans l'appareil principal. La figure 11 représente les robinets placés dans la partie supérieure et la partie inférieure de chacun des récipients du bureau des agents de change; ils sont disposés de manière à permettre de chauffer à volonté, ensemble ou séparément, ce récipient et celui qui se trouve au-dessus.

2063. La surface totale des tuyaux placés dans le caniveau de la grande salle est de 240^m. Celle des plaques de fonte qui ferment le caniveau est de 177^m,30. Les ouvertures par lesquelles l'air chaud se dégage dans la grande salle offrent ensemble une surface de 2^m. La surface de chauffe des calorifères est de 50^m. Les tuyaux de conduite, placés dans les caniveaux, présentent une surface de 48^m.

Les plaques qui ferment les caisses placées aux angles du caniveau de la grande salle, sont maintenues à une température voisine de 95°. Celle des plaques de fonte qui ferment le caniveau est à peu près de 50°.

2064. L'appareil a coûté 86,000 francs. Le chauffage dure ordinairement du 1^{er} novembre à la fin d'avril. Le chauffage de la grande salle a lieu de midi à cinq heures; pour les autres pièces de neuf heures à cinq heures. La consommation de combustible est à peu près de 68,000 kilogr. de houille pour toute la durée du chauffage, et de 419 kilogr. par jour.



La dépense moyenne par jour, y compris le salaire du chauffeur, est à peu près de 36 fr.

2065. Les nombres que nous venons de rapporter permettent de calculer approximativement la condensation, par mètre carré et par heure, des tuyaux renfermés dans les caniveaux. Les 50^m de surface de chauffe des calorifères, pendant les huit heures de chauffage de chaque jour, ont condensé $50 \times 1,87 \times 8 = 748$ kilogr. La consommation moyenne de combustible étant de 419 kilogr. de houille, qui correspondent à $419 \times 5 = 2095$ kilogr. de vapeur, les tuyaux placés dans les caniveaux ont dû condenser $2095 - 748 = 1347$, en négligeant celle des tuyaux de conduite. Or, la surface totale de ces tuyaux étant de 240^m, et ces tuyaux étant chauffés pendant cinq heures, la condensation par mètre carré et par heure est de $1347 : 240 \cdot 5 = 1^s,12$.

2066. Le chauffage de la Bourse a été très-bien entendu et très-bien exécuté, et il a produit tous les résultats qu'on en attendait. Cependant, si on avait un pareil chauffage à construire, il serait utile d'isoler les parois du caniveau dans lequel sont placés les tuyaux de fonte, afin de diminuer la transmission de la chaleur dans le sol; il n'est pas douteux qu'on obtiendrait ainsi une économie considérable de combustible.

2067. Il y a quelques années, cet appareil a éprouvé un grave accident : les compensateurs des tuyaux qui établissent la communication des caisses placées aux angles des caniveaux de la grande salle, n'ayant pas été graissés et soignés convenablement, les surfaces métalliques en contact se sont rouillées et ont pris une adhérence telle, qu'elles n'ont pu glisser l'une sur l'autre, et que les parois des caisses de fonte ont été brisées. MM. Rohaut et Musard ont obvié, pour l'avenir, à un accident de cette nature, en remplaçant chaque compensateur en fonte par deux autres plus petits en cuivre, placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des deux tuyaux qui doivent être réunis; le premier servant au passage de la vapeur, le second à celui de l'eau, fig. 12 (pl. 88).

2068. *Chauffage de l'hôtel des Monnaies de Paris.* Ce chauffage, construit par M. Grouvelle, d'après le plan de M. Darcet, est produit par la chaleur qui résulte de la combustion des gaz qui se dégagent d'un four à coke. La planche 118 renferme tous les détails relatifs à ce chauffage.

Le four à coke est placé dans une cave près du grand escalier.



Il a 1^m,60 de diamètre intérieur sur 0,46 de hauteur au centre. On le charge de 5 hectolitres par 24 heures. La cheminée a 0^m,22 de diamètre; les deux événements 0^m,054 sur 0^m,03. La cheminée est d'abord en briques, au-dessus de la voûte elle est en fonte, et se dirige verticalement dans un des angles du grand escalier, jusqu'au palier du premier étage : là, elle s'incline, passe à travers un gros mur, et verse l'air brûlé dans un caniveau en briques recouvert par des plaques de fonte et un dallage en marbre, qui traverse obliquement la salle d'entrée; ensuite dans un autre caniveau de 0^m,16 de profondeur sur 0^m,74 de largeur, recouvert de plaques de fonte nues, qui traverse le musée dans toute sa longueur. De là, l'air brûlé passe sous la plaque de la cheminée, dans un système de tuyaux verticaux, placés dans un cabinet situé derrière la cheminée, et enfin dans la cheminée.

Le tuyau vertical, placé dans la cage de l'escalier, est garni d'une enveloppe carrée en briques, de 0^m,38 de diamètre intérieur. Cette enveloppe est percée à la partie inférieure d'une ouverture pour admettre l'air froid autour du tuyau, et à la partie supérieure de plusieurs orifices pour l'écoulement de l'air qui s'est échauffé en passant sur la surface du tuyau. On chauffe aussi de l'air sur la surface supérieure du four.

Il résulte, de deux années d'expérience, que la houille employée a rendu en coke de 0,65 à 0,70 de son poids, et de 1,52 à 1,55 de son volume. Le poids de l'hectolitre comble de coke a varié de 30 à 38 kilogr. Le coke produit est consommé dans les poêles de la Monnaie et dans le laboratoire d'essai.

2069. La figure 1^{re} (pl. 118) représente le plan général du musée monétaire. La figure 2, la face antérieure du four. Les figures 3, 4 et 5, les coupes verticales et horizontales du four. La figure 6, une coupe à une plus grande échelle de tout l'appareil de chauffage. La figure 7, une coupe transversale de la cheminée en fonte et de son enveloppe. La figure 8, le plan de la cheminée du musée. La figure 9, une coupe verticale du caniveau de la salle, et la figure 10, l'élévation du système des tuyaux qui conduisent l'air brûlé dans la cheminée. *a*, four à coke. *b*, tuyau vertical en fonte, entouré d'une enveloppe en briques. *c*, caniveau placé sous le plancher de la salle d'entrée du musée. *dd*, caniveau recouvert de plaques de fonte qui traverse le musée. *e, e*, tuyaux dans lesquels s'élève l'air brûlé pour passer dans la cheminée de dégagement. *a'*, bouche d'air chaud

qui s'ouvre dans le cabinet des coins b' . p , calorifère placé sur le four où l'on chauffe l'air destiné au laboratoire. q , calorifère qui chauffe de l'air qui est versé dans l'escalier.

Pendant l'hiver 1832-1833, on a distillé par jour 5 hectolitres de houille; le chauffage a duré 6 mois 7 jours, pendant lesquels la consommation de houille a été de 960 hectolitres qui ont produit 1307 hectolitres de coke. Toutes les pièces sont convenablement chauffées.

2070. Le chauffage par la chaleur perdue des fours à coke présente de l'avantage quand on est obligé de faire cette fabrication, ou quand on a l'emploi ou un débouché assuré de l'espèce de coke qu'on obtient dans les fours. Il a pourtant l'inconvénient de produire une quantité de chaleur à peu près constante, tandis que celle qui est nécessaire au chauffage est très-variable, et de donner au chauffage une continuité qui n'est pas toujours nécessaire. Mais si le coke produit ne pouvait être employé que pour le chauffage ordinaire, ou vendu au prix du coke léger fourni au commerce par les fabriques du gaz destiné à l'éclairage, le mode de chauffage dont il est question, du moins à Paris, coûterait plus que l'emploi direct de la houille, car les usines à gaz fournissent du coke dont le prix, à poids égal, diffère peu de celui de la houille. En effet, à Paris, les prix actuels de la voie de houille et de coke léger sont à peu près de 65 et de 35 francs; en supposant que la voie de houille pèse 1270 kilogrammes, la voie de coke 525 kilogrammes; comme une voie de houille produit 1 voie et demie de coke ou 787 kilogrammes, la quantité de combustible perdu dans la transformation d'une voie de houille en coke serait de 488 kilogrammes, et la différence des prix d'achat et de vente serait de 13 francs; alors en supposant que la chaleur développée par le combustible vaporisé, soit égale à celle qui serait produite par la combustion d'un même poids de houille, le bénéfice par voie de houille serait de 11 francs, et comme dans un four ordinaire il faut 3 jours pour distiller une voie de houille, le bénéfice par jour serait de moins de 4 francs, bénéfice plus que compensé par la continuité du chauffage et par la main-d'œuvre.

2071. *Chauffage d'une grande salle du collège Louis-le-Grand.* Cette pièce sert à réunir les élèves dans un grand nombre de circonstances. L'appareil de chauffage et de ventilation a été construit par





M. René Duvoir. Le calorifère représenté par les figures 3, 4, 5 et 6 a été décrit précédemment (1524).

Ce calorifère est placé dans une cave située au-dessous de la salle; l'air chaud s'écoule par un canal aa' , pratiqué au-dessous du sol, dont la section diminue progressivement, dont les parois sont formées de corps mauvais conducteurs, et qui est percé à sa partie supérieure de six larges orifices recouverts de plaques de fonte à jours, par lesquels l'air chaud débouche dans la pièce. Deux autres canaux parallèles bb' , cc' , disposés de la même manière et d'une section deux fois plus petite, prennent l'air de la pièce à la surface du sol, pour le ramener au calorifère, quand il s'agit seulement d'échauffer la salle, ou dans la cheminée d'appel chauffée par le tuyau à fumée du calorifère, quand la pièce est occupée. Le chauffage de cette pièce étant très-irrégulier, je n'ai pu me procurer aucun renseignement qui puisse conduire à une appréciation de l'effet utile du combustible consommé, ni de l'efficacité du système de ventilation adopté; je sais seulement que l'on est satisfait du chauffage et de la ventilation. Dans cet appareil rien n'a été disposé pour la ventilation d'été. Mais on l'effectuera facilement en établissant un foyer dans la cheminée d'appel, en aspirant l'air à une hauteur supérieure aux places les plus élevées des personnes réunies, par un ou plusieurs orifices d'une section suffisante: l'air frais étant fourni par le canal central aa' .

2072. *Chauffage des églises.* Les églises sont malsaines par l'humidité qui y règne habituellement, et par l'absence d'une température convenable; rarement elles le sont par défaut de ventilation (1), parce que les nefs, en général très-élevées, renferment un volume d'air bien supérieur à celui qui est nécessaire, et qu'il y a presque toujours un renouvellement d'air assez considérable par les portes et les fissures des vitraux.

(1) Je dis rarement, mais non jamais; car, dans les grandes solennités, qui attirent un grand nombre de personnes, et durant lesquelles les lumières sont nombreuses, la ventilation naturelle peut être insuffisante. J'en citerai un exemple récent: lors de la cérémonie funèbre du duc d'Orléans, à l'église Notre-Dame, plus de 6000 personnes y étaient réunies; l'église était éclairée par une grande quantité de lumières; les fenêtres étaient fermées par des décors; et la ventilation n'avait lieu que par des doubles courants qui traversaient la grande porte d'entrée; aussi, en peu d'instant, la température y



L'humidité des églises est d'ailleurs une des causes les plus influentes de la détérioration des objets d'art qu'elles renferment. Ainsi, sous tous les rapports, il est important de chauffer et d'assainir les églises. En Angleterre, un grand nombre de chapelles sont chauffées. En France, une seule église, la Madeleine, est chauffée, et seulement depuis peu de temps. Avant de décrire les modes de chauffage et de ventilation qui ont été employés ou proposés, nous examinerons d'une manière générale les conditions à remplir et les dispositions qui paraissent les plus convenables.

2073. Les églises gothiques, à nefs élevées, sont toujours garnies de vitraux blancs ou colorés, dont les parties, réunies par des lames minces en plomb, laissent entre elles des intervalles nombreux, qui occasionnent une ventilation naturelle souvent très-puissante, quand les portes sont ouvertes. La première chose à examiner, c'est l'influence de ces orifices sur le chauffage. Lorsqu'une pièce, fermée de toute part, reçoit par la partie inférieure un courant d'air chaud, on sait que l'air chaud s'élève d'abord assez rapidement, mais avec une vitesse décroissante, à mesure qu'il se mêle avec l'air environnant; arrivé à la partie supérieure de la pièce, il s'étale en couche sensiblement horizontale, et si à la partie inférieure se trouvent des orifices communiquant au dehors, l'air descend progressivement en se refroidissant, et toujours par couches horizontales ayant dans toute leur étendue à peu près la même température. Mais indépendamment de ce mouvement général de la masse, il y a toujours contre les murs des courants descendants animés d'une vitesse d'autant plus grande que les murs sont à une plus basse température. Dans le cas que nous considérons, l'écoulement de l'air par les orifices pratiqués dans le sol est dû à l'excès de pression résultant du mouvement ascensionnel de l'air chaud avant et après son introduction; par conséquent, s'il existait des orifices à la partie supérieure de la pièce, ils don-

devint insupportable; les cierges qui environnaient le catafalque se courbaient de manière à faire craindre qu'ils ne missent le feu aux draperies, et dans le chœur, où la température était la plus élevée, plusieurs personnes ont perdu connaissance. On ne comprend pas comment cette conséquence inévitable d'un grand rassemblement et d'un si grand nombre d'appareils d'éclairage, n'avait pas été prévue par les architectes chargés de la décoration de l'église.



neraient issue à une quantité plus ou moins grande d'air chaud, et si leur étendue était assez grande, ils pourraient laisser échapper tout l'air chaud introduit. Mais, si l'air chaud arrivait dans la pièce par des orifices nombreux également répartis sur le sol dans l'axe du bâtiment, si parallèlement et contre les murs, on avait établi deux rangées d'orifices d'aspiration communiquant avec une cheminée d'appel, si le volume d'air appelé différait peu de celui qui est introduit, et si les mouvements de l'air s'effectuaient avec une faible vitesse, du moins à la partie supérieure, comme les orifices de communication avec l'extérieur sont très-petits, les mouvements de l'air à travers ces orifices seraient très-faibles; mais si le volume d'air appelé était beaucoup plus grand ou beaucoup plus petit que le volume d'air chaud introduit, il est évident que les orifices supérieurs laisseraient entrer de l'air froid ou laisseraient sortir de l'air chaud.

2074. Il résulte de ce qui précède, que pour les églises dans lesquelles les vitraux laissent peu de fissures, le mode de chauffage qui convient le mieux consiste dans une circulation d'air chaud, admis par des orifices pratiqués dans le sol et dans l'axe du bâtiment, et appelé par deux rangées d'orifices semblables, parallèles à la première, les volumes d'air introduits et appelés étant peu différents. S'il n'était pas nécessaire de produire de ventilation, on pourrait faire circuler le même air dans le calorifère; dans le cas contraire, il faudrait appeler l'air par une cheminée. En Angleterre un grand nombre de chapelles sont chauffées par la disposition que nous venons d'indiquer; dans plusieurs l'air est échauffé par des calorifères à eau chaude disposés comme dans la fig. 15 (pl. 92), et il n'y a point de ventilation. Mais il est plus avantageux de disposer les appareils de manière à pouvoir chauffer l'église sans ventilation quand elle ne contient que peu de monde, et avec ventilation quand elle est occupée par un grand nombre de personnes; d'ailleurs, la cheminée d'appel pourrait servir à la ventilation pendant l'été si un renouvellement d'air était reconnu nécessaire.

Si au-dessous de l'église, et dans toute sa longueur, se trouvait un caveau dans lequel on pût placer un canal isolé, destiné à conduire de l'air chaud dans les bouches, on pourrait chauffer l'air au moyen d'un calorifère quelconque. Les surfaces de chauffe pourraient être réunies autour du foyer ou formées de deux grands tuyaux qui parcour-



raient deux fois la longueur du canal à air chaud. Le canal qui conduirait l'air destiné au chauffage devrait parcourir le plus grand circuit souterrain avant d'arriver au calorifère. Les orifices d'aspiration communiqueraient avec deux grands canaux qui ramèneraient l'air en partie dans le calorifère, et en partie dans la cheminée du calorifère; cette cheminée devrait alors avoir une section suffisante pour produire l'écoulement de l'air, et renfermer un foyer d'appel particulier, qui servirait à régler la ventilation.

2075. Mais si les vitraux avaient des interstices très-nombreux ou très-grands, ce mode de chauffage occasionnerait une trop grande dépense; le seul qui conviendrait, consisterait à chauffer la partie du sol occupée par les bancs, ou les chaises, en établissant dans le sol de larges canaux dont la partie supérieure serait formée de grilles en fonte recouvertes de nattes, et par lesquelles on ferait écouler l'air chaud fourni par un calorifère, air qui s'échapperait ensuite par les interstices des nattes. Lorsque les sièges consistent dans des bancs fixes, il serait plus avantageux de les placer sur une caisse en bois peu élevée, dans laquelle arriverait l'air chaud, et d'où il s'écoulerait par de nombreux orifices uniformément distribués dans toute la surface supérieure de la caisse. Dans tous les cas, les canaux de conduite de l'air chaud devraient être formés de corps mauvais conducteurs, isolés; des plaques de fonte continues, libres, convenablement placées à la surface du sol autour du maître-autel et des chapelles particulières, seraient chauffées par le courant d'air chaud.

2076. L'église de la Madeleine est chauffée et ventilée par un calorifère à eau chaude construit par M. Léon Duvoyer. Voici la disposition de l'appareil. La chaudière est placée à l'extrémité d'un grand caveau qui règne dans toute la longueur du bâtiment. Un canal rampant, d'une grande section, soutenu par des voûtes, communique avec des puits cylindriques, terminés par des orifices fermés par des plaques de fonte à jours et à fleur du sol de l'église. Des poêles en fonte, à double enveloppe, sont logés dans les espaces cylindriques dont nous venons de parler; le dernier sert de vase d'expansion. Les tuyaux d'ascension et de retour d'eau sont placés dans le canal rampant. Ce dernier est divisé en plusieurs parties égales; chacune contient un poêle, et reçoit un canal qui communique avec l'extérieur. Deux canaux, parallèles



à celui dans lequel s'effectue la circulation de l'eau, communiquent avec des bouches d'aspiration distribuées sur deux rangs près des murailles, et conduisent l'air refroidi dans le cendrier du foyer de la chaudière. La chaudière est disposée comme nous l'avons dit (2005). Le chauffage a lieu sous une pression limitée à deux atmosphères par une soupape. M. L. Duvoir s'est engagé à maintenir une température de 12°,5 dans l'intérieur de l'église, et 18° dans quelques pièces souterraines, moyennant une somme de 15 francs par jour de chauffage, y compris le salaire du chauffeur. Il a parfaitement rempli son engagement; la température est sensiblement uniforme dans toute l'étendue de l'église, et, dans les tribunes élevées, la température dépasse à peine d'un degré celle du niveau du sol. D'après M. Duvoir, la ventilation serait par heure de 4000 mètres cubes le jour, de moitié pendant la nuit, et pour 24 heures de 72000 mètres cubes; plusieurs expériences ont constaté que l'appareil pouvait produire cet effet. Mais il me paraît impossible qu'il le produise constamment, d'abord parce que l'appel par le foyer de chauffage ne peut pas être régulier, et ensuite parce que les frais d'appel réunis au salaire du chauffeur réduiraient à peu près à 5 fr. les frais de chauffage de l'édifice, compris le bénéfice de l'entrepreneur. Au reste, une si grande ventilation est rarement nécessaire le jour et toujours inutile la nuit. Le chauffage de l'air par une circulation continue autour des poêles et l'appel par une cheminée qui permette de régler la ventilation seraient bien préférables.

2077. *Maisons d'éducation.* Dans les maisons d'éducation, les pièces occupées, pendant un temps plus ou moins long, par les élèves, sont les dortoirs, les salles d'étude, les classes, les salles de récréation et le réfectoire.

Un appareil unique pour le chauffage et la ventilation de toutes les pièces de l'établissement serait bien préférable à cette multitude de poêles et de calorifères qu'on emploie partout, et sous le rapport de la régularité du chauffage et de la ventilation, et sous le rapport économique. Un calorifère à fumée ne convient pas, parce que les bâtiments étant souvent disséminés sur une très-grande étendue, la conduite de l'air chaud occasionnerait de trop grandes pertes de chaleur. Le chauffage ne devant pas être continu, un chauffage à vapeur avec quelques poêles à eau chaude serait le système le plus convenable. Des poêles produiraient le chauffage des pièces qui ne doivent pas être ventilées; et pour celles qui



auraient besoin d'un renouvellement d'air, on obtiendrait presque toujours une ventilation suffisante par une cheminée ouverte à la partie inférieure, en faisant arriver l'air extérieur entre un poêle et une double enveloppe; ou en plaçant dans la cheminée un serpentín à vapeur ou à eau chaude, si un appel direct était nécessaire.

2078. Mais l'établissement d'un système général de chauffage à vapeur est très-coûteux, et il y a peu d'établissements d'instruction publique en état de faire cette dépense. Ainsi il est important d'examiner les moyens les plus simples et les plus économiques pour chauffer et ventiler séparément les différentes pièces dont se compose un collège.

2079. La méthode la plus simple pour chauffer les salles d'étude, consiste à employer un poêle en métal ou en terre cuite d'une forme quelconque, recouvert d'une enveloppe en tôle ouverte par le haut, placé dans la partie de la pièce opposée à celle où se trouve la cheminée; l'intervalle du poêle et de la double enveloppe communique avec l'extérieur, et le tuyau du poêle traverse la salle pour se rendre dans le tuyau de la cheminée; on garnit l'ouverture de la cheminée de registres mobiles pour faire varier la ventilation. Lorsque les salles d'étude sont petites, le poêle peut être placé près de la cheminée; quand elles sont très-grandes, il vaut mieux employer les dispositions que nous indiquerons plus loin pour les écoles primaires et les salles d'asile.

2080. La même disposition pourrait être employée pour les classes; mais comme les classes sont presque toujours pourvues de gradins, l'arrivée de l'air chaud et la sortie de l'air vicié seraient nécessairement d'un même côté et dans la partie la plus basse. Le poêle à double enveloppe pourrait être placé en avant de la chaire du professeur; et il faudrait alors aspirer l'air par un certain nombre d'orifices situés à une hauteur de 0^m,40 à 0^m,50, qui le conduiraient dans la cheminée. On pourrait employer des caisses en bois, garnies de portes à coulisse, et disposées comme dans la figure 4 (pl. 119). L'air chaud en descendant par couches se refroidirait progressivement, et pour qu'il n'y eût pas une trop grande différence entre la température de la partie supérieure et de la partie inférieure des gradins, il faudrait que l'air chaud, en sortant du calorifère, n'eût pas une température trop élevée.

2081. Les salles de récréation fermées ont rarement besoin d'être chauff-

fées; mais s'il était nécessaire de les chauffer et de les ventiler, comme elles sont très-vastes, il faudrait employer les dispositions que nous indiquerons pour les écoles primaires.

2082. Partout les dortoirs sont insalubres, et par de trop petites dimensions, et par un trop grand nombre de lits. En effet, le séjour des enfants, dans les dortoirs, est au moins de 7 heures; par conséquent, quand il n'y a pas de ventilation, il devrait y avoir un lit pour 42 mètres cubes de capacité; alors en supposant que le dortoir ait 3 mètres de hauteur, un lit devrait correspondre à 14 mètres carrés de surface de plancher, et il est rare que, dans cet espace, il n'y en ait pas 3 ou 4. Souvent aussi les dortoirs sont beaucoup plus bas que nous ne l'avons supposé, et les lits sont presque en contact. Mais quels que soient les dimensions des dortoirs et le rapprochement des lits, on peut toujours les rendre parfaitement salubres par une ventilation convenable. Le chauffage et la ventilation pourraient se faire par un calorifère placé en dehors; mais il faudrait placer les orifices d'aspiration au niveau du sol. En employant des houilles sèches, qui permettent de n'alimenter les foyers qu'à des intervalles assez longs, le veilleur pourrait facilement surveiller le petit nombre de foyers nécessaires à des dortoirs, même très-vastes. Pour la ventilation d'été, il faudrait placer un très-petit foyer dans la cheminée d'appel, et aspirer l'air à une hauteur de 1^m,50 à 2 mètres. Mais la disposition la plus convenable pour les dortoirs consisterait à placer dans l'axe un certain nombre de poêles à eau chaude, chauffés par circulation et par un même foyer situé en dehors; chacun serait placé sur l'orifice d'un canal communiquant avec l'extérieur, et garni d'une enveloppe formant autour de lui un espace annulaire dans lequel l'air s'élèverait en s'échauffant; quelques petites cheminées en bois, appliquées contre les murs et s'ouvrant à une petite distance du sol, feraient écouler l'air comprimé par le mouvement de l'air chaud. Le chauffage de l'eau pourrait avoir lieu le soir, et la ventilation s'effectuerait par le refroidissement de l'eau. Pour la ventilation d'été, on fermerait les orifices inférieurs des cheminées, et on ouvrirait d'autres orifices percés sur leurs faces latérales à 1^m,50 de hauteur. Pour un dortoir contenant 40 lits, deux ou trois poêles renfermant ensemble 300 litres d'eau suffiraient; la somme des sections des tuyaux d'appel et des cheminées devrait être de 0^m,40.



Les poêles pourraient être chauffés par des foyers intérieurs; dans ce cas, il faudrait utiliser la chaleur de la fumée pour favoriser l'appel. On pourrait aussi employer des vases à eau chaude montés sur des roulettes, qu'il serait facile de transporter, ou pour les remplir d'eau chaude, ou pour chauffer de différentes manières l'eau qu'ils renferment. Quand les dispositions, dont nous venons de parler, ne pourraient pas être exécutées, soit à cause des circonstances locales, soit à cause des dépenses qu'elles exigeraient, on obtiendrait toujours une ventilation suffisante, en plaçant dans une cheminée ouverte par le bas, un petit poêle alimenté par un combustible brûlant lentement, tel que la houille sèche, des briquettes de houille, des mottes ou de la tourbe; une disposition convenable du foyer et du combustible dispenserait d'alimenter le foyer pendant la nuit. On pourrait aussi produire la ventilation d'hiver et d'été par les lampes, en plaçant au-dessus de chacune, un tuyau de zinc de 0^m,05 de section, et qui s'élèverait en dehors de 2 ou 3^m; une lampe brûlant 0^k,040 d'huile à l'heure suffirait pour 10 lits, et la ventilation de la nuit pour chacun coûterait moins de 0^f,03. Ces dernières dispositions, qui sont applicables partout, seraient très-importantes à introduire dans un grand nombre de maisons d'éducation, où les dortoirs, par leur peu de hauteur et par le rapprochement des lits, renferment le matin de l'air tellement vicié, qu'il est impossible que la santé des enfants n'en soit pas altérée.

2083. Les fourneaux de cuisine sont rarement bien disposés. Quand ils sont construits à l'ancienne méthode, avec des fourneaux chauffés au charbon de bois, ils peuvent donner lieu à des accidents graves, quoique placés sous une hotte qui communique avec la cheminée; parce que la combustion du charbon produit toujours de l'oxyde de carbone, dont l'action sur l'économie animale, même en très-petite quantité, est très-énergique (1352), et qu'il se produit toujours dans la cheminée un double courant qui ramène dans la cuisine une partie des gaz provenant de la combustion. Des fourneaux disposés comme nous l'avons dit (1731), chauffés à la houille, dans lesquels il y a toujours un appel très-puissant de dehors en dedans, et dont la chaleur perdue est employée à chauffer l'eau nécessaire aux différents services et les étuves destinées à maintenir les plats chauds, sont à la fois très-salubres et très-économiques.



CHAUFFAGE ET ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS.

2084. Dans toutes les grandes maisons d'éducation, les lieux d'aisances sont dans l'état le plus barbare, et sont une cause permanente d'insalubrité. Deux circonstances concourent à répandre une mauvaise odeur, le défaut de ventilation des fosses et la malpropreté des cabinets.

Les fosses ayant toujours une très-grande capacité, les variations de température occasionnent souvent des doubles courants, qui répandent dans le voisinage de l'air imprégné des gaz et des vapeurs produites dans les fosses, et, par l'abaissement du baromètre, l'accroissement de volume de l'air des fosses produit le même effet. Mais il serait très-facile d'éviter ces mouvements de l'air de l'intérieur à l'extérieur des fosses, en les faisant communiquer avec une cheminée d'appel; la quantité de combustible qu'il faudrait consommer par jour serait très-peu considérable, parce qu'il suffirait d'établir, dans tous les orifices communiquant avec la fosse, un mouvement de haut en bas bien prononcé. Le plus souvent, un lampion alimenté par de mauvaises graisses suffirait; car, en supposant seulement une combustion de 100 grammes de graisse par heure, la quantité de chaleur développée serait de près de 800 unités, qui, en supposant l'air échauffé de 20°, appellerait 120 mètres cubes d'air par heure, appel qui suffirait dans le plus grand nombre de cas. Mais il serait préférable d'établir dans la cheminée un petit foyer à combustion lente, dans lequel on brûlerait de 1 à 2 kilogr. de tourbe ou de tan par heure. Si la cheminée avait une section suffisante ainsi que le canal de communication avec la fosse, l'appel pourrait dépasser 1,200 mètres cubes par heure; il serait suffisant dans tous les cas, et n'occasionnerait qu'une dépense insignifiante. On a proposé de faire servir la chaleur perdue dans la cheminée de la cuisine, à l'appel de la fosse, en y plaçant un tuyau de poêle qui s'élève au-dessus du sommet de la cheminée; mais le tuyau n'ayant qu'un petit diamètre, et la chaleur qu'il recevrait étant très-variable et souvent peu considérable, on pourrait craindre que l'appel fût trop faible: ce serait, à mon avis, une économie mal entendue.

2085. Quant aux cabinets, la disposition la plus généralement employée consiste à recouvrir le sol d'une plaque de plomb ou de zinc, légèrement inclinée vers un orifice central qui communique à la fosse, et sur laquelle se trouvent fixées deux plaques épaisses, sur lesquelles on pose les pieds. Lorsque les murs, jusqu'à une certaine hauteur, sont éga-



lement recouverts de plaques métalliques, que les cabinets sont surveillés et lavés de temps en temps, ils ne donnent point d'odeur; mais ces conditions sont indispensables, parce que l'appel de la cheminée, même quand il produit une vitesse très-grande de l'air dans l'orifice, n'en produit qu'une très-petite autour, et qui décroît très-rapidement avec la distance. Mais, à mon avis, des sièges à l'anglaise, construits même avec luxe, seraient bien préférables; car, au moyen d'une bonne surveillance et d'une amende légère au profit du surveillant, on parviendrait facilement à établir dans les cabinets la même propreté que dans les maisons particulières; à la vérité, ce système exigerait un peu de dépense pour les eaux de lavage, et un accroissement de frais de vidange; mais ces dépenses seraient peu considérables, car il serait facile de limiter la consommation d'eau. A côté des cabinets devraient aussi se trouver des urinoirs, qui seraient lavés d'une manière continue ou seulement de temps en temps.

2086. *Écoles primaires, salles d'asile.* Les écoles primaires et les salles d'asile sont quelquefois insalubres par l'humidité du sol, ou par les mauvaises dispositions des latrines; mais elles le sont surtout, et presque partout, par le défaut de ventilation, d'autant plus que les salles contiennent presque toujours tous les élèves qu'elles peuvent renfermer, et qu'elles n'ont jamais une grande hauteur. A la vérité, on peut renouveler l'air des salles le matin et entre les classes, et pendant une partie de l'année on peut ouvrir les fenêtres pendant les classes; mais le renouvellement périodique de l'air, en supposant qu'il ait lieu complètement, n'est pas suffisant; et il est peu de jours de l'année, pendant lesquels on puisse maintenir les fenêtres ouvertes, à cause de mille circonstances, telles que le bruit extérieur, la pluie, le vent et le refroidissement. Aussi dans toutes les saisons, le plus souvent après moins d'une heure de séjour des enfants, les salles d'école et les salles d'asile ont contracté une odeur insupportable. La santé des enfants et celle des maîtres doit nécessairement souffrir d'un séjour prolongé, et qui se renouvelle si souvent, dans un air rendu fétide par la respiration et la malpropreté des enfants.

L'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, par un renouvellement convenable de l'air, est donc une chose d'une extrême importance, et qui doit appeler toute la sollicitude des personnes qui, à



différents titres, participent ou à la direction ou à la surveillance de ces établissements.

2087. En 1842, d'après l'ordre de M. le ministre de l'instruction publique, j'ai rédigé une instruction sur le chauffage et l'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile. Cette instruction a été imprimée aux frais de l'État, et distribuée aux personnes qui, par leur position, pouvaient concourir à l'amélioration du système actuel. Je résumerai en peu de mots les principes et les détails renfermés dans cette instruction.

Indépendamment des conditions relatives au chauffage et à la ventilation, l'appareil doit satisfaire à plusieurs autres conditions qui déterminent sa nature. Il faut que l'appareil soit d'une extrême simplicité, facile à réparer, à l'abri de tout accident; qu'il utilise la chaleur le mieux possible; qu'il soit placé dans la pièce elle-même, parce que le maître doit le diriger. On ne peut satisfaire à ces conditions qu'en employant un calorifère dans lequel l'air soit chauffé sans autre intermédiaire que des plaques métalliques.

2088. La planche 119 représente l'ensemble des dispositions les plus simples et les plus convenables pour les établissements dont il s'agit. La figure 1^{re} représente une coupe longitudinale d'un bâtiment renfermant une salle d'école au rez-de-chaussée et une autre au premier étage; la figure 2, le plan d'une des salles; la figure 3, une coupe verticale par le milieu des poêles; la figure 4, une coupe verticale dans laquelle on voit une projection de la cheminée d'appel. A, estrade du maître; B, B, bancs des élèves; C, C, calorifères chauffant de l'air appelé de l'extérieur; D, D, tuyaux à fumée qui parcourent la salle dans toute sa longueur, et se rendent dans la cheminée d'appel; E, cheminée d'appel; F, F, orifices d'accès de l'air appelé par la cheminée; G, G, tuyaux communiquant avec l'extérieur et avec l'intervalle compris entre chaque poêle et son enveloppe. L'air chauffé se répand d'abord à la partie supérieure de la salle, et descend par couches horizontales de même température, jusqu'au niveau des orifices d'appel, et, par conséquent, la température est sensiblement uniforme dans toute la salle à la même hauteur. Les calorifères doivent être placés près de l'estrade, parce qu'ils doivent être surveillés par le maître; les tuyaux doivent traverser la salle pour y répartir uniformément la chaleur.



2089. Pour les salles d'asile, il serait nécessaire de chauffer et de ventiler la salle et le préau. Dans la salle, le calorifère devrait être placé à l'extrémité opposée aux gradins occupés par les enfants, et il faudrait faire sortir l'air par des orifices très-nombreux percés dans les contremarches des gradins, dont la somme totale des surfaces fût quatre ou cinq fois plus grande que celle de la cheminée d'appel, afin que la vitesse de l'air y fût insensible; ou seulement par 4 ou 5 orifices percés près du sol sur les faces latérales du système des gradins.

2090. Lorsqu'il n'y a qu'un seul calorifère, il doit être placé au milieu de la salle. Quand il y en a deux, ils doivent être disposés de manière que la distance qui les sépare soit double de leur distance aux murs latéraux. Pour les salles dont la longueur dépasse 30 mètres, et qui sont destinées à renfermer plus de 300 enfants, si on plaçait les calorifères à une extrémité, la fumée arriverait trop refroidie dans la cheminée d'appel, et le renouvellement de l'air pourrait être insuffisant; dans ce cas, il serait plus convenable de placer les calorifères au milieu de la salle, et de garnir chacun d'eux de deux tuyaux, dont chacun se rendrait à une cheminée d'appel placée à chaque extrémité; des registres permettraient de répartir également la fumée dans chacun des tuyaux. On pourrait aussi effectuer séparément le chauffage et la ventilation par des appareils distincts. Les calorifères, placés à une extrémité de la salle, auraient des tuyaux à fumée qui, après avoir parcouru une partie de la salle, reviendraient sur eux-mêmes pour gagner une cheminée commune, et à l'autre extrémité de la salle, on placerait un petit poêle sans enveloppe, dont le tuyau se rendrait directement dans la cheminée d'appel.

2091. Les calorifères sont disposés comme l'indiquent les figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 75); mais on pourrait employer les poêles déjà existants en les entourant d'une chemise en tôle, garnie de deux portes, l'une en face de celle du foyer du poêle, l'autre du côté opposé, pour chauffer l'air de la pièce, sans ventilation, avant l'heure des classes; mais il faudrait une communication avec l'extérieur, et un registre destiné à intercepter, à volonté, cette communication.

Pour des salles destinées à renfermer 150 élèves, on peut donner aux tuyaux à fumée de 0^m,12 à 0^m,15 de diamètre; pour des salles plus grandes, il serait convenable de les porter de 0^m,16 à 0^m,18. Ces dia-



mètres suffisent pour le tirage; de plus grands auraient l'inconvénient de refroidir trop la fumée et de diminuer l'effet des cheminées d'appel. Les diamètres des tuyaux croissent peu avec le nombre des élèves: 1° parce qu'au delà de 50 élèves, nous supposons qu'on emploie 2 calorifères; 2° parce qu'en réalité, la dépense de combustible augmente peu avec le nombre des élèves. Ce fait résulte de ce que la surface des vitres et des murailles, par lesquelles se perd une grande partie de la chaleur, n'augmente pas proportionnellement au nombre des élèves, et de ce que la chaleur produite par l'acte de la respiration, dépasse la quantité de chaleur nécessaire à la ventilation.

2092. Il est de la plus grande importance que les orifices extérieurs des tuyaux d'appel de l'air extérieur soient placés dans un lieu découvert, loin des latrines, et à l'abri de toutes les influences qui pourraient vicier l'air. Il faut surtout éviter de faire les prises d'air dans les pièces où les enfants déposent leurs paniers, parce que l'air n'y est jamais bien pur. Les tuyaux peuvent être placés au-dessous du sol, dans l'intervalle des planchers ou dans les embrasures des fenêtres; ils peuvent être en maçonnerie ou en bois, d'une forme quelconque. Leur section doit être à peu près de 6, 10, 14, 19, 23 et 27 décimètres carrés pour des salles renfermant 50, 100, 150, 200, 250 et 300 enfants; ces sections suffisent lorsque la longueur des canaux n'excède pas 8 à 10 mètres; pour des longueurs plus considérables, il faudrait les augmenter; mais il n'y a aucun inconvénient à donner aux tuyaux d'appel des sections beaucoup plus grandes.

2093. La cheminée d'appel peut être construite en maçonnerie ou en tôle. Sa section doit peu différer de celle des tuyaux d'appel. Si on lui donnait une section plus grande, la vitesse d'écoulement serait trop petite, et il deviendrait difficile de s'opposer à l'action des vents sur l'orifice supérieur. Ainsi il est prudent de ne pas augmenter beaucoup la section indiquée. Cependant si on voulait utiliser, pour la ventilation, une cheminée déjà construite, dont la section serait beaucoup trop grande, on pourrait le faire, pourvu qu'on rétrécît convenablement l'orifice supérieur. La cheminée doit s'élever au-dessus des toits, et se terminer par un chapeau en tôle, destiné à éviter le refoulement du mélange d'air et de fumée par l'action des vents. Si le bâtiment était dominé par des édifices très-élevés, les remous, produits par les



vents violents, pourraient faire refouler l'air de la cheminée dans la pièce; alors il vaudrait mieux prolonger le tuyau à fumée dans toute la longueur de la cheminée et de quelques mètres au-dessus de son sommet, et protéger la cheminée ainsi que le tuyau par un chapeau, comme l'indiquent les fig. 5 et 6 (pl. 57).

2094. La cheminée doit communiquer par sa partie inférieure avec plusieurs orifices placés à 0^m,80 du sol, dont la somme des surfaces soit au moins égale à la section de la cheminée, mais que l'on puisse fermer plus ou moins par des portes à coulisses ou des plaques tournantes, fig. 4 (pl. 119).

2095. Dans les circonstances ordinaires des écoles, et pour Paris et le nord de la France, la consommation de la houille, dans les jours les plus froids de l'hiver, n'excédera pas 2, 3, 4, 5, 6 et 7 kilogrammes par heure, pour des salles renfermant 50, 100, 150, 200, 250 et 300 élèves.

2096. Le chauffage doit être conduit de la manière suivante. Une heure avant l'entrée des élèves, on allume les foyers des calorifères, après avoir fermé les orifices par lesquels arrive l'air extérieur et ceux qui se trouvent au bas de la cheminée d'appel, en laissant ouverte la porte par laquelle l'air de la pièce peut pénétrer dans l'intérieur des enveloppes : le chauffage a lieu par la circulation de l'air de la pièce; et quelques instants après l'arrivée des élèves, on établit la ventilation.

2097. La ventilation d'été peut être obtenue sans rien changer aux appareils; il suffit de placer un petit poêle au bas de la cheminée d'appel, de fermer les orifices inférieurs, et d'ouvrir une porte pratiquée dans la cheminée d'appel à une hauteur de 2 mètres et au-dessous de l'extrémité de la cheminée du poêle. Ce changement dans la position de l'entrée de l'air dans la cheminée, résulte de ce qu'en été, l'air d'appel est plus froid que l'air de la salle et qu'il tend à rester sur le sol.

2098. Pour une école de 250 à 300 élèves, les frais d'établissement des appareils peuvent s'élever à 750 francs.

2099. Les dispositions que nous venons d'indiquer ont été établies, à Paris, dans trois grandes écoles, situées l'une rue Neuve-Coquenard, les autres à la Halle aux Draps. Dans toutes on a été très-satisfait des effets obtenus, sous le rapport du chauffage, de son uniformité, et de l'économie du combustible, malgré la dépense de chaleur qu'exige la ventilation, parce que dans ces appareils la chaleur est mieux utilisée

que dans les anciens. A l'école de la rue Neuve-Coquenard, la seule dans laquelle j'aie fait des expériences, il n'y a pas un degré de différence entre les températures des extrémités de la salle, et la ventilation, qui est ordinairement de 6 mètres cubes par élève, est suffisante pour empêcher toute odeur désagréable.

2100. *Hôpitaux.* De tous les établissements publics, les hôpitaux sont ceux dans lesquels il est le plus important d'établir de bons systèmes de chauffage et de ventilation, et cependant jusqu'ici on s'est fort peu occupé de cette question. A l'exception de l'hôpital d'Alais, je ne connais aucun établissement de ce genre dans lequel l'air des salles soit renouvelé régulièrement. On se contente de donner aux salles une grande hauteur et d'ouvrir de temps en temps les fenêtres. Mais ces précautions sont insuffisantes, car, dans l'état de santé, il faut plus de 150 mètres cubes d'air à un individu par jour, et la ventilation des hôpitaux doit être beaucoup plus grande, à cause de mille circonstances, et surtout des vases d'aisances placés à côté de chaque lit. Quand on réfléchit à l'influence que doit avoir sur les malades de l'air stagnant, vicié par la respiration, la transpiration, les émanations de toutes espèces, et les déjections de tous les malades d'une salle, il est impossible de douter que les maladies spéciales aux hôpitaux, les caractères qu'y prennent certaines affections, et la lenteur de la guérison d'un grand nombre, ne proviennent de l'absence d'un système régulier de ventilation. On a de la peine à comprendre qu'un état de choses si funeste à la santé des malades ait duré si longtemps et éveille si peu la sollicitude des médecins et des administrateurs. L'assainissement des hôpitaux par un bon système de ventilation est donc une chose d'une importance extrême, et sur laquelle nous appelons toute l'attention des personnes qui dirigent ces importants établissements.

2101. J'établirai d'abord quelques principes généraux sur le mode de chauffage et de ventilation qui me paraît le plus convenable, et j'entrerais ensuite dans quelques détails d'exécution.

1° La ventilation doit être continue, le jour et la nuit, dans toutes les saisons. Elle doit toujours être suffisante pour que l'on ne trouve pas de différence, à en juger par l'impression faite sur nos organes, entre l'air extérieur et celui des salles.

2° La ventilation doit être établie, au moins à raison de 10 à 15 mè-



tres cubes d'air par lit et par heure; mais les appareils doivent être disposés de manière à ce que l'on puisse doubler au besoin ce volume.

3° La chaleur transmise par les vitres et les murailles doit être fournie par le rayonnement de poêles à fumée, à vapeur ou à eau chaude, placés dans les salles et servant en même temps aux usages ordinaires, parce que la chaleur nécessaire à la ventilation étant très-petite relativement à celle que transmettent les vitres et les murailles, le chauffage par l'air de ventilation exigerait que cet air entrât dans la pièce à une température trop élevée.

4° La sortie de l'air doit être produite par des cheminées d'appel, parce que les ventilateurs mus par des hommes ne présenteraient aucun avantage, et ne produiraient pas des effets aussi réguliers et aussi certains. Les foyers d'appel doivent être distincts des foyers de chauffage.

5° Les foyers d'appel doivent être réduits au plus petit nombre possible. Chacun d'eux doit être à flamme renversée, sans grille, alimenté par de la houille ou du coke, disposé de manière que l'activité de la combustion puisse être réglée au moyen d'un registre placé dans le canal qui amène l'air sur le combustible, et que l'air chaud débouche au centre de la cheminée d'appel au-dessous d'un chapeau en maçonnerie qui le disperse dans la cheminée. Le chauffage des cheminées d'appel par des serpentins parcourus par la vapeur ou par de l'eau chaude, ou par des poêles à eau chaude, ne présenterait aucun avantage sur un foyer bien disposé, augmenterait de beaucoup les frais d'établissement, et occasionnerait une grande perte de chaleur, tandis que l'appel par un foyer utilise toute la chaleur produite par la combustion.

Le mouvement de l'air dans les salles peut s'effectuer de différentes manières. On peut faire arriver l'air à la surface du sol, par un grand nombre d'orifices placés sous les lits, et le faire sortir par des ouvertures pratiquées dans le plafond; une partie seulement de l'air traverserait les chaises percées et s'écoulerait par des tuyaux particuliers; alors les cheminées d'appel partiraient des combles. On peut aussi faire arriver l'air chaud par un petit nombre d'orifices pratiqués dans le plancher et le faire sortir en totalité par les chaises percées; pour l'été, il faudrait placer les orifices d'appel à une hauteur de 2 mètres, et faire toujours passer l'air dans les chaises percées; alors il serait convenable de conduire l'air dans une seule cheminée d'appel établie au niveau du sol. Ce



dernier mode de circulation de l'air dans les salles serait préférable au premier, 1° parce que la totalité de l'air de ventilation traverserait les chaises percées; 2° parce que l'appel pourrait se faire par une seule cheminée d'une grande hauteur et d'une grande section, qui permettrait de produire la ventilation avec moins de dépense de combustible que par des cheminées partant des combles, malgré l'accroissement de longueur du canal; 3° parce que le foyer d'appel, pouvant être placé à côté du foyer de chauffage, il pourrait être facilement dirigé par le même chauffeur; 4° parce qu'il serait facile de placer, dans le canal qui amène l'air à la cheminée, un petit appareil qui s'inclinerait plus ou moins sous l'influence du courant d'air, et qui ferait mouvoir une aiguille indiquant à chaque instant la vitesse du courant; cet appareil servirait à la fois de guide au chauffeur pour régler la ventilation et de contrôle permanent à l'administration.

6° Le chauffage devant être continu, les appareils à eau chaude sont préférables aux autres, mais pour les grands établissements, la transmission de la chaleur par la vapeur est préférable au chauffage direct de l'eau par une circulation générale (2020).

2102. La planche 120 représente une disposition de chauffage et de ventilation, appliquée à un bâtiment renfermant 3 étages, et 16 lits à chaque étage. La fig. 1^{re} est une coupe longitudinale du bâtiment; la fig. 2, le plan d'un étage; les fig. 3 et 4, deux coupes transversales; les fig. 5 et 6, une élévation et une coupe transversale d'un poêle à eau chaude; et la fig. 7 est une coupe verticale de la cheminée d'appel et du vase d'expansion placé à côté. A, chaudière à eau chaude; B, B, B, tuyaux d'ascension de l'eau chaude. C, vase d'expansion. D, D, D, D, poêles à eau chaude parcourus successivement par l'eau chaude. E, serpentin à eau chaude renfermé dans une enveloppe cylindrique où l'air de ventilation est échauffé. F, canaux qui conduisent l'air à chaque étage: ces canaux sont placés symétriquement de chaque côté du bâtiment; leur section décroît successivement d'un tiers à chaque étage. G, G, tuyaux horizontaux placés sur les planchers et contre les murs, qui distribuent l'air chaud dans les petits canaux *g, g* qui se prolongent sous les lits, et d'où l'air s'écoule dans les pièces par un grand nombre d'ouvertures. H, H, tuyaux d'aspiration placés dans l'angle des plafonds et des murailles latérales, et qui conduisent l'air dans la cheminée d'appel. I, cheminée d'appel alimentée par



un foyer spécial. On pourrait produire l'appel par un serpentin dans lequel circulerait de l'eau chaude, mais cette disposition aurait l'inconvénient de faire varier la ventilation avec le chauffage, à moins qu'on n'établît un tuyau de retour d'eau direct du serpentin à la chaudière, et même cette disposition aurait, pour la ventilation d'été, l'inconvénient d'employer un appareil de chauffage beaucoup trop grand. Les dimensions des différentes parties de l'appareil de chauffage se détermineraient facilement d'après ce que nous avons dit précédemment. La surface du serpentin destiné au chauffage de l'air extérieur se calculerait d'après le volume d'air qui doit être appelé; en supposant que le maximum d'échauffement soit de 30° , et que chaque mètre carré de surface émette de 800 à 900 unités de chaleur par heure.

Mais sous tous les rapports, un mouvement en sens contraire de l'air dans les salles, et une cheminée d'appel chauffée par un foyer placé à côté de la chaudière, seraient de beaucoup préférables à la disposition que nous venons de décrire.

Comme les dispositions générales de chauffage et de ventilation dont nous avons parlé exigeraient des frais d'établissement assez considérables, nous en indiquerons d'autres d'une exécution facile, et qui n'occasionneraient que fort peu de dépenses.

2103. On pourrait d'abord employer des poêles quelconques, en tôle, en fonte ou en terre cuite, dont les surfaces de chauffe, y compris les tuyaux à fumée, auraient une étendue suffisante; ces poêles seraient pourvus de tuyaux intérieurs ou d'une double enveloppe pour chauffer l'air, appelé du dehors par des cheminées placées de distance en distance; chaque cheminée renfermerait un petit poêle intérieur dont la fumée pourrait se dégager au moyen de registres, à 1 mètre ou à 3 mètres de hauteur; elle communiquerait avec deux systèmes d'orifices horizontaux placés les uns près du sol, qui serviraient l'hiver, les autres à 2 mètres de hauteur pour la ventilation d'été. Les tuyaux de conduite de l'air extérieur resteraient ouverts dans toutes les saisons. Chaque table de nuit devrait être fermée par une porte percée de trous et garnie latéralement d'un tuyau de 5 à 6 centimètres de côté, aboutissant au canal d'appel le plus voisin. On pourrait faire déboucher les tuyaux à fumée des poêles dans les cheminées d'appel; mais il ne faudrait pas compter sur la chaleur de la fumée pour produire l'appel, attendu que le



chauffage est variable et que l'appel doit être constant. On pourrait se servir des poêles qui existent, en les modifiant convenablement. En supposant 2 mètres d'intervalle entre les lits, des salles de 4 mètres de hauteur, des fenêtres occupant le quart de la surface totale des faces latérales, et des murailles de 0^m,40 d'épaisseur, une ventilation de 20 mètres cubes d'air par lit, et un échauffement de l'air de 40° dans les cheminées d'appel, il faudrait 0^m,25 à 0^m,30 de surface de chauffe des poêles par lit, 0^m01 de section de tuyau d'entrée et de sortie; la consommation de combustible, par jour et par lit, serait au maximum de 5 kilogrammes de houille, en moyenne, de 2^h5, et pour les six mois d'hiver de 450 kilogrammes; et la consommation de combustible pendant l'année, pour le chauffage des cheminées d'appel, ne dépasserait pas ce dernier chiffre. Pour le bois, la consommation serait à peu près double. Ces nombres supposent cependant que tous les appareils seront dirigés avec intelligence; car, par exemple, rien ne serait plus facile que de décupler la quantité de combustible brûlé dans la cheminée d'appel, en doublant à peine l'effet produit.

2104. Dans les hôpitaux où l'on ne pourrait pas même faire la dépense de nouveaux poêles ou les modifications indiquées dans ceux qui existent, on obtiendrait encore une très-grande amélioration, en établissant dans les salles de grandes cheminées à larges ouvertures, dans lesquelles, pendant l'hiver, on brûlerait un combustible quelconque dans un foyer découvert, comme dans les cheminées domestiques, et dans lesquelles on placerait un poêle pendant l'été. L'air extérieur pénétrerait par les fissures des portes et des fenêtres et par quelques ouvertures pratiquées dans les fenêtres; la ventilation aurait lieu par de l'air froid, et le renouvellement de l'air ne s'effectuerait pas d'une manière aussi uniforme que dans les dispositions que nous avons indiquées; mais il en résulterait pourtant encore un très-grand avantage.

2105. Les nouveaux bâtiments de l'hospice des aliénés de Charenton renferment un système complet de chauffage et de ventilation à l'eau chaude construit par M. L. Duvoir. Ces bâtiments consistent en cellules de 40 mètres cubes de capacité, placées au rez-de-chaussée, s'ouvrant d'un côté sur des galeries ouvertes, et de l'autre sur un couloir fermé. Un caniveau pratiqué dans le sol des couloirs fermés contient des tuyaux d'eau chaude et reçoit de l'air extérieur qui s'écoule ensuite dans les cellules



par des canaux pratiqués dans l'épaisseur des murs et qui débouchent à 2 mètres de hauteur; l'air sort des cellules par des orifices percés dans le plancher, et se rend dans un vaste canal situé au-dessous, qui le conduit dans le cendrier du fourneau. Des chauffoirs communs sont chauffés par des poêles à eau chaude.

Le mode de chauffage des cellules est convenable quand la ventilation est très-grande; mais on retrouve encore ici cet appel par le cendrier, qui, ainsi que nous l'avons déjà dit plusieurs fois, ne peut pas produire une ventilation régulière. Cependant, si toutes les dimensions de l'appareil sont convenables, en établissant un foyer spécial au bas de la cheminée, et un indicateur de la vitesse du courant qui serve de guide au chauffeur pour diriger le foyer d'appel, l'appareil pourra produire, sous le rapport du chauffage et de la ventilation, l'effet qu'on en attend.

2106. *Prisons.* Dans les grandes maisons de détention où les prisonniers travaillent dans des pièces communes, ces pièces doivent être chauffées parce qu'une certaine température est nécessaire au travail. Quant à la ventilation des ateliers, au chauffage et à la ventilation des autres pièces communes, les opinions sont partagées, surtout par la considération que les prisonniers se trouveraient dans des conditions plus favorables que les ouvriers dans la plupart des grands ateliers. Je ne discuterai point la question, mais j'insisterai fortement sur l'assainissement des ateliers insalubres par la nature des travaux qui s'y exécutent, parce que pour ces ateliers la nécessité de l'assainissement ne peut pas être contestée. Le chauffage et l'assainissement des ateliers insalubres, qui exigent une très-puissante ventilation, ne pourraient pas être produits par une disposition analogue à celle que nous avons indiquée pour les écoles primaires, parce que l'appel serait insuffisant ou qu'il exigerait une trop grande quantité de combustible. Le meilleur mode de chauffage consiste dans des poêles métalliques, à circulation assez étendue pour que la fumée soit abandonnée à une température peu supérieure à celle de l'atelier; et le moyen de ventilation le plus convenable consiste dans l'usage d'un ventilateur à force centrifuge, parce que dans les prisons le travail ne coûte rien, et que les prisonniers exécuteraient volontiers une opération qui est dans l'intérêt de leur santé.

2107. Le régime cellulaire exige nécessairement un chauffage constant et une ventilation régulière. La disposition qui me paraît la plus conve-



nable consiste à chauffer les cellules par l'air de ventilation, chauffé lui-même dans un canal placé près des cellules et renfermant des tuyaux à eau chaude ou à vapeur, et en même temps par une circulation de l'air des cellules autour d'une partie limitée des tuyaux; l'air doit sortir de chaque cellule en traversant la chaise percée, et se rendre par un tuyau pratiqué dans l'épaisseur des murailles, dans un canal creusé dans le sol et de là dans une cheminée d'appel placée à côté des fourneaux destinés au chauffage. Une température de 15°, maintenue pendant 10 heures, et une ventilation de 10 mètres cubes par cellule et par heure dans le jour et de moitié pendant la nuit paraissent convenables. Le canal qui amène l'air à la cheminée d'appel doit être pourvu d'un indicateur de la vitesse réglé au moyen de l'anémomètre (2101).

§ 7. — CHAUFFAGE DES ATELIERS.

2108. Les grands ateliers dans lesquels les hommes ne sont pas constamment en mouvement et dont les travaux n'exigent pas de grands efforts, tels que les filatures, les fabriques de toiles peintes et de tissus, ont besoin d'être chauffés en hiver, parce qu'une certaine température supérieure à 10° est indispensable au travail. Partout les ateliers sont chauffés, mais avec une trop grande parcimonie, car la température y est seulement assez élevée pour que les ouvriers puissent travailler, mais rarement au point convenable à leur bien-être. En outre, les ateliers ordinaires ne sont jamais ventilés; à la vérité, il y a des ateliers dans lesquels les ouvriers sont tellement espacés, que le volume d'air qu'ils renferment, joint à une faible ventilation naturelle par les portes et les fenêtres, suffit pour la durée du travail; mais dans le plus grand nombre, une ventilation permanente, ou du moins un renouvellement périodique de l'air, serait indispensable.

2109. Le mode de chauffage le plus en usage dans les grands ateliers est le chauffage à vapeur, et c'est celui qui convient le mieux, pour chauffer avec un seul foyer des ateliers renfermés dans des bâtiments différents même assez éloignés, et seulement pendant les heures de travail. J'ai donné dans cet ouvrage tous les détails de construction des appareils, ainsi que la manière de déterminer l'étendue des surfaces de



chauffe, je me bornerai ici à indiquer la disposition la plus généralement employée.

2110. La planche 121 représente un atelier à quatre étages chauffé par la vapeur. La figure 1^{re} est une coupe verticale dans le sens de la longueur du bâtiment; la figure 2, le plan d'un étage; la figure 3, une coupe verticale perpendiculaire à la longueur; la figure 4, une coupe transversale de la chambre qui renferme la chaudière. A, chaudière; B, vase dans lequel se réunissent les eaux de condensation et d'où elles sont ensuite introduites périodiquement dans la chaudière; C, cheminées; D, D, D, D, tuyaux de chauffage; E, souffleurs; F, tuyaux de retour d'eau. Dans tout le circuit il n'y a aucun compensateur, parce que les tuyaux peuvent se dilater librement; mais comme l'allongement du tuyau de distribution soulève les tuyaux de condensation, et que ce mouvement pourrait occasionner, sinon des ruptures, au moins des fuites dans les joints, je pense qu'il serait plus convenable d'établir la communication au moyen d'un tuyau en cuivre d'un petit diamètre, plié sous la forme d'un S, qui se prêterait facilement à tous les mouvements qui proviennent de la dilatation des tuyaux.

2111. Les ingénieurs admettent que pour des ateliers ayant 8 mètres de largeur, 3 mètres de hauteur, dont les vitres occupent $\frac{1}{6}$ de la surface totale, un tuyau de fonte de 0^m,40 de circonférence, et qui parcourt une seule fois toute la longueur, suffit pour maintenir la température intérieure à 15°, dans les circonstances les plus défavorables. La surface de chauffe par mètre courant est alors de 0^m,40, et la quantité de chaleur transmise peut être portée à 400 unités par heure. La surface des murailles étant de 5^m, et celle des vitres de 1^m par mètre courant, d'après ce que nous avons dit (1951), la quantité de chaleur transmise serait de $80 + 5 \times 33 = 245$; mais la surface de chauffe devrait être (1957) de 0,42, nombre bien peu différent de celui qui résulte de la pratique.

2112. Lorsque les ateliers sont voisins de la cheminée d'une machine à vapeur, on peut utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer l'atelier, parce qu'un refroidissement même considérable de la fumée nuit peu au tirage; d'ailleurs, la perte de tirage pourrait être compensée par une plus grande ouverture du registre, les cheminées devant toujours avoir un excès de section. En supposant que la fumée soit abandonnée à 300°, et qu'elle soit refroidie à 150°, on pourrait utiliser un huitième

de la chaleur produite dans le foyer; alors, en admettant une consommation de 4 kil. de houille par heure et par cheval, et des ateliers ordinaires, on pourrait chauffer une capacité de 200 mètres cubes par cheval.

2113. La disposition la plus simple est celle qui est indiquée figure 1^{re} (pl. 87); mais elle ne peut être employée que quand le chauffage a été prévu avant la construction de la cheminée. Dans le cas contraire, on peut placer les tubes à côté de la cheminée, comme dans la figure 5 (pl. 87), ou dans un canal qui la précéderait, comme dans la figure 9 (pl. 61).

2114. Pour utiliser la chaleur de la fumée des cheminées, on a proposé la disposition représentée par les figures 1^{re}, 2, 3 et 4 (pl. 122). Dans cet appareil, la fumée circule dans des tuyaux en fonte; l'air extérieur s'échauffe autour d'eux, et s'élève ensuite dans un canal vertical au centre duquel se trouve la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de diminuer beaucoup trop le tirage par les circuits de la fumée; d'ailleurs, les orifices d'accès et de sortie de l'air étant beaucoup trop petits, l'air serait trop fortement échauffé.

2115. On a employé aussi la disposition indiquée par la figure 5. La cheminée est en tôle; elle est placée en dedans des ateliers et environnée d'une double enveloppe et de cloisons annulaires à la hauteur de chaque plafond; l'enveloppe est percée d'un grand nombre d'orifices à la hauteur des planchers et des plafonds; l'air de la pièce entre par les orifices inférieurs dans la double enveloppe, s'échauffe, et rentre dans la pièce par les orifices supérieurs.

Cette disposition est peu avantageuse, parce que les surfaces de chauffe n'ont pas assez d'étendue pour refroidir notablement la fumée; d'ailleurs, elle présente des chances d'incendie, qui n'existent pas quand la fumée est employée à chauffer de l'air dans des calorifères placés en dehors des bâtiments.

2116. Les figures 6 et 7 (pl. 122) représentent une disposition qui pourrait être employée pour utiliser presque toute la chaleur de la fumée d'une cheminée, mais au moyen d'une certaine dépense de travail. A, est la cheminée; B, un registre qui oblige la fumée à s'élever dans le canal en tôle C, divisé par une cloison intérieure en deux parties, dont l'une, celle qui reçoit d'abord la fumée, va constamment en se rétrécissant; et l'autre, qui reçoit la fumée refroidie, va, au contraire,

en augmentant de section. A chaque étage, et près du plafond, se trouve un tuyau de fonte ou de tôle qui part d'un des compartiments du tuyau C, fait le tour de l'atelier, et rentre dans l'autre compartiment du tuyau; un ventilateur, placé à la partie supérieure, communique par son centre avec le second compartiment, et se termine par un canal rectangulaire qui débouche dans la cheminée A. Par cette disposition, le mouvement du ventilateur oblige la fumée à parcourir simultanément tous les tuyaux placés dans les ateliers et à rentrer dans la cheminée à travers le ventilateur. Des tuyaux d'appel qui débouchent dans la grande cheminée, servent à évacuer l'air qui pénètre dans les pièces par des tuyaux D concentriques aux tuyaux de chauffage, et ouverts à leurs extrémités. Le ventilateur ne pourrait pas être placé à la partie inférieure, parce qu'il serait trop échauffé et que les coussinets ne pourraient pas être graissés; d'ailleurs, la fumée étant poussée dans les tuyaux de conduite, les fissures des joints laisseraient échapper de la fumée, tandis que dans la disposition indiquée, ils aspirent au contraire de l'air des pièces. Cet appareil est trop compliqué, de simples calorifères chauffés par la fumée seraient bien préférables.

§ 8. — ATELIERS INSALUBRES.

2117. Un grand nombre d'ateliers sont insalubres, non-seulement par la respiration des ouvriers, mais par la nature des opérations qui s'y exécutent. M. Darcet s'est occupé le premier de l'assainissement de ces ateliers, par l'emploi d'une ventilation forcée, produite par une cheminée d'appel, ou par un ventilateur, en disposant les orifices d'aspiration de manière à ce que l'air entraîne avec lui les gaz nuisibles. Nous ne décrivons pas les appareils ingénieux indiqués par M. Darcet, pour l'assainissement des souffroirs, des ateliers de doreur, des laboratoires d'essais, des affineries d'or et d'argent, des salles de bains sulfureux, etc.; nous renvoyons, pour ces objets, à la collection des mémoires de cet habile chimiste, publiée récemment par M. Grouvelle; nous nous contenterons d'indiquer quelques principes généraux, et nous insisterons seulement sur les magnaneries.

2118. Lorsque des gaz ou des vapeurs nuisibles à la respiration ne





se produisent que sur des points peu nombreux, et qu'on ne peut pas opérer dans des vases clos, il faut placer au-dessus une hotte de cheminée, dans laquelle l'air appelé, ou par la chaleur, ou par une action mécanique, entraîne avec lui les gaz et les vapeurs délétères. Quand la chose est possible, on augmente beaucoup l'effet produit, en diminuant l'étendue des orifices d'accès de l'air par des volets ou des rideaux; mais il faut que l'atelier soit pourvu d'orifices d'une étendue suffisante pour l'introduction de l'air extérieur. C'est sur ce principe que M. Darcet a disposé les fourneaux de laboratoire et les fourneaux de docteurs au mercure. Quand les opérations ne peuvent pas se faire sous une hotte de cheminée, on peut produire l'appel par un canal descendant qui va rejoindre la cheminée en passant sous le parquet; c'est la disposition indiquée par M. Darcet pour les salles de dissection; les tables sont en métal, percées d'un grand nombre de trous, garnies d'un double fond et montées sur un tuyau en communication avec la cheminée.

2119. Lorsque les gaz appelés par le courant d'air sont en trop grande quantité pour que le mélange ne puisse pas être abandonné à l'extérieur, il faut placer dans le canal qui précède la cheminée d'appel des matières propres à absorber ces gaz. C'est ce qui arrive, par exemple, dans les affineries d'or et d'argent; les alliages sont traités par l'acide sulfurique, et il se dégage beaucoup d'acide sulfureux qu'on peut absorber par la chaux. Dans les fabriques de soude, la décomposition du sel marin par l'acide sulfurique dans les fourneaux à réverbère, produit de grandes masses d'acide chlorhydrique qu'on peut absorber ou par l'eau ou par du carbonate de chaux. Avant qu'on ait imaginé de chauffer le four de décomposition du sel marin par la chaleur perdue du four dans lequel le sulfate de soude est décomposé par la craie et le charbon, j'avais employé une disposition qui consistait dans de longs canaux en briques, renfermant à la partie inférieure une couche d'eau qui se renouvelait constamment, et communiquant avec une vaste cheminée qui recevait la fumée du four à soude. Cette disposition a très-bien réussi; elle pourrait encore être employée dans le système actuel de fabrication, il suffirait d'établir un foyer spécial dans la cheminée; mais, afin de ne pas être obligé de porter l'air à une trop haute température, il faudrait employer une cheminée très-haute et très-large.



On pourrait aussi employer un ventilateur; mais il devrait avoir de grandes dimensions et tourner lentement, afin de ne pas exiger trop de travail. M. Rougier de Septèmes a imaginé une disposition beaucoup plus simple. Les gaz qui sortent des fours à soude, après avoir passé dans le four de décomposition du sel marin, passent dans un canal formé de pierre calcaire tendre, qui s'élève progressivement sur le penchant d'une colline, et se termine par une tour remplie de blocs de calcaire. Par cette disposition, le tirage des fourneaux est encore suffisant, presque tout l'acide chlorhydrique est absorbé par le calcaire, et forme du chlorure de calcium qui se réunit dans des bassins placés à de certaines distances, et qu'on enlève de temps en temps. Mais tous ces appareils, pour être efficaces, doivent avoir des dimensions suffisantes qui peuvent être déterminées avec une approximation convenable, au moyen des différents éléments renfermés dans cet ouvrage.

2120. Mais quand les gaz nuisibles se produisent dans toute l'étendue des ateliers, il n'y a qu'un système général de ventilation qui puisse assainir les ateliers; c'est, par exemple, le cas des magnaneries; et comme on s'occupe maintenant beaucoup de ces établissements, j'entrerai à ce sujet dans quelques explications qui me semblent de nature à éclairer la question.

2121. M. Darcet a publié dans le 32^e volume du Bulletin de la Société d'encouragement, les plans d'une magnanerie salubre, et plus tard, dans le 4^e numéro des Annales de la Société séricole, la description détaillée d'une magnanerie mieux disposée encore. Nous supposons que le lecteur connaisse ces deux mémoires. Les dispositions imaginées par M. Darcet sont très-bien entendues, même dans leurs plus petits détails; la ventilation a lieu par de l'air plus ou moins chaud, réparti uniformément sur le sol de la magnanerie, et l'appel s'effectue par une puissante cheminée ou par un ventilateur à force centrifuge.

2122. Mais de grandes magnaneries disposées de manière à satisfaire à toutes les conditions nécessaires à l'éducation des vers à soie, reviennent à un prix beaucoup trop élevé, pour que leur établissement soit avantageux, attendu que l'éducation ne durant qu'un mois, l'opération doit supporter l'intérêt annuel du capital dépensé, et les frais annuels d'entretien et de réparation. A mon avis, les grandes magnaneries ne seraient avantageuses que dans le cas où l'on pourrait employer utilement



le local pendant onze mois de l'année : par exemple, pour des séchoirs à linge ; mais cette circonstance se rencontre rarement. En outre, il paraît que jusqu'ici, dans les grands établissements, on a obtenu de moins bons résultats que dans les petites chambrées ; probablement parce que le grand nombre de vers réunis dans un petit espace, est une cause d'insalubrité qui l'emporte sur les moyens d'assainissement qu'on a employés. D'ailleurs, les mûriers occupant nécessairement une très-grande étendue, on conçoit que les frais de transport des feuilles limitent la quantité de graine sur laquelle on peut opérer. Ainsi, je pense que ce qu'il y a de mieux à faire pour améliorer l'industrie dont il s'agit, ne consiste pas à étudier avec soin les meilleures dispositions d'une grande magnanerie destinée à servir de modèle, mais à publier des principes et des dispositions applicables aux petits ateliers.

2123. Dans les grandes magnaneries construites jusqu'ici, on n'a employé qu'un seul mode pour la circulation de l'air. L'air arrive par de nombreux orifices percés dans le plancher, et sort par des orifices percés dans le plafond, et les étagères sont placées les unes au-dessus des autres ; mais, par cette disposition, l'air monte par les intervalles qui séparent les rangs d'étagères, et celui qui se trouve entre les claies se renouvelle difficilement. Depuis, on a proposé d'employer des ateliers peu élevés et de faire mouvoir l'air dans le sens de la longueur ; mais cette méthode aurait le même inconvénient, et si l'air qui sépare les claies était mis en mouvement, cet air serait d'autant plus vicié qu'il aurait parcouru un plus long chemin. Pour le renouvellement de l'air dans les magnaneries, il n'y a, à mon avis, qu'un seul mode dont l'efficacité ne puisse pas être mise en doute ; il consiste à faire arriver l'air par un certain nombre d'orifices pratiqués dans le plancher et entre les rangs d'étagères, et à appeler l'air par des fentes placées dans l'intervalle des claies. Ainsi, dans un atelier qui renfermerait quatre rangs de claies, il faudrait placer contre les murs, à une distance de 10 à 15 centimètres, une cloison formée de planches horizontales, percée, sur toute la longueur et à des distances égales à celle des claies, de fentes longitudinales, dont la largeur irait en décroissant de bas en haut ou de haut en bas, suivant que l'appel aurait lieu par le bas ou par le haut. Au milieu de la salle se trouveraient deux cloisons semblables séparées par une distance double, et percées toutes deux de fentes disposées de la même



manière; les claies seraient appuyées contre ces cloisons, et la cheminée d'appel ainsi que le ventilateur seraient mis en communication avec les espaces formés par les cloisons.

2124. Quant aux appareils de ventilation, les cheminées et les tarares, il y a quelques principes que je crois devoir rappeler. Pour les cheminées, leur puissance, lorsqu'elles renferment de l'air à la même température, augmente avec la hauteur et surtout avec la section. L'accroissement de la température augmente le tirage, mais très-lentement, comme nous l'avons vu précédemment. Ainsi il est important d'employer des cheminées très-hautes et très-larges, et de n'y chauffer l'air qu'à une température peu élevée. Je crois devoir relever ici une très-grande erreur qui a été commise par le professeur d'un cours sur l'industrie de la soie. Dans une brochure lithographiée, renfermant les résultats des expériences faites sur différents appareils de ventilation, on trouve cette assertion, que quand la ventilation a lieu par le cendrier d'un calorifère qui sert à chauffer l'air, la ventilation ne coûte rien. Cette assertion est exacte tant que l'appel ne dépasse pas 20 mètres cubes d'air par kilog. de houille brûlée; au delà, on perd toute la chaleur absorbée par l'air en traversant le fourneau. Et c'est surtout quand les foyers sont employés à chauffer de l'air, que l'insuffisance de l'appel par les cendriers peut être le mieux mise en évidence. En effet, en supposant que la fumée soit abandonnée à 100° et que l'air soit chauffé à 50°, la perte de chaleur par la fumée sera de $20 \times 1,3 \times 100 \times 0,25 = 650$ unités par kilog. de houille, et le volume d'air échauffé à 50° sera $6850 : (1,3 \times 50 \times 0,25) = 424^{\text{m. c.}}$; ainsi le foyer dans son allure ordinaire n'appellerait pas 0,05 du volume d'air chauffé. D'ailleurs, comme nous l'avons dit (2105), ce mode d'appel, employé pour produire une grande ventilation, exige plus de combustible qu'une cheminée d'appel spéciale. Du reste, dans les magnaneries, comme dans tous les établissements qui exigent une ventilation déterminée, constante ou variable, la plus mauvaise disposition qu'on puisse employer consiste à produire le chauffage et la ventilation par un même foyer, parce qu'il devient impossible de régler à la fois ces deux effets.

2125. Quant aux ventilateurs, comme ils sont toujours mus par des hommes, ils offrent peu d'avantage sur les cheminées d'appel; mais ils sont avantageux pour produire momentanément une grande ventilation. Une remarque importante à faire sur ces appareils, c'est qu'ils produi-



sent d'autant plus d'effet qu'ils ont de plus grandes dimensions, et qu'ils marchent plus lentement, parce que la dépense de travail est proportionnelle au carré de la vitesse imprimée à l'air.

2126. Quel que soit le mode d'appel, il est important que l'air se meuve dans de larges conduits qui n'aient d'étranglement dans aucune partie de leur longueur.

2127. Enfin, on peut effectuer le renouvellement de l'air en faisant l'appel par le haut avec une cheminée légère placée dans les combles, ou par le bas au moyen d'une cheminée plus solide assise sur le sol. Lorsque la ventilation a lieu par un tarare, le renouvellement de l'air peut s'effectuer, en comprimant l'air dans l'intérieur de la magnanerie ou en l'aspirant du dehors. Ces deux modes peuvent produire le même effet; seulement, quand l'air est introduit par la machine, il y a une perte inévitable par les fissures des portes et des fenêtres, et par l'ouverture des portes.

2128. *Ventilation des mines.* M. Combes a publié, il y a quelques années, un traité spécial sur la ventilation des mines, qui renferme tous les renseignements nécessaires sur cette partie si importante de l'exploitation des mines; nous ne les reproduirons pas, parce que nous n'aurions à y ajouter que les remarques déjà faites sur les dispositions des ventilateurs imaginés par M. Combes. Mais nous rapporterons les principaux résultats obtenus par M. Glepin, ingénieur des mines de Belgique, dans une longue série d'expériences qu'il a faites récemment sur un grand nombre d'appareils de ventilation des mines. Une partie seulement de ces expériences a été insérée dans le *Bulletin du Musée de l'industrie*, publié par M. Jobard.

2129. *Cheminées de ventilation.* Dans plusieurs de ses expériences, M. Glepin a pu mesurer le volume et la température de l'air écoulé, et la dilatation résultant de l'appel de la cheminée. Alors il a pu comparer le travail effectué par la cheminée, à celui qui serait produit au moyen d'une machine qui consommerait la même quantité de combustible dans le même temps.

Une de ces cheminées a 41^m,74 de hauteur et une section carrée de 1^m,20 de côté. Le volume d'air qui s'écoulait par seconde, à la température de 74°, était de 1^m,880, dont le poids = 1^k,93. La perte de chaleur par le refroidissement était de 0,38. Le foyer brûlait par jour 713 kilogr.

de houille de qualité inférieure. La dilatation produite par l'appel était de $0^m,012$ en eau, et en air à 3° de $9^m,25$; et le travail était égal à $1,93 \times 9,25 = 17^m,76 = 0,237$ de cheval-vapeur. Alors, en admettant que le travail effectif d'un cheval-vapeur exige 7 kilogr. de cette houille par heure, comme la consommation du combustible était, dans le même temps, de $713 : 24 = 29^k,75$, qui correspond à $29,75 : 7 = 4,25$ chevaux, l'effet produit par la cheminée est égal à $0,237 : 4,25 = 0,055$ du travail que le combustible brûlé pourrait produire.

Deux autres cheminées ayant, l'une, $25^m,50$ de hauteur et $1^m,44$ de section, l'autre 30 mètres de hauteur et $1^m,65$ de section, ont donné les mêmes résultats.

Toutes ces expériences viennent à l'appui de ce que nous avons dit (522). Cependant M. Glepin a trouvé que pour un foyer établi au fond d'un des puits du grand Hornu, à une profondeur de 210 mètres, l'effet produit était le même que celui d'un ventilateur de M. Combes, qui exigeait un travail de 1,2 cheval-vapeur, dans les mêmes circonstances. Or, comme la consommation de houille était de 468 kilogr. par jour, et qu'il n'y avait que $\frac{1}{5}$ de la chaleur développée réellement utilisé, M. Glepin conclut que si le puits ne produisait que le refroidissement observé dans plusieurs autres, placés dans les mêmes conditions, la chaleur utilisée serait égale à 0,8 de celle produite par la combustion; qu'alors, la consommation par jour serait réduite à 116 kilogr. pour vingt-quatre heures, ou $4^k,8$ par heure, pour produire un travail équivalent à 1,2 cheval-vapeur; et comme les ventilateurs de M. Combes utilisent 0,38 du travail produit, la cheminée produirait à peu près trois fois le travail effectif du ventilateur, pour la même consommation de combustible. Cet effet résulte à la fois de la grande hauteur et de la grande section du puits.

M. Glepin a obtenu les résultats suivants pour des machines aspirantes de différentes formes.

2130. *Machines à piston.* Ces machines sont formées de deux cylindres en bois, dans chacun desquels se meut un piston garni de clapets, s'ouvrant par une pression de bas en haut; les tiges des pistons sont mises en mouvement par le balancier d'une machine à vapeur; les parties inférieures des cylindres sont garnies de clapets, et communiquent avec le tube d'aspiration. La première de ces machines a donné un effet utile





qui a varié de 0,36 à 0,40; une autre seulement 0,26 : M. Glepin attribue cette différence au mauvais état de la machine à vapeur, et à ce que les clapets des pistons ne sont pas soutenus par des contre-poids.

2131. *Vis pneumatiques.* Ces vis se composent de deux cloisons hélicoïdales fixées sur un axe forgé, et placées dans l'intérieur d'un cylindre horizontal en fonte, communiquant, par une extrémité, avec l'espace à ventiler, et par l'autre, avec l'air extérieur. Le mouvement est imprimé à l'axe par une machine à vapeur au moyen d'une courroie. M. Glepin a observé plusieurs de ces machines, et il a trouvé que les effets produits étaient compris entre 0,31 et 0,25.

2132. *Ventilateurs à force centrifuge.* Les ventilateurs à ailes planes sur lesquels M. Glepin a fait ses expériences, étaient à quatre ailes; les effets utiles observés ont peu différencié de 0,20. Les ventilateurs de M. Combes ont donné 0,38.

2133. *Injection de vapeur d'eau.* L'appareil se composait d'un large canal horizontal communiquant avec la mine, fermé par un bout, et renfermant six tuyaux de tôle, verticaux, ouverts par les deux bouts et encastrés dans la paroi supérieure du canal; ces tuyaux avaient 1^m,33 de longueur, 0,45 de diamètre, et recevaient chacun un jet de vapeur par leur extrémité inférieure. L'effet utile produit a été seulement de 0,05.

Un jet de vapeur à 2,75 atmosphères, dans une cheminée d'aérage ayant 39^m de hauteur, 1^m,19 de côté, a produit un effet utile de 0,067.

2134. *Observations.* Il est important de remarquer que, dans les résultats que nous venons de rapporter, la puissance des machines a toujours été calculée, et par conséquent que les effets indiqués se trouvent compliqués de la perte de travail dans la machine motrice elle-même.

Pour les ventilateurs à ailes planes, les faibles résultats obtenus proviennent en grande partie, d'après M. Glepin, d'un double courant établi près des bords des orifices d'aspiration, résultant du trop grand diamètre de ces ouvertures. Cette circonstance a pu avoir une certaine influence; mais le petit nombre des ailes a dû en avoir davantage. On doit même être étonné que ces appareils aient produit autant d'effet. Je suis persuadé qu'avec des ventilateurs garnis d'ailes assez nombreuses et assez hautes, pour que les veines d'air qui s'écoulent dans les canaux qu'elles forment, puissent prendre un régime constant, les courants en sens contraire qui tendent à se produire der-



rière chaque aile, n'existeraient pas, et qu'on obtiendrait un effet utile beaucoup plus considérable. Il serait possible pourtant qu'il fût avantageux aussi de rendre la section des canaux constante, ou en donnant aux ailes une forme trapézoïdale et aux joues celle de deux cônes tronqués, ou en conservant des joues planes, et en disposant les ailes de manière qu'elles soient parallèles 2 à 2, et que les ailes inclinées se touchent à leur naissance, c'est-à-dire, à une distance du centre égale au rayon des orifices d'accès. Il y aurait aussi probablement de l'avantage à éviter les changements brusques de direction de l'air en pénétrant dans les canaux mobiles, en fixant sur l'axe de rotation et au milieu, deux surfaces de révolution engendrées par deux courbes opposées, tangentes à l'axe et à une ligne perpendiculaire.

Les expériences faites sur des ventilateurs à quatre ailes n'ont point changé ma manière de voir (544); et je pense que le plus grand effet utile obtenu dans les ventilateurs de M. Combes, ne résulte d'aucune des considérations théoriques sur lesquelles leur construction repose, mais uniquement de l'absence de l'appel de l'air extérieur derrière les ailes; appel qu'on peut éviter dans les ventilateurs à ailes planes, comme nous l'avons dit, en employant un nombre d'ailes suffisant, et en rendant la section des canaux constante.

Quant aux résultats obtenus en produisant l'appel par des courants de vapeur lancés dans une cheminée d'une grande section, le peu d'effet utile obtenu résulte sans aucun doute des remous qui se produisent autour du jet. Mais pour les appareils dans lesquels la vapeur était lancée dans des tuyaux, en supposant que chaque tuyau fût assez long pour que la veine de vapeur le remplît, comme les buses avaient une très-grande section, la vapeur devait sortir avec une très-grande vitesse, et il n'est pas étonnant qu'on ait produit si peu d'effet. Je ne doute pas qu'avec des buses vingt fois plus petites et des tuyaux plus longs, on n'obtienne de bien meilleurs résultats. Peut-être aussi des jets intermittents produiraient-ils plus d'effet. Il y aurait à ce sujet des expériences intéressantes à faire, qui pourraient s'exécuter à peu de frais, et dont les résultats seraient très-importants pour l'industrie.

FIN.



ADDITIONS.

Rayonnement des foyers. Dans la détermination des pouvoirs rayonnants des combustibles, on a pris le nombre 1,36, pour le coefficient de correction, au lieu du nombre 1,20, qui résulte des dimensions de l'appareil (108); alors les pouvoirs rayonnants indiqués sont trop grands dans le rapport de 13 à 12. Mais cette erreur est sans importance, parce que les expériences dont il est question conduisent seulement à une valeur approximative des pouvoirs rayonnants dans les mêmes circonstances, et constatent plutôt des différences que des valeurs absolues, attendu qu'un foyer alimenté par le même combustible, en même quantité, dans le même temps, peut rayonner des quantités de chaleur très-différentes, suivant l'étendue de la surface libre du combustible et sa température.

On pourrait obtenir une approximation de la quantité de chaleur rayonnée par les foyers, en partant de la loi de MM. Petit et Dulong sur le refroidissement par rayonnement, en supposant que la loi du rayonnement subsiste pour toutes les températures. La loi dont il est question est représentée par la formule

$$v = ma^{\theta}(a^t - 1),$$

dans laquelle m est un nombre qui dépend de la nature de la surface et des dimensions du corps, $a = 1,0077$, θ est la température de l'enceinte, et t l'excès de la température du corps sur celle de l'enceinte. Or, il résulte des expériences rapportées précédemment (1807), que pour le noir de fumée et une différence de température de 20° , la quantité de chaleur rayonnée est le tiers de la quantité totale de chaleur perdue; et nous avons vu que, dans ces circonstances, cette quantité de chaleur était de 180 unités par mètre carré et par heure (1813);

alors l'excès de la quantité de chaleur rayonnée par le corps sur celle qu'il reçoit de l'enceinte, est égal à 120 unités et on en déduit $m = 1395$; et par conséquent la quantité de chaleur émise par rayonnement est représentée par la formule

$$v = 1395 \cdot 1,0077^\theta (1,0077^t - 1);$$

et en supposant $\theta = 150^\circ$, et successivement $t = 600^\circ$, 700° , 800° , 900° , 1000° , on trouve pour les quantités de chaleur émises par heure et par mètre carré, les nombres

$$431900, 745600, 2031000, 4381000 \text{ et } 9400000;$$

les quantités de houille correspondantes sont

$$72^k, 124^k, 338^k, 730^k \text{ et } 1550^k.$$

Ainsi, la quantité de chaleur transmise par rayonnement augmente suivant une loi très-rapide avec la température. En supposant que la température du foyer soit seulement de 700 degrés, et une consommation de 200 kilog. de houille par heure, on voit que la quantité de chaleur rayonnée excéderait celle qui est entraînée par le courant d'air. Il est important de remarquer que dans les chaudières à vapeur, la chaleur rayonnée par le foyer n'étant pas transmise instantanément à l'eau, la température de la chaudière augmente avec la température du foyer, et que tout porte à croire que la quantité de vapeur qui peut être produite par mètre carré de surface, a une limite correspondante à une certaine température de la chaudière.

Perte de chaleur par les cheminées. En désignant par t l'excès de température de la fumée sur celle de l'air, par V le volume d'air introduit par kilogramme de houille brûlé, la quantité de chaleur contenue dans la fumée est égale à $V \cdot 1,3 \cdot t : 4$; celle qui est produite étant 7000, la perte est représentée par

$$0,000047 V t.$$

Transmission de la chaleur à travers les corps mauvais conducteurs. Nous réunissons ici les résultats de nouvelles expériences faites sur des corps qui ne sont pas compris dans le tableau (1838) de la page 355.



Marbre blanc.....	$k=9$	$C=0,70$
Marbre en fragments de 0 ^m ,001 cube....		$C=0,25$
<i>Idem</i>de 0,0005.....		$C=0,27$
Marbre en poudre.....		$C=0,38$
Verre.....	$k=9$	$C=0,27$
Terre des fourneaux, sèche.....		$C=0,30$
<i>Idem</i> renfermant 0,04 en poids d'eau....		$C=0,46$
<i>Idem</i> 0,08.....		$C=1,28$
Drap fin.....	$k=9,47$	$C=0,046$
Couverture de laine.....	$k=6$	$C=0,085$
Molleton de coton.....	$k=5,9$	$C=0,096$
Calicot blanc.....	$k=7,24$	$C=0,14$
Calicot rouge.....	$k=7$	$C=0,18$
Cire jaune.....		$C=0,16$
Suif.....		$C=0,13$
Ouate.....		$C=0,05$
Édredon légèrement pressé.....		$C=0,06$

Transmission de la chaleur à travers un vase cylindrique, garni d'un tuyau intérieur et successivement exposé à l'air avec ou sans enveloppe. Les nombres que nous avons indiqués (1826) ayant été trouvés pour des vases de petites dimensions, j'ai fait de nouvelles expériences sur un vase ayant 0^m,40 de hauteur et 0^m,20 de diamètre, percé au centre d'un canal cylindrique de 0^m10 de diamètre. Ce vase était en fer-blanc et couvert de papier blanc; l'enveloppe extérieure était de même nature et avait 0^m,30 de diamètre.

En désignant par A la perte de chaleur calculée pour une différence de la température de 1°, par mètre carré de surface extérieure, et par heure, le cylindre central étant bouché aux deux extrémités, et le vase exposé à l'air sans enveloppe, on trouve $A=10,6$ unités pour des différences de températures comprises entre 45 et 70 degrés.

En désignant par B la perte de chaleur par mètre carré de surface du tuyau intérieur, et pour une différence de 1°, dans les mêmes circonstances, on trouve $B=5,6$ unités.

Pour les mêmes différences de température, l'enveloppe extérieure ne modifiait pas sensiblement le refroidissement.

FIN DES ADDITIONS.



TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

	Pages.
CHAPITRE X. DISTILLATION.....	1
§ 1. Distillation simple	1
2. Appareils de distillation et d'analyse des vapeurs.....	19
3. Appareils de distillation dans lesquels la chaleur est utilisée plusieurs fois.....	27
CHAPITRE XI. ÉVAPORATION.....	34
§ 1. Évaporation spontanée à l'air libre.....	35
2. Évaporation par un courant d'air forcé à la température ordinaire	37
3. Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer.....	40
4. Évaporation d'un liquide chaud par un courant d'air forcé froid ou chaud.....	55
5. Évaporation par la vapeur	62
6. Évaporation dans le vide.....	74
7. Appareils d'évaporation dans lesquels la chaleur est employée plusieurs fois.....	86
CHAPITRE XII. SÉCHAGE.....	97
§ 1. Séchage à l'air libre.....	98
2. Séchage par l'air chaud.....	99
3. Séchage des étoffes par rayonnement.....	122
4. Séchage des corps par leur application contre des surfaces métalliques chauffées.....	123
5. Séchage des étoffes par la force centrifuge.....	133
6. Séchage des matières pulvérulentes.....	134
7. Séchage par l'air à la température ordinaire, desséché et mis en mouvement par la chaleur ou par une action mécanique.....	137
8. Séchage dans le vide.....	142
CHAPITRE XIII. CHAUFFAGE DE L'AIR.....	143
§ 1. Chauffage direct par la combustion	143
2. Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible.....	145
3. Chauffage intérieur par les poêles.....	164
4. Cheminées - poêles.....	202

5. Calorifères à air chaud.....	205
Calorifères placés dans les pièces chauffées et ventilées.....	206
Calorifères placés loin des lieux qui doivent être chauffés.....	208
Calorifères destinés à chauffer l'air à une haute température.....	228
Calorifères chauffés par la chaleur perdue des fourneaux.....	233
6. Chauffage de l'air par la vapeur.....	239
7. Chauffage de l'air par des calorifères à eau chaude à basse pression.....	256
8. Chauffage de l'air par l'eau chaude à haute température.....	263
CHAPITRE XIV. CHAUFFAGE DES LIQUIDES.....	
§ 1. Chauffage direct des liquides.....	268
2. Chauffage de l'eau des bains.....	270
3. Appareils de lessivage.....	279
4. Chauffage des liquides par la vapeur.....	284
5. Appareils d'économie domestique.....	287
CHAPITRE XV. CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES.....	
CHAPITRE XVI. DU REFROIDISSEMENT.....	
§ 1. Théorie du refroidissement des corps dans l'air.....	339
2. Dispositions propres à retarder le refroidissement des corps.....	358
3. Dispositions propres à accélérer le refroidissement des corps.....	359
4. Refroidissement des corps au-dessous de la température ordinaire, et conservation de la glace.....	364
CHAPITRE XVII. CHAUFFAGE, VENTILATION ET ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS..	
§ 1. Volume d'air nécessaire à la respiration et aux appareils d'éclairage.....	374
2. Chaleur produite par la respiration.....	379
3. Différents modes de ventilation.....	380
4. Chaleur transmise par les vitres et par les murailles.....	391
5. Chauffage et assainissement des maisons d'habitation.....	395
6. Chauffage des édifices publics.....	404
7. Chauffage des ateliers.....	466
8. Ateliers insalubres.....	469
Additions.....	479





TRAITÉ
DE LA CHALEUR
COMPOSÉE
DANS SES APPLICATIONS