

Pour le fer-blanc.....	1,07
Pour le verre.....	1,76
Pour la tôle neuve.....	1,80
Pour la tôle rouillée.....	2,10

1577. D'après des expériences faites par Clément à une température de 25°,

1 ^m carré de fonte nue en tuyau horizontal, condense par heure..	1,600
1 ^m carré de fonte noircie.....	1,500
1 ^m carré de cuivre nu en tuyau horizontal.....	1,300
1 ^m carré de cuivre noirci en tuyau horizontal.....	1,500
1 ^m carré de cuivre noirci en tuyau vertical.....	1,750

En ramenant ces nombres à une température extérieure de 15°, on trouve :

Pour la fonte nue en tuyau horizontal.....	1,81
Pour la fonte noircie en tuyau horizontal.....	1,70
Pour le cuivre nu en tuyau horizontal.....	1,47
Pour le cuivre noirci en tuyau horizontal.....	1,70
Pour le cuivre noirci en tuyau vertical.....	1,98

1578. On voit par ces dernières expériences que la fonte noircie à sa surface a moins condensé de vapeur que la fonte nue, et que le contraire a lieu pour le cuivre. Cette anomalie provient de ce que la fonte nue est plus irrégulière et a une plus grande surface réelle que la fonte recouverte d'un enduit quelconque, tandis que le cuivre poli étant doué d'une grande faculté réfléchissante, il la perd par un enduit et acquiert un plus grand pouvoir émissif. Il résulte aussi de ces expériences, que les tuyaux disposés verticalement condensent plus de vapeur que quand ils sont placés horizontalement. Cette différence provient de ce que, dans le premier cas, les courants d'air se meuvent facilement sur toute la surface des tuyaux, tandis que dans le second il n'en est ainsi que pour la moitié inférieure de la surface. Mais le plus grand effet produit par les tuyaux verticaux n'existerait plus si ces tuyaux avaient une très-grande hauteur, parce que l'air qui serait en contact avec leurs parties supérieures, ayant été échauffé par son passage contre les parties inférieures, n'absorberait plus autant de chaleur; et on conçoit même qu'au delà d'une certaine



hauteur, celle à laquelle l'air aurait pris la température du tuyau, il n'y aurait plus de refroidissement par le contact de l'air.

1579. Voici enfin les résultats de deux expériences faites dans deux fabriques, chauffées à la vapeur, l'une par des tuyaux de fonte, et l'autre par des tuyaux de cuivre. Dans la première, un chauffage de 11 heures par 253 mètres carrés de surface de fonte, a produit 4950 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à 1^k,77 par heure et par mètre carré ; dans l'autre, par un chauffage de 9^h12', une surface de 136^m,2 de tuyaux de cuivre a fourni 2214 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à 1^k,75 de vapeur condensée par mètre carré et par heure. Ces nombres se rapprochent beaucoup de ceux que nous avons rapportés précédemment, et comme ils résultent d'expériences faites sur une très-grande échelle, ils méritent plus de confiance.

1580. Dans les grands chauffages à vapeur, il faut compter sur une condensation de 1^k,80 de vapeur par heure et par mètre carré de fonte, et seulement sur 1^k,75 par mètre carré de cuivre.

1581. Le diamètre des tuyaux de condensation n'est pas entièrement arbitraire ; car, il faut que l'air soit expulsé des tuyaux le plus promptement et le plus complètement possible, attendu que l'air, même en petite quantité, mêlé avec la vapeur, en ralentit beaucoup la condensation. Or, l'évacuation de l'air est très-difficile et très-lente quand les tuyaux ont un grand diamètre ; quand, au contraire, les tuyaux ont un diamètre très-petit, leur longueur pour la même surface est très-grande, et les frottements ralentissent la marche de la vapeur, consomment une partie de sa pression dans la chaudière, et produisent une détente qui abaisse sa température. Ainsi il faut éviter d'employer des tuyaux d'un trop grand ou d'un trop petit diamètre. Les diamètres des tuyaux varient ordinairement de 7 à 20 centimètres. Les grands tuyaux ont 2 mètres de longueur ; 0^m,20 de diamètre intérieur ; 0^m,02 d'épaisseur ; les brides 0^m,055 de largeur, et on y place ordinairement 6 boulons de 0^m,02 de diamètre. Les tuyaux d'un plus petit diamètre ont la même longueur, 0^m,1 d'épaisseur, et les collets sont réunis par un plus petit nombre de boulons d'un plus petit diamètre.

1582. Si on veut que les tuyaux, après la cessation du feu, se refroidissent lentement et donnent pendant plusieurs heures une certaine quantité de chaleur, il faut mettre dans les tuyaux, du sable,

ou des fragments de briques, qui s'échauffent pendant l'émission de la vapeur et se refroidissent ensuite lentement. Dans certains cas il serait préférable de laisser séjourner dans l'intérieur des tuyaux une certaine quantité d'eau, en plaçant les tuyaux horizontalement et les tubes de retour d'eau à une certaine hauteur.

1583. D'après les nombres que nous avons rapportés précédemment, sur les quantités de chaleur émises par les tuyaux chauffés par la vapeur et exposés librement à l'air, on pourra calculer la surface qu'on doit leur donner pour chauffer une pièce avec ou sans ventilation, quand on connaîtra la quantité maximum d'unités de chaleur que les murailles et les vitres perdent dans une heure. Mais cette question ne sera examinée que dans le chapitre XVIII.

1584. *Différents modes de réunion des tuyaux de condensation.* Les tuyaux de fonte sont ordinairement terminés par des rebords qu'on désigne sous le nom de *brides* ou *collets*, percés d'un certain nombre de trous également distants, destinés à recevoir des boulons (fig. 6 et 7, pl. 87). Pour des tuyaux de 0^m,20, les boulons sont au nombre de 4 ou 5. Quelquefois on emploie des tuyaux de fonte terminés à une extrémité par un godet, dans lequel pénètre l'extrémité du tuyau avec lequel il doit être réuni (fig. 8 et 9).

1585. Lorsque les tuyaux sont à brides et qu'ils ne doivent jamais être démontés, les brides sont en retraite de 1 à 2 centimètres; pour les réunir, on serre d'abord les écrous, et on introduit dans l'intervalle des brides du mastic de fonte qu'on tasse fortement. Le mastic de fonte dont nous avons déjà donné une recette (725), est aussi quelquefois composé de la manière suivante : 100 parties de tournure de fonte, 2 parties de sel ammoniac, une partie de fleur de soufre et une demi-partie de sulfure d'antimoine; on mêle ces matières pulvérisées avec de l'urine, en quantité suffisante pour qu'elles en soient recouvertes. Pour faire le joint, on introduit par partie le mastic entre les collets, en le mattant fortement jusqu'à ce que l'intervalle soit rempli; et on attend quelques jours pour que le mastic prenne toute la consistance dont il est susceptible. Ce mode de jonction est le meilleur qu'on connaisse, car il ne s'altère pas avec le temps. Quand les collets sont à fleur des tuyaux, on place entre eux un anneau étroit de fer forgé.

1586. Quand les tuyaux sont à godet, le joint se fait également avec



du mastic de fonte que l'on tasse dans l'espace annulaire qui sépare les deux parties qui se pénètrent; et pour que le joint soit solide et que le mastic ne se sépare pas des surfaces de fonte, par les mouvements qui proviennent des variations de température, on donne à la partie du tuyau qui doit recevoir l'extrémité de l'autre, un diamètre un peu plus grand au fond qu'à l'extrémité; et souvent on place en outre une cheville de fer qui traverse les parties emboîtées des tuyaux. Ce mode d'ajustage a l'inconvénient de faire quelquefois éclater le tuyau enveloppant par la grande dilatation qu'éprouve le mastic en se solidifiant; on évite cet inconvénient en laissant peu d'intervalle entre les parties réunies, et en donnant par conséquent peu d'épaisseur à la couche de mastic. Pour les conduites d'eau, les joints des tuyaux à emboîtement se font avec du plomb; mais cette méthode ne convient pas pour les tuyaux à vapeur, les joints perdraient promptement.

1587. Ordinairement on réunit les tuyaux par d'autres méthodes plus simples et plus expéditives, qui toutes se réduisent à placer entre les collets, des plaques annulaires que l'on serre fortement par des écrous.

1588. Lorsque les joints doivent être défaits de temps en temps, on emploie des étoupes tressées qui ont été plongées dans du suif fondu, figures 20 et 21. Pour les joints qui ne doivent pas être défaits, on se sert fréquemment de plaques de plomb de 3 à 5 millimètres d'épaisseur, rayées sur les deux faces (fig. 22 et 23) et recouvertes de mastic rouge (mélange de céruse, d'huile de lin et de minium); ce mastic durcit promptement et adhère très-bien aux métaux. Quelquefois les faces des collets sont tournées et rayées circulairement comme l'indiquent les figures 24 et 25. On se borne souvent à employer des anneaux de toile très-forte ou de carton recouverts d'une couche épaisse de mastic rouge. Les joints au mastic rouge ont l'inconvénient de donner pendant assez longtemps une odeur désagréable. On fait aussi des joints sans enduit, en tournant les faces des collets, et plaçant entre eux un anneau formé d'un fil de cuivre rouge de 1 à 2 millimètres de diamètre : ce joint, quand il est bien fait, est préférable à tous les autres.

1589. Lorsque les collets ont été tournés, on peut les réunir en mettant seulement entre eux une feuille de papier épaisse mouillée avec une dissolution de sel marin. Le métal s'oxyde promptement, et le joint devient étanche et très-solide.

1590. Les petits tuyaux qui servent à conduire la vapeur dans les tuyaux de condensation sont presque toujours réunis par des collets à boulons, figures 16, 17, 18 et 19. Quand ils sont en cuivre, ils sont garnis de collets en fer, soudés à la soudure forte; quelquefois ils ont des collets en cuivre mince, qui sont serrés l'un contre l'autre par des anneaux libres en fer, figures 14 et 15. Quand ces tuyaux sont d'un petit diamètre, on les ajuste par des vis ou des écrous roulants, figures 26, 27, 28, 29 et 30.

Les tuyaux de cuivre sont toujours soudés à la soudure forte. Dans aucun cas il ne faut employer la soudure d'étain, parce que l'inégale dilatation des métaux les sépare promptement et fait perdre les joints.

1591. *Supports des tuyaux.* Le plus souvent les tuyaux sont suspendus au plafond des pièces, par de simples fils de fer fixés à des pitons. Mais le mode de suspension indiqué dans les figures 10 et 11 (pl. 87) est bien préférable; car, au moyen de l'écrou *m*, on peut facilement raccourcir ou allonger la suspension.

1592. Lorsque les pièces sont garnies de poteaux très-rapprochés, on supporte souvent les tuyaux par la disposition indiquée dans les figures 12 et 13.

1593. *Robinets.* Les petits robinets de distribution sont presque toujours en bronze, et ils sont soudés à l'étain quand les tuyaux sont en plomb. Lorsque les tuyaux sont en cuivre ou en fer, ils sont ajustés avec des écrous roulants, fig. 31 et 32. Les figures 33 et 34 représentent un petit robinet très-commode à ajuster dans de petits tuyaux de plomb; les deux bouts de tuyaux qui le terminent sont garnis de rainures transversales, on les couvre de mastic rouge, on les introduit dans les tuyaux de plomb, dont le diamètre ne doit pas excéder de beaucoup le leur, et on serre fortement les tuyaux de plomb avec des fils de fer: les joints deviennent étanches et très-solides en peu de temps. La figure 35 représente un robinet souffleur appliqué directement sur un gros tuyau: c'est une vis creuse percée latéralement; on fait sortir l'air ou la vapeur en desserrant la vis. En Angleterre, presque tous les tuyaux de distribution et ceux des souffleurs sont en fonte ou en fer. Les figures 36 et 37 représentent, à moitié grandeur, un de ces petits robinets en fer, qui se vendent à très-bas prix, et qui sont employés pour les distributions de gaz et pour les souffleurs des appareils de chauffage à vapeur.

1594. Les robinets des grandes distributions sont toujours en cuivre;



quelquefois ils sont soudés sur des tuyaux en plomb ; mais le plus souvent ils sont assemblés à brides et à écrous sur des tuyaux de fer ou de cuivre. Les figures 38, 39, 40 et 41 (pl. 87) représentent, à un quart de grandeur, deux coupes, une élévation et une projection horizontale d'un robinet appliqué à un tuyau de 4 centimètres de diamètre. Les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (pl. 88) représentent, à la même échelle, un robinet à trois eaux.

La figure 42 (pl. 87) est une coupe d'un robinet à soupape, se manœuvrant au moyen d'une manivelle qui fait mouvoir dans une boîte à étoupe la tige taraudée de la soupape ; à côté se trouve une soupape à air.

1595. *Compensateurs.* Quelle que soit la nature des tuyaux de conduite et de condensation, les variations de température qu'ils éprouvent produisant des variations dans leur longueur, ils doivent être disposés de manière que ces mouvements puissent se faire facilement. Par conséquent ils ne doivent point être fixés par les deux bouts à des parties immobiles des bâtiments, car la force avec laquelle les métaux tendent à se dilater et à se contracter étant très-grande, les tuyaux renverseraient les obstacles qui s'opposeraient à leurs mouvements, ou se briseraient eux-mêmes s'ils n'étaient pas élastiques. L'allongement que prennent les tuyaux lorsqu'ils sont chauffés à 100°, est assez considérable, car le coefficient de dilatation de la fonte étant de 0,0011, 10 mètres s'allongent de 0^m,011, 100 mètres de 0^m,11. Si tout le circuit était en fonte, et horizontal, on obvierait complètement aux effets de la dilatation, en suspendant librement tous les tuyaux et en n'en fixant aucune partie. Mais il y a toujours des parties verticales qui, en s'allongeant, soulèveraient les parties horizontales contiguës qui, ne portant plus sur leurs supports, pourraient se briser. Ainsi, dans presque tous les cas, il est indispensable de disposer certaines parties du circuit de manière qu'il puisse facilement, sans produire d'accidents, obéir aux efforts de la dilatation. On emploie pour cela deux dispositions différentes : des tuyaux de cuivre d'un petit diamètre et fortement courbés, dont la courbure peut changer facilement, souvent et longtemps, sans que le métal se déchire, et des tuyaux d'un grand diamètre qui se pénètrent et qui peuvent entrer plus ou moins les uns dans les autres.

1596. Les compensateurs de cuivre ont toujours un petit diamètre, et ils sont pliés de manière que leur longueur soit quatre à cinq fois plus

grande que la plus courte distance de leurs extrémités. Si, par exemple, un tuyau de conduite vertical devait distribuer simultanément de la vapeur dans des tuyaux de condensation placés à différents étages, on fixerait le tuyau vertical à sa partie inférieure, l'autre extrémité serait libre, les tuyaux de condensation seraient fixes à l'extrémité la plus voisine du premier, et la vapeur serait admise dans chacun d'eux au moyen d'un tube de cuivre d'un petit diamètre, qui partant du tuyau conducteur s'élèverait à une certaine hauteur, et descendrait ensuite pour communiquer avec le tuyau condensateur. Si les deux extrémités d'une série horizontale et rectiligne de tuyaux étaient fixées aux murailles d'un bâtiment, il faudrait interrompre la conduite dans une certaine étendue, fermer les bouts des tuyaux en regard A et B, figure 7 (pl. 88), et faire communiquer leurs parties supérieures par un tube recourbé *abc*, et leurs parties inférieures par un tube de même forme *a'b'c'*; le premier serait destiné à faire passer la vapeur, le second l'eau de condensation de la première partie du tuyau dans la seconde. Si on ne plaçait qu'un seul tuyau *abc*, il faudrait faire écouler par un tube particulier, l'eau de condensation de l'une des parties, figure 8.

1597. On ne pourrait pas remplacer les tuyaux de cuivre par des tuyaux de plomb, parce que les petits mouvements que ceux-ci éprouveraient les auraient bientôt déchirés. L'expérience en a été faite à Paris, dans un grand chauffage à vapeur établi par M. Grouvelle. Les compensateurs en plomb qu'il avait employés ont été déchirés en peu de temps. A la vérité les tuyaux étaient courts et d'un gros diamètre; mais il n'est pas douteux que le même effet serait arrivé, peut-être seulement après un temps plus long, si les tuyaux avaient eu une plus grande longueur et un plus petit diamètre.

1598. Quand on ne peut pas employer les dispositions dont nous venons de parler, par exemple, quand les tuyaux sont logés dans des caniveaux étroits, il faut se servir de la disposition indiquée par les figures 10 et 11 (pl. 88). Un des tuyaux est alésé sur une partie de sa longueur, qui pénètre dans un renflement de l'autre à travers une boîte à étoupe: par les variations de température, le tuyau intérieur glisse dans la boîte. Ce compensateur a été employé dans le chauffage de la Bourse, et appliqué à des tuyaux de fonte d'un grand diamètre; il fonctionne bien quand on a soin de graisser les étoupes de temps en temps;



mais des compensateurs qu'on avait entièrement négligés ont cessé de fonctionner, et la dilatation des tuyaux a brisé de grandes baches de fonte placées à leurs extrémités, et auxquelles ils étaient fixés. Pour éviter cet inconvénient, M. Talabot a remplacé chacun des grands compensateurs en fonte, par deux plus petits en cuivre, figure 12 (pl. 88), placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des tuyaux. Le premier est destiné à établir la communication de la vapeur entre les deux tuyaux; le second, celle de l'eau de condensation. Les figures 13 et 14 (pl. 88) représentent sur une plus grande échelle deux coupes de ces compensateurs.

1599. De quelque manière que les compensateurs soient disposés, ils sont toujours compliqués, d'un prix assez élevé, et il est par conséquent important de chercher à en diminuer le nombre autant que possible, ou même à les éviter.

Dans beaucoup de chauffages à vapeur, quand les effets produits ne résultent que d'une petite longueur de tuyaux, on n'emploie point de compensateur; on compte sur l'élasticité et la ténacité du métal pour éviter les fractures. Par exemple, lorsqu'un tuyau de fonte vertical distribue de la vapeur à des tuyaux horizontaux, souvent ces derniers sont directement embranchés sur le tuyau vertical, et les tuyaux horizontaux sont librement suspendus et entièrement libres à leur extrémité. Il résulte de là, que les parties des tuyaux horizontaux voisines de l'embranchement, sont soulevées quand le métal est échauffé, que les tuyaux se courbent et qu'ils ne portent qu'à une certaine distance sur leurs supports. Cette disposition est sans inconvénient, quand il n'y a qu'un ou deux étages à chauffer, c'est-à-dire quand le tuyau vertical n'a que 6 à 7 mètres de longueur: au delà, il serait dangereux de l'employer. On peut également éviter les compensateurs quand les tuyaux librement suspendus dans une pièce y circulent de différentes manières. Dans les divers cas qui se présenteront, le calcul de l'effet produit par la dilatation, fera facilement connaître s'il est indispensable d'employer des compensateurs.

1600. *Souffleurs*. On désigne ainsi des petits tubes garnis de robinets, placés aux extrémités des grandes lignes de tuyaux de chauffage, et qui sont destinés à expulser l'air qui remplit les tuyaux lors de l'arrivée de la vapeur. Les souffleurs sont toujours placés à la partie supérieure des tuyaux,

figure 15 (pl. 88), et conduisent l'air au dehors. Ils sont ordinairement en fer et d'un diamètre intérieur de 4 à 5 millimètres. Leur extrémité est taraudée, garnie d'un talon, et au-dessus d'une partie carrée; on les place dans des orifices percés et taraudés dans les plaques de fonte qui ferment les extrémités des tuyaux; les robinets dont ils sont garnis se montent à vis directement. Dans les petits appareils, les souffleurs se composent simplement d'une vis renfermant un canal intérieur, qui débouche latéralement près de la tête de la vis, et qui est fixée sur une des faces du vase de condensation, figure 35 (pl. 87). On ouvre les robinets des souffleurs au commencement du chauffage, et on les ferme quand ils commencent à laisser dégager de la vapeur. On est cependant obligé de les ouvrir de temps en temps pendant le chauffage, pour laisser dégager l'air qui s'est accumulé dans les tuyaux; quelquefois même on est obligé de les laisser constamment ouverts: ce dernier cas se présente surtout quand les tuyaux sont d'un grand diamètre.

1601. Il est facile de se rendre compte de la nécessité d'expulser l'air des appareils au commencement du chauffage, d'ouvrir de temps en temps les souffleurs pendant l'opération, et des circonstances qui peuvent rendre nécessaire leur ouverture permanente. Supposons les tuyaux pleins d'air, fermés et communiquant avec une chaudière à vapeur; la vapeur se propagera lentement dans la masse d'air des tuyaux, et ne se condensera qu'en petite quantité. Mais si les tuyaux sont d'un petit diamètre et si on ouvre un orifice à leur extrémité, l'air sera chassé par la vapeur comme par un piston, et quand la vapeur commencera à sortir à l'autre extrémité, tout l'air aura été expulsé; alors, en fermant l'orifice, la vapeur se condensera sans obstacle contre les parois des tuyaux; et s'il n'arrivait pas d'air avec la vapeur, le souffleur pourrait rester fermé pendant toute la durée du chauffage, sans que la condensation de la vapeur fût ralentie. Mais comme l'eau d'alimentation de la chaudière, à moins qu'elle ne provienne de l'eau de condensation introduite très-chaude dans la chaudière, renferme toujours de l'air, on est obligé d'ouvrir le souffleur de temps en temps pour faire dégager l'air qui s'est accumulé. Supposons maintenant que le tuyau ait un grand diamètre. Au commencement du chauffage, la vapeur se mêlera à l'air; et il faudra laisser le souffleur ouvert assez longtemps, après l'apparition de la vapeur, pour expulser la totalité de l'air que renfermait le tuyau, alors seule-



ment on pourra le fermer; mais si les joints ne sont pas parfaitement étanches, comme il y a un appel considérable à l'extrémité du tuyau où la veine de vapeur pénètre dans un conduit d'un diamètre beaucoup plus grand, l'air entrera par les fissures des joints, et nécessitera l'ouverture permanente du souffleur, autrement la quantité de vapeur condensée serait très-petite.

1602. *Soupapes à air.* Lorsqu'on emploie des tuyaux de cuivre pour surfaces de chauffe, comme le métal a peu d'épaisseur, et par conséquent peu de résistance, les tuyaux s'écraseraient par une condensation subite de la vapeur provenant d'un ralentissement du foyer, de la fermeture du robinet d'admission ou de toute autre cause imprévue. Pour éviter cet accident, on place sur les tuyaux, de distance en distance, des soupapes qui s'ouvrent par un petit excès de la pression extérieure sur la pression intérieure. Ces soupapes peuvent être disposées d'une infinité de manières différentes. La plus simple consiste en une soupape intérieure maintenue sur son siège par un ressort à boudin très-faible.

1603. *Écoulement de l'eau de condensation de la vapeur.* Dans quelques cas, on pourrait faire revenir directement à la chaudière, et par le même chemin que suit la vapeur, mais par une marche contraire, l'eau qui résulte de la condensation de la vapeur; mais il faudrait pour cela, comme nous l'avons dit à propos de l'évaporation, que la vapeur eût dans tout son cours une marche ascendante, et que les tuyaux conducteurs eussent un grand diamètre, afin que les mouvements opposés de la vapeur et de l'eau ne se gênassent pas. On pourrait aussi faire revenir l'eau de condensation à la chaudière par un canal distinct, pourvu d'une soupape qui s'opposât à l'ascension de l'eau de la chaudière dans les vases de condensation (874). Mais, dans tous les grands chauffages, on emploie des appareils très-simples pour faire sortir l'eau de condensation des condenseurs, sans permettre à l'air d'y rentrer, et l'eau chaude se rend ensuite dans une bêche qui se trouve près des chaudières, où elle est employée à l'alimentation par un des moyens que nous avons décrits pages 367 et suivantes du premier volume.

1604. Dans tous les appareils de chauffage à vapeur, l'étendue de la surface de condensation, la section du canal d'écoulement de la vapeur et les dimensions du générateur sont toujours déterminées de manière

que dans les parties les plus éloignées des tuyaux de condensation, la tension de la vapeur excède toujours la pression de l'atmosphère, car c'est à cette condition qu'on parvient au commencement du chauffage à faire sortir tout l'air des tuyaux. Ainsi, pour évacuer l'eau de condensation, il suffit de placer dans les parties de l'appareil où elle s'accumule, des tuyaux garnis de robinets qu'on ouvre de manière à ce qu'ils laissent écouler, dans un certain temps, un volume d'eau parfaitement égal à celui qui se produit; alors l'eau ne s'accumule pas dans les appareils de condensation, et il ne se dégage point de vapeur. Il est important de remarquer que s'il restait une certaine quantité d'eau dans les tuyaux, il n'en résulterait aucun inconvénient, et qu'il se dégagerait autant de chaleur que si toutes les surfaces métalliques intérieures étaient à nu, attendu que l'eau chauffée directement en dessus par la vapeur et sur tous les autres points par la chaleur transmise par le métal, aurait sensiblement la température de la vapeur. Mais la vapeur qui sortirait serait complètement perdue; ainsi il y a de l'avantage à ne pas laisser écouler toute l'eau qui se produit.

1605. Les tubes d'écoulement ont ordinairement la forme d'un siphon renversé ABC (fig. 16, pl. 88); l'une des extrémités communique avec la partie inférieure du vase de condensation, et l'autre débouche dans une bêche; la partie AB est garnie d'un robinet M. Cette disposition a pour objet d'éviter la sortie de la vapeur par un petit accroissement de pression intérieure, et la rentrée de l'air par une diminution de tension qui rendrait la force élastique de la vapeur plus petite que celle de l'atmosphère; circonstances qui peuvent se produire par la seule variation d'intensité du foyer.

1606. Lorsque la force élastique de la vapeur, au-dessus de l'eau de condensation, varie dans des limites très-étendues, il faudrait donner une grande longueur aux tubes AB et BC pour éviter la rentrée de l'air ou la sortie de la vapeur. Mais on ne leur donne qu'une petite hauteur, et on change la position de la clef du robinet quand cela est nécessaire.

1607. On pourrait aussi employer un vase qui se viderait de lui-même quand il serait rempli d'eau (fig. 17, pl. 88). Une boîte cylindrique sert de réservoir à l'eau de condensation; elle est percée inférieurement d'une ouverture *m* fermée par une soupape dont la tige est liée au flotteur *n*, dont le poids est tel, qu'il soulève la soupape quand



il est complètement submergé; et pour cela il suffit que la force ascensionnelle du flotteur entièrement plongé dans l'eau, soit égale à la pression exercée par la vapeur sur la tête de la soupape, diminuée de la pression de l'atmosphère qui agit sur la face inférieure. Cet appareil est rarement employé.

1608. Quelquefois l'eau de condensation est recueillie à une très-grande distance des générateurs, et on néglige de l'y faire retourner; cependant quand l'alimentation des chaudières peut se faire avec l'eau de condensation, il en résulte un grand avantage, car non-seulement on utilise la chaleur que renferme cette eau, mais on évite les dépôts qui se forment toujours quand on emploie de l'eau qui n'a pas été distillée; dépôts qui exigent des curages fréquents et qui produisent une altération rapide des chaudières. Maintenant, dans les grands chauffages, les petites machines à vapeur spéciales (879) sont préférées à tous les autres modes d'alimentation.

1609. *Poêles à vapeur.* Les poêles à vapeur sont des vases de différentes formes, placés dans l'intérieur des pièces qui doivent être chauffées, et qui sont en communication avec une chaudière à vapeur. On peut donner à ces vases toute espèce de forme; les conditions à remplir se réduisent à pourvoir chacun d'eux d'un souffleur et d'un tube de retour d'eau.

1610. M. Grouvelle a construit, il y a quelques années, dans l'établissement des Néothermes, des poêles à vapeur, représentés par les figures 12, 13 et 14 (pl. 89). Chaque appareil est composé d'une caisse en fonte fermée de toute part; la vapeur y arrive par le tube A, et l'eau de condensation s'échappe par le tuyau B; le souffleur C est disposé comme dans la figure 35 (pl. 87). L'air extérieur arrive derrière le poêle et pénètre dans la chambre à travers une grille placée à la partie supérieure de l'appareil.

1611. *Calorifères à vapeur.* Dans tout ce qui précède, nous n'avons parlé que des appareils placés dans les lieux mêmes qui doivent être chauffés. Mais on emploie souvent la vapeur pour chauffer l'air qui est introduit ensuite dans les pièces à chauffer et à ventiler.

1612. La disposition la plus simple des calorifères à vapeur consiste dans des caniveaux en briques (fig. 18, 19 et 20, pl. 88), renfermant un ou plusieurs tuyaux dans lesquels circule de la vapeur, et qui sont

parcourus par l'air qui doit s'échauffer; ces caniveaux peuvent être au-dessus ou au-dessous du sol. L'air doit marcher en sens contraire de la vapeur, attendu que la pression, et par conséquent la température de la vapeur, décroît de l'extrémité par laquelle arrive la vapeur à l'extrémité par laquelle s'échappe l'eau de condensation. Les tuyaux sont supportés par des rouleaux en fonte d'un plus petit diamètre au milieu que vers les bouts, et qui reposent sur des socles en fonte, figure 18, ou sur le sol, figure 19, ou dans des cavités pratiquées dans les murs latéraux du caniveau, figure 20.

Lorsque le calorifère ne doit occuper qu'un petit volume, on emploie plusieurs dispositions que nous allons décrire successivement.

1613. Les figures 21 et 22 (pl. 88) représentent un calorifère qu'on a souvent employé, mais qui, comme nous allons le voir, a de graves inconvénients. Ce calorifère est formé de deux caisses de fonte A et B, réunies par un grand nombre de tuyaux de cuivre parallèles, fixés sur les tubulures des caisses. La vapeur arrive par le tube C; l'eau de condensation s'échappe par le tube D; E est le robinet du souffleur. L'appareil est logé dans une caisse en bois ou en maçonnerie qui communique par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le lieu où l'air chaud est envoyé. Ces appareils perdent toujours, quelque soin qu'on ait apporté d'ailleurs à leur construction, parce que les tuyaux ne sont pas traversés simultanément par la vapeur, qu'ils s'échauffent inégalement, et qu'il en résulte des tiraillements qui déforment les joints. A la manufacture de tabac de Paris on a essayé d'éviter cet inconvénient en employant des boîtes en cuivre étamées intérieurement, en faisant pénétrer les tuyaux de cuivre de 1 centimètre dans les boîtes et en y coulant une lame épaisse d'étain; mais ce métal s'est séparé du cuivre et les appareils perdent beaucoup. On éviterait très-probablement la destruction des joints en employant des tuyaux courbes, comme l'indique la figure 23 (pl. 88). Mais la disposition représentée par les figures 1^{re} et 2 (pl. 89) serait bien préférable. L'appareil est formé d'une caisse de fonte divisée en deux compartiments A et B; la cloison qui les sépare est percée de trois orifices sur lesquels sont montés trois tubes en cuivre C,C,C, ouverts par les deux bouts. Ces tubes sont enveloppés de trois autres tubes en cuivre D,D,D, d'un plus grand diamètre, fermés par la partie supérieure et fixés sur des tubulures que porte la face supérieure de la caisse. La vapeur



entre par la tubulure E, et l'eau de condensation sort par un tuyau fixé sur la tubulure F. Il est évident que par cette disposition l'inégalité des dilatations des tuyaux n'a aucune influence sur les joints.

1614. Les figures 3, 4, 5, 6 et 7 (pl. 89) représentent un calorifère à vapeur construit par M. Rudler, ingénieur de la manufacture des tabacs de Paris, et qui fonctionne depuis plusieurs années, sans qu'aucune fuite de vapeur se soit manifestée. Cet appareil est formé de deux caisses de fonte parallèles A et B, très-allongées. Leurs couvercles, représentés figure 7, sont percés d'un grand nombre d'orifices, dans lesquels sont soudées à la soudure forte, les extrémités des tuyaux de cuivre rouge F, F. La vapeur entre dans la caisse A par le tuyau C, et parcourt simultanément tous les tuyaux F, F. C est le tuyau d'admission de la vapeur; D, le tube souffleur. E, E sont les retours de l'eau de condensation qui se réunit également dans les deux caisses A et B. G est une caisse de tôle ouverte par les deux bouts, qui environne l'appareil.

1615. Dans tous les calorifères que nous venons de décrire, la vapeur doit parcourir simultanément plusieurs tuyaux, et c'est un inconvénient grave, parce que l'on n'est pas assuré qu'au commencement du chauffage, l'air sera complètement expulsé de l'appareil, et comme les tuyaux qui conservent de l'air condensent fort peu de vapeurs, il en résulte souvent une perte de surface de chauffe et des inégalités de dilatation qui occasionnent des fuites. Pour éviter ces inconvénients, il faut faire parcourir à la vapeur un seul tuyau, et la faire marcher de haut en bas; le tuyau peut être contourné de différentes manières, pourvu que la pente soit toujours dirigée dans le même sens.

1616. On peut disposer le tuyau comme dans les figures 8, 9, 10 et 11 (pl. 89); le circuit doit être enveloppé d'une caisse communiquant par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le lieu dans lequel se rend l'air chaud. Si les tubes étaient d'un petit diamètre et devaient avoir une très-grande longueur pour présenter une surface de chauffe suffisante, il serait convenable de placer dans la même enveloppe plusieurs tubes ayant chacun un souffleur. Pour des tubes de 0^m,03 de diamètre, il ne faudrait pas donner à chacun plus de 20 à 30 mètres de longueur. Les tubes peuvent être en cuivre ou en fer; dans ce dernier cas ils coûtent beaucoup moins, et n'exigent point de supports pour conserver leurs formes et leurs positions primitives.

1617. Ces dispositions sont plus simples, d'une construction plus facile, d'un prix beaucoup moins élevé, et enfin, pour la même surface de chauffe, produisent beaucoup plus d'effet, que celles que l'on emploie ordinairement, et doivent leur être préférées dans presque tous les cas.

§ 7. — CHAUFFAGE DE L'AIR PAR DES CALORIFÈRES A EAU CHAUDE A BASSE PRESSION.

1618. Lorsque de l'eau chaude est renfermée dans un vase fermé, elle se refroidit, et par conséquent échauffe l'air environnant. L'eau ayant une grande chaleur spécifique, un poids peu considérable de ce liquide peut échauffer un très-grand volume d'air. Par exemple, 1 kilog. d'eau à 100°, en se refroidissant jusqu'à 20°, laisse dégager 80 unités de chaleur, qui peuvent échauffer de 10°, $8 \times 4 = 32$ kilog. d'air, ou $32 : 1,3 = 24,61$ mètres cubes d'air. Aussi on emploie souvent, dans l'économie domestique, des vases pleins d'eau chaude, pour entretenir des corps à une douce température.

1619. Tous les appareils que nous avons décrits pour le chauffage à vapeur, pourraient servir de calorifères à eau chaude; pour cela il suffirait de remplir les vases ou les tuyaux d'eau bouillante, et quand cette eau serait suffisamment refroidie, de la faire écouler et de la remplacer par de l'eau chaude.

Mais on peut facilement établir dans les tuyaux une circulation continue d'eau chaude, par la différence de densité du liquide chaud, et de celui qui est refroidi. En effet, soit A, figure 1 (pl. 90), une chaudière, BCDEF un tuyau partant de la partie supérieure de la chaudière, et aboutissant par l'autre extrémité à sa partie inférieure. L'appareil étant complètement rempli d'eau, et la chaudière étant chauffée par un foyer, la chaleur se propagera dans la direction du tube BC; la colonne d'eau BC ayant alors une plus faible densité que la colonne descendante EF, le liquide contenu dans la première passera dans la seconde, et celui de la seconde rentrera dans la chaudière; le mouvement sera continu, parce que toujours la température de l'eau dans la colonne descendante sera moins élevée que dans la colonne ascendante.

1620. Il est évident que pour rendre la circulation plus active, il faut



et un tube I à trois branches horizontales H, H, H. L'eau chaude est élevée dans le réservoir A au moyen d'une pompe, et s'y maintient à une hauteur sensiblement constante au moyen du robinet à flotteur E, et du tuyau F qui sert de trop plein; l'eau chaude descend par les douze conduits annulaires, passe par les tubes D, D, dans les tuyaux H, par lesquels elle s'écoule; tandis que l'air extérieur s'élève dans les tuyaux C, C, C, s'échauffe et se répand dans les séchoirs. Ces tuyaux renferment des plaques de zinc qui s'échauffent principalement par le rayonnement des tuyaux enveloppants et qui transmettent ensuite par contact cette chaleur à l'air.

§ 8. — CHAUFFAGE DE L'AIR PAR L'EAU CHAUDE A HAUTE TEMPÉRATURE.

1635. M. Perkins a imaginé, il y a quelques années, un nouveau mode de chauffage de l'air par l'eau, qui est maintenant employé dans un grand nombre d'établissements publics d'Angleterre; ces appareils sont très-multipliés dans le Musée Britannique. Le calorifère de Perkins se compose d'un circuit de tuyaux, comme pour le chauffage à eau chaude ordinaire, mais les tuyaux n'ont qu'un petit diamètre, le vase d'expansion est exactement fermé, et enfin l'eau est portée, du moins en sortant du foyer, à une température très-élevée. Une partie du circuit est placée dans un fourneau, le reste circule dans les pièces qui doivent être chauffées, ou serpente dans des caisses ouvertes par les deux bouts, où il échauffe l'air qui doit servir au chauffage et à la ventilation.

1636. *Disposition générale des appareils.* La figure 1^{re} (pl. 92) représente la disposition la plus simple des appareils dont il est question. Le circuit *abcdefghik* est exactement fermé. A, B, C sont trois spirales à bases circulaires ou carrées formées par le tube: l'une A, est placée dans un foyer, les autres dans les pièces qui doivent être échauffées. *m* est un vase dans lequel se fait l'expansion de l'eau. *n* est un orifice pour le dégagement de l'air quand on remplit l'appareil.

1637. Dans l'appareil indiqué (fig. 2), l'eau chaude descend simultanément par quatre tubes qui forment les quatre serpentins des deux étages échauffés.

1638. La figure 3 représente un calorifère dans lequel l'eau descend par deux tubes, dont chacun parcourt deux hélices. Les hélices sont logées dans des intérieurs de cheminées.

1639. On comprend facilement les dispositions qu'il faudrait employer pour chauffer de l'air extérieur qui serait ensuite introduit dans les différentes pièces.

1640. *Dimensions des tuyaux.* Les tuyaux ont 0^m,025 de diamètre extérieur, 0,012 de diamètre intérieur, et ordinairement 4 mètres de longueur. Avec ces dimensions ils peuvent supporter une pression supérieure à 3000 atmosphères, comme il est facile de le voir au moyen de la formule (736). Les tuyaux sont essayés à la presse hydraulique sous une pression de 200 atmosphères, mais ils sont quelquefois soumis à une pression beaucoup plus grande.

1641. *Mode de jonction des tuyaux.* La figure 4 (pl. 92) représente la fermeture d'un tuyau à un des bouts. Le tuyau est taraudé et son extrémité est taillée en biseau; il est recouvert d'un écrou dont le fond est plat; en serrant fortement l'écrou, le biseau du tuyau entre dans le fer de l'écrou et forme un joint parfaitement étanche.

1642. On voit (fig. 5) la méthode qu'il faudrait employer pour fermer un orifice percé dans un vase de fer terminé par une surface plane. La partie inférieure du talon de la vis présente un biseau annulaire dont l'arête, par un fort serrage, s'applique exactement sur la surface plane du vase.

1643. Les figures 7 et 8 représentent le mode de jonction de deux tuyaux réunis bout à bout; les deux extrémités des tuyaux sont taraudées dans le même sens; le bout de l'un d'eux est plat, celui de l'autre est en biseau. On les réunit par un écrou taraudé, à gauche dans un bout, et à droite dans l'autre; en serrant l'écrou, les tuyaux ne pouvant pas tourner, tendent à se rapprocher; et par un fort serrage on obtient un joint parfait. J'ai vu des tuyaux dans lesquels le biseau de l'un d'eux avait pénétré de près de 1 millimètre dans le plan qui terminait l'autre.

1644. Un autre mode de jonction est indiqué dans les figures 9 et 10; mais il est plus compliqué, plus cher et moins solide. Les deux tuyaux sont garnis chacun d'un bourrelet, et ils sont réunis par une pièce de fer qui a extérieurement la forme de deux cônes opposés par leurs bases, contre lesquels les deux tuyaux sont fortement serrés par deux écrous à boulons qui traversent deux étriers appuyés sur les bourrelets.

1645. On voit dans la figure 11 (pl. 92) le mode de jonction d'un tube à angle droit sur un autre. La jonction a lieu au moyen d'une pièce de



ficiels. Quoique cet appareil soit maintenant complètement abandonné, et qu'il ait beaucoup de défauts, comme c'est le premier calorifère à eau chaude qui ait été employé, et qu'il renferme quelques dispositions ingénieuses qui pourraient être utiles dans d'autres circonstances, nous le décrirons avec détails. Les figures de 2 à 10 (pl. 90) représentent les différentes parties de l'appareil. Figure 2, élévation; figure 3, coupe horizontale à la hauteur du couvercle de la chaudière; figure 4, coupe verticale dans le sens des barreaux de la grille; figure 5, coupe horizontale à la hauteur du milieu de la chaudière; figure 6, coupe verticale perpendiculaire à la direction des barreaux de la grille; figure 7, élévation, sur une plus grande échelle, du registre qui ferme plus ou moins l'accès de l'air dans le foyer; figure 8, coupe transversale de ce registre; figure 9, mécanisme destiné à faire mouvoir le registre; figure 10, coupe verticale de l'ensemble de l'appareil à une petite échelle.

A, foyer circulaire placé dans la chaudière; B, grille qui le sépare du cendrier. C,C,C, tuyaux dans lesquels circule la fumée; ils sont placés dans la chaudière, au nombre de cinq, et complètement environnés d'eau. D, tubulure fixée au sommet de la chaudière, communiquant avec un tuyau vertical FG réuni à un tuyau horizontal E, auquel sont soudés des ajutages à brides, qui s'adaptent à un égal nombre de tubes; cet ensemble de tubes passe à travers la paroi de l'étuve; il traverse celle-ci sous une pente insensible, et va sortir par le côté opposé; les mêmes tubes deux fois recourbés, rentrent dans l'étuve 20 à 25 centimètres au-dessous, la traversent de nouveau pour sortir et rentrer encore; enfin, après avoir fait dans l'étuve deux ou trois circulations semblables, ils se réunissent de nouveau au dehors de l'étuve en un seul tube horizontal H, auquel est adapté un tuyau qui descend latéralement et pénètre dans la chaudière par sa partie inférieure. Ce tuyau pourrait entrer dans la chaudière par sa partie supérieure, et cette disposition est même plus commode pour placer et démonter le calorifère; mais dans ce cas, il serait convenable de faire descendre le tuyau assez près du fond, d'interposer une capsule en cuivre, fixée par trois attaches, afin que l'eau échauffée ne se dirigeât pas vers cet orifice, ce qui ralentirait le mouvement de l'eau; enfin, il serait utile de souder à ce tuyau, autour de toute la partie plongée dans la chaudière, une double enveloppe pleine d'air, qui empêchât que l'eau descendante ne fût échauffée en passant dans la chaudière, circons-

tance qui diminuerait la vitesse de circulation. Un tube ouvert K, placé au-dessus du point le plus élevé du tuyau FG, sert de dégagement à l'air contenu dans l'eau; un autre tube L, adapté à l'une des parties inférieures du circuit, mais qui dépasse celles qui sont les plus élevées, est surmonté d'un entonnoir par lequel on remplit l'appareil. *s* (fig. 7 et 8), registre à bascule contenu dans une boîte formant saillie à l'extérieur de l'appareil; ce registre mobile autour d'un axe *u*, est mû par la tringle *v. x*, tige en fer dont le bout inférieur s'engage dans l'écrou de cuivre *t*, fixé au fond du tuyau de plomb enveloppant *y*. L'extrémité supérieure de la tige *x* est garnie d'une rondelle en cuivre *z* sur laquelle vient battre le talon *a'* du levier coudé *b'*, qui fait mouvoir la tige *v*, et par suite le registre qui règle l'introduction de l'air dans le foyer. Le régulateur est, comme on voit, fondé sur l'inégale dilatation du plomb et du fer, qui agit en augmentant et en diminuant l'orifice d'entrée de l'air destiné à la combustion; l'appareil est plongé dans la chaudière.

1627. Je ferai sur cette disposition plusieurs observations qui me paraissent importantes. D'abord, le fourneau n'est pas construit de manière à donner un grand effet utile, le foyer a une trop grande capacité, et il est construit de manière qu'on ne puisse y brûler que du charbon de bois. Le régulateur est ingénieux, mais il est très-mal placé, car ce n'est pas l'eau qu'il faut maintenir à une température constante, mais l'air de l'étuve; par conséquent il faut à chaque instant lui fournir une quantité de chaleur égale à celle qu'il perd par les parois, et cette quantité varie avec l'heure du jour et de la nuit, et d'un jour à un autre, suivant une foule de circonstances; ainsi c'est dans l'étuve que devrait être placé le régulateur. A la vérité, l'auteur a cherché à obvier à l'inégale déperdition de chaleur de l'étuve en raccourcissant ou en allongeant la tige de fer *x*, par un mouvement de rotation qui la fait entrer plus ou moins dans l'écrou *t*. Mais cette opération exige une attention continuelle que l'on éviterait en plaçant le régulateur dans l'étuve même. On aurait d'ailleurs l'avantage de donner au tube et à la tige une plus grande hauteur, ce qui produirait une plus grande différence de dilatation, et par suite un mouvement très-sensible pour une légère différence de température. Il serait aussi plus avantageux d'employer du cuivre au lieu de plomb, pour former le tuyau du régulateur, quoique la dilatation de ce dernier métal soit plus grande, parce que le plomb étant très-ductile,



la pression exercée sur l'écrou t doit nécessairement finir par l'allonger et par rendre le régulateur inexact; et d'ailleurs la grande épaisseur du plomb rendrait très-peu sensible l'appareil qui ne serait échauffé que par l'air. Mais le régulateur à air, dont nous avons parlé (1311), serait bien préférable sous tous les rapports.

1628. Les calorifères à eau chaude présentent une particularité que nous avons déjà signalée dans certains calorifères à air chaud, et qui permet de diminuer beaucoup la longueur du circuit et de leur donner des formes beaucoup plus simples. Quand l'eau chaude en descendant, au lieu de parcourir un seul canal, se divise dans plusieurs tuyaux, quels que soient d'ailleurs leurs formes, leurs diamètres et leurs longueurs, le liquide s'écoule dans tous à la fois et avec des vitesses qui ne varient que par les frottements que le liquide y éprouve, et qui sont parfaitement égales quand les tubes sont les mêmes. Car, si l'on supposait que la vitesse fût plus petite dans un tuyau que dans tous les autres, le liquide y serait plus froid, et par suite la vitesse augmenterait. C'est d'ailleurs un fait bien constaté par l'expérience. Il résulte de là, qu'il n'y a jamais que très-peu de différence entre les températures des différentes parties de l'appareil, et que les joints ne sont pas sujets à s'altérer comme dans certains calorifères à vapeur. C'est d'après ce principe que sont construits les calorifères que nous allons décrire.

1629. Les figures 11 et 12 (pl. 90) représentent un calorifère à eau chaude, construit il y a longtemps par M. Derosne. La première est une coupe verticale, et la seconde une coupe horizontale suivant xx' . L'eau s'élève dans un canal central, et descend dans un tube annulaire, traversé par des tuyaux circulaires, ouverts par les deux bouts, qui sont parcourus par l'air extérieur. La chaudière est placée dans un fourneau, et tout l'appareil qui la surmonte dans un cylindre ouvert à ses deux extrémités, dont la partie inférieure se trouve de quelques centimètres au-dessous de l'origine des surfaces de chauffe.

1630. La figure 13 (pl. 90) est une coupe verticale; et la figure 14, une coupe horizontale d'un calorifère beaucoup plus grand, disposé d'une manière différente. L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre le système de circulation. Le tube mn est destiné à donner issue à la vapeur qui pourrait se produire.

1631. La figure 1^{re} (pl. 91) représente un appareil disposé d'une autre

manière. Les tuyaux de chauffe sont en fonte; ils font plusieurs circonvolutions horizontales dans le même plan vertical, et sont embranchés sur deux tuyaux horizontaux AA et BB, placés à la hauteur des deux extrémités de la colonne d'eau chaude. Les figures 2 et 3 représentent les dispositions d'une série verticale de tuyaux avec des jonctions à collets et à emboîtement.

1632. La figure 4 (pl. 91) représente une forme et une disposition beaucoup plus convenables pour les tuyaux horizontaux; avec une moindre circulation on en obtiendrait plus de surfaces de chauffe, et aucune veine d'air n'échapperait au contact des surfaces métalliques. En employant cette disposition, il faudrait compter toutes les surfaces extérieures comme surfaces de chauffe.

1633. La figure 5 (pl. 91) représente le calorifère à eau chaude de M. H. C. Price's, qui est employé maintenant dans un très-grand nombre d'établissements publics en Angleterre. Les surfaces de chauffe sont des caisses en fonte étroites, verticales, carrées, ayant 1 mètre de surface; elles sont en communication par deux angles opposés avec deux tuyaux horizontaux. On fait les joints en interposant entre les collets une toile en fil de fer enduite de mastic rouge; ce mode de jonction a très-bien réussi. Ces appareils, quoique entièrement dépourvus de compensateurs, ne perdent pas, et les joints n'ont jamais besoin d'être réparés. Il y a déjà de ces appareils qui sont chauffés par l'anthracite, avec alimentation continue, comme l'indique la fig. 9 (pl. 13). On regarde maintenant, en Angleterre, ces appareils, comme les meilleurs calorifères.

1634. MM. Thomas et Laurens ont construit, il y a quelques années, dans une raffinerie de sucre, un calorifère à eau chaude disposé d'une manière particulière. Ils avaient pour but d'utiliser la chaleur des eaux de condensation de deux appareils d'Howard, et de faire servir plusieurs fois la même eau à la condensation de la vapeur. On condensait par heure à peu près 900 kilogr. de vapeur, et l'eau de condensation était à 55°. Les figures 6 et 7 (pl. 91) représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil. AA est un réservoir dont le fond est garni de douze tubes en cuivre; chacun en renferme un autre, concentrique, d'un plus petit diamètre, et qui s'élève au-dessus du réservoir; à la partie inférieure, l'intervalle des tubes concentriques est fermé, et de petits tubes D, D, établissent une communication entre ces espaces annulaires



disposer l'appareil de manière que le tuyau ascendant fasse peu de contours, afin que le liquide s'y refroidisse peu, et qu'au contraire, le canal descendant présente une grande surface.

1621. On conçoit facilement que le courant descendant peut être formé de tuyaux parcourant les salles, comme dans le chauffage à vapeur; que l'eau peut séjourner dans des poêles de différentes formes; et qu'enfin les tuyaux peuvent être placés dans des caisses ouvertes par les deux bouts, où ils chauffent, ou l'air des pièces elles-mêmes, ou de l'air extérieur, qui est ensuite dirigé dans les pièces qui doivent être à la fois chauffées et ventilées.

1622. Ces différents modes de chauffage à l'eau chaude appartiennent au domaine public; le principe du chauffage par la circulation de l'eau est employé depuis très-longtemps dans les buanderies; Bonne-main en a fait le premier l'application, avant 1824, au chauffage des couvoirs artificiels; l'échauffement de l'air par son mouvement contre des tuyaux à eau chaude placés dans des caniveaux, est employé depuis longtemps en Angleterre; enfin le chauffage par des poêles à eau chaude a été décrit en 1829 dans le *Repertory of arts inventions*.

1623. Les appareils de chauffage à eau chaude exigent de plus grandes surfaces de chauffe que les calorifères à vapeur ou à fumée; les tuyaux de conduite sont d'un plus grand poids, et exercent une plus grande charge sur les planchers; et une fuite peut occasionner de graves accidents. Mais ces appareils sont d'une construction plus simple, ils exigent peu de surveillance, ils se refroidissent lentement, et par conséquent peuvent maintenir le jour et la nuit une température convenable dans les lieux échauffés, quoique leurs foyers ne soient alimentés que pendant le jour seulement. Ces appareils sont maintenant très-employés en Angleterre, et ils commencent à se répandre en France.

1624. Dans les calorifères à eau chaude, on place toujours à la partie supérieure des colonnes un vase ouvert, par lequel on introduit l'eau dans l'appareil, par lequel se dégage l'air quand on le remplit ou qu'on chauffe l'eau pour la première fois, qui sert de dégagement à la vapeur quand il s'en forme, et enfin dans lequel s'effectuent les variations de volume de l'eau. Il serait convenable de garnir ce vase d'un tube extérieur qui indiquât la hauteur du niveau de l'eau.

Lorsqu'il sera question des édifices publics, nous entrerons dans tous



les détails de construction des grands appareils de chauffage à eau chaude, ou par une circulation générale ou par des circuits partiels chauffés par la vapeur. Nous nous bornons ici à parler des calorifères à eau chaude proprement dits.

1625. Dans un calorifère à eau chaude, il faut que la hauteur des colonnes, le diamètre intérieur des tubes et leurs développements soient tels, que le volume d'eau qui passe dans les tubes ne soit pas trop petit, car l'effet produit dépend à la fois du volume de l'eau qui circule dans l'appareil et du refroidissement qu'elle éprouve; mais dans chaque cas particulier, il sera facile de reconnaître si la masse d'eau qui sort de la chaudière et qui y rentre dans un certain temps, correspond à l'étendue des surfaces de chauffe.

Supposons, par exemple, qu'on ait à fournir 60000 unités de chaleur par heure, ou $60000 : 3600 = 17$ unités par seconde. Si l'eau sort de la chaudière à 80° et y rentre à 30° , chaque litre en circulation émet 50 unités de chaleur; ainsi il suffira qu'il sorte de la chaudière par seconde $17 : 50 = 0,34$ de litre d'eau. La température de l'eau étant de 80° dans la première colonne, et de 55° dans la seconde, les densités de l'eau dans ces deux colonnes seront sensiblement dans le rapport de $1 : (1 + 80 \times 0,00046)$ à $1 : (1 + 55 \times 0,00046)$, ou de 1,025 à 1,037; par conséquent si ces colonnes ont 2 mètres de hauteur, la colonne d'eau à 80° est équivalente, sous le rapport de la pression, à une colonne d'eau à 55° de $2^m \times 1,025 : 1,037 = 1^m,97$; ainsi la hauteur motrice en eau à $55^\circ = 0^m,03$. Si on suppose que le tuyau ait $0^m,10$ de diamètre, chaque mètre courant aura $0^m,314$ de surface; et comme la surface totale du tuyau doit être de $60000 : 466 = 128$ mètres carrés, sa longueur sera de $128 : 0,314 = 406^m$. Alors le volume d'eau qui s'écoulera par seconde, sera donné par la formule

$$Q = 20,8 \sqrt{\frac{HD^3}{L + 54D}}$$

dans laquelle H est la pression en eau, D le diamètre de la conduite, et L sa longueur. En faisant dans cette formule $H = 0,3$, $D = 0,1$, et $L = 406$, on trouve $Q = 0,00056$, ou 0,56 litres. Ainsi la vitesse de circulation sera suffisante.

1626. Nous avons déjà dit que Bonnemain fit le premier l'application des calorifères à eau chaude au chauffage des couvoirs arti-



fer intermédiaire sur laquelle le premier et les deux branches du dernier sont fixés par le moyen indiqué figure 4.

La figure 12 représente le mode de jonction employé pour réunir deux tuyaux parallèles. Les deux tuyaux communiquent par une pièce de fer doublement conique, sur laquelle ils sont fortement serrés par un étrier garni de boulons.

1646. *Vase d'expansion.* Ce tube, court et d'un plus grand diamètre que les tubes de circulation, est placé à la partie la plus élevée du circuit. Sa capacité doit être au moins des 0,15 de la capacité totale des tubes. A côté du tube d'expansion se trouve un tube d'une moindre hauteur, destiné à faire écouler l'air quand on remplit l'appareil d'eau. Les orifices du vase d'expansion et du tube à air se ferment par la disposition indiquée figure 4.

1647. *Remplissage de l'appareil.* On pourrait remplir l'appareil en versant simplement de l'eau par le tube d'expansion, le tube à air étant ouvert. Mais comme les tubes n'ont qu'un très-petit diamètre, il serait à craindre qu'il ne restât de l'air dans l'appareil, circonstance qui l'empêcherait de marcher et qui pourrait produire de graves accidents. On opère généralement le remplissage au moyen d'une pompe foulante, qui sert ensuite à essayer l'appareil sous une pression d'au moins 200 atmosphères. On introduit longtemps par le tube d'expansion ou par le tube à air, de l'eau qui sort par celui des deux orifices qui reste ouvert.

1648. *Robinets.* Lorsque la partie du circuit qui descend du sommet de la colonne ascendante, renferme plusieurs branches, l'eau circule simultanément dans toutes, comme nous l'avons déjà remarqué plusieurs fois, et tous les calorifères partiels sont chauffés. On a essayé différentes dispositions pour arrêter le mouvement de l'eau dans un ou plusieurs de ces tuyaux, mais on n'a rien obtenu de satisfaisant. On trouve dans l'ouvrage anglais de M. C. J. Richardson la disposition représentée par les figures 13 et 14, pour établir à volonté la circulation dans deux des trois tuyaux A, B et C, au moyen d'un piston dont la tige passe à travers une boîte à étoupe et qui est manœuvré par un levier. Mais cet appareil n'est pas employé; les boîtes à étoupes ne peuvent supporter ni une aussi grande pression, ni une aussi haute température. Dans tous les appareils on chauffe toujours tous les embranchements.

1649. *Fourneaux*. On a reconnu par expérience que la longueur des tubes renfermés dans le foyer devait être à peu près un sixième de la longueur totale du circuit. Les fourneaux sont disposés de différentes manières. Dans la figure 3 (pl. 92), les tubes sont contournés en hélice à base carrée; la flamme, à la sortie du foyer, parcourt la moitié des tubes en montant, et l'autre en descendant; une petite murette verticale dirige ce mouvement. Dans la figure 4 (pl. 42) les tubes sont divisés par couches horizontales; une d'elles sert de grille; les autres, placées au-dessous de la seconde, sont traversées par la flamme en descendant; dans cette dernière disposition, le mouvement de l'eau chaude doit être en sens contraire de celui de l'air brûlé.

1650. Les figures 15, 16 et 17 (pl. 92) représentent le fourneau employé dans les calorifères du Musée Britannique. La figure 15 est une perspective de l'appareil, en supposant qu'on ait enlevé le mur de devant. La figure 16 est une coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 17); et la figure 17 une coupe suivant la ligne yy' (fig. 16). Le foyer est alimenté par la partie supérieure; l'air brûlé parcourt un canal qui fait le tour du foyer et dans lequel circulent les tubes.

1651. Dans les appareils qui existent en Angleterre, la température des tuyaux, à la partie supérieure du circuit, est ordinairement de 300 à 400° Fahrenheit, à peu près de 150 à 200° centigrades; à la partie inférieure de la colonne descendante, près du foyer, elle n'est que de 60 à 70° centigr. Ces températures correspondent à des pressions de 4 à 15 atmosphères seulement. Mais comme dans le foyer les tubes sont portés au rouge, les pressions intérieures peuvent devenir beaucoup plus considérables; si l'eau atteignait la température du rouge obscur qui correspond à peu près à 500°, d'après la formule citée (44), la pression s'élèverait à 857 atmosphères.

1652. Malgré tous les soins apportés dans la fabrication des appareils et les essais sous des pressions incomparablement supérieures à celles qu'ils supportent habituellement, il paraît qu'ils perdent toujours un peu; car, d'après les renseignements recueillis près de M. Perkins lui-même, il faut ajouter tous les huit ou dix jours, à peu près un demi-litre d'eau dans les grands appareils. On ne sait pas d'où proviennent ces pertes, car on n'aperçoit aucune fuite.

1653. On ne donne jamais aux tubes un développement total qui ex-



cède 150 à 200 mètres, afin que la circulation s'établisse convenablement, à moins qu'il n'y ait plusieurs embranchements et que la hauteur de l'appareil ne soit considérable. Dans le Musée Britannique, toutes les circulations sont simples; mais un fourneau sert pour deux appareils. L'année dernière il y avait 18 fourneaux, et 36 circuits, qui ont coûté 90,000 francs.

1654. En Angleterre, on compte deux pieds de longueur de tuyaux pour échauffer 100 pieds cubes de capacité, ce qui revient à peu près à 0^m,05 de surface de chauffe pour 4 mètres cubes, ou à 1 mètre carré pour 80 mètres cubes. MM. Gandillot établissent ces calorifères à raison de 9 francs le mètre courant de tubes, tout compris. Nous reviendrons plus tard sur ce mode de chauffage en parlant du chauffage et de la ventilation des habitations.

CHAPITRE XIV.

CHAUFFAGE DES LIQUIDES.

1655. Les liquides peuvent être échauffés, directement, par circulation, et par la vapeur. Nous examinerons successivement le chauffage direct des liquides, le chauffage de l'eau des bains, les appareils de lessivage, le chauffage des liquides par la vapeur, et les appareils culinaires. Cet ordre nous permettra de passer en revue tous les modes de chauffage, et de réunir ceux qui appartiennent à une grande industrie. Dans le dernier paragraphe, nous parlerons de quelques appareils qui à la rigueur auraient pu être placés dans le chapitre suivant, mais qu'il nous a paru plus convenable de ne pas séparer de la classe à laquelle ils appartiennent réellement.

§ 1^{er}. — CHAUFFAGE DIRECT DES LIQUIDES.

1656. Nous rappellerons d'abord quelques principes que nous avons déjà énoncés. Lorsqu'un liquide est renfermé dans un vase, on peut l'échauffer directement en le plaçant sur un foyer et en faisant circuler la fumée autour des parois du vase. Si la circulation avait lieu seulement autour des parois et au-dessus du vase, l'échauffement du liquide se ferait avec une très-grande difficulté, car ces corps sont très-mauvais conducteurs de la chaleur et ne s'échauffent réellement que par les mouvements que la chaleur y produit. Quand la chaleur est appliquée à la partie inférieure du vase, les couches liquides qui sont immédiatement en contact avec le fond du vase et qui s'échauffent directement, deviennent spécifiquement plus légères que celles qui sont au-dessus, s'élèvent et sont remplacées par d'autres qui, après s'être échauffées, s'élèvent à leur tour.



Il en est évidemment de l'échauffement des liquides comme de la vaporisation, la capacité des vases n'a aucune influence sur l'emploi utile du combustible, c'est uniquement la surface de la chaudière qui transmet la chaleur; par conséquent, cet élément est le seul qui doit être calculé de manière à enlever à l'air chaud la plus grande quantité possible de chaleur.

1657. Pour déterminer l'étendue de la surface de chauffe, on peut se servir des mêmes données que pour la vaporisation, c'est-à-dire estimer que la quantité de chaleur que transmet un mètre carré de surface, est équivalente à celle qui vaporiserait de 15 à 20 kilogr. d'eau par heure. A la vérité, dans le cas dont il s'agit, si la température que doit acquérir le liquide était de beaucoup au-dessous de 100°, la quantité de chaleur qui passerait à travers une même étendue de la surface de la chaudière serait plus grande que si cette chaleur devait être employée à la vaporisation, car nous avons vu que la chaleur qui traverse le métal est sensiblement proportionnelle à la différence entre la température moyenne de l'air chaud et celle du liquide, mais l'accroissement de cette différence est peu considérable, et d'ailleurs il vaut mieux avoir un excès de surface. Ainsi on prendra 1 mètre carré de surface de chauffe pour 3 à 4 kilogr. de houille ou 6 à 8 kilogr. de bois à brûler par heure.

1658. La surface de la grille, la section des carneaux et celle de la cheminée se calculeront comme pour les chaudières à vapeur.

1659. Quand le liquide que l'on doit échauffer est volatil, il est important de fermer exactement la chaudière, ou du moins de la couvrir de manière que l'air qui est au-dessus du liquide ne se renouvelle pas facilement; parce que l'évaporation qui aurait lieu absorbant une grande quantité de chaleur, l'effet utile du combustible serait diminué, et l'échauffement du liquide serait retardé. Il pourrait même arriver, si l'étendue de la surface du liquide était très-grande, relativement à la quantité de combustible brûlée dans le foyer, que la température du liquide ne pût pas dépasser une certaine limite.

1660. Tous les appareils que nous avons indiqués pour la vaporisation peuvent servir à l'échauffement des liquides; mais on emploie toujours pour ce dernier objet les appareils les plus simples.

1661. Il est important de remarquer que dans le chauffage des liquides on peut utiliser presque complètement la chaleur dégagée, en



produisant le tirage par la chaleur avant ou pendant le chauffage du liquide, ou par une action mécanique.

1662. Dans quelques cas particuliers, les appareils destinés à chauffer les liquides sont cependant disposés de manière à satisfaire à certaines conditions particulières. Nous en donnerons quelques exemples. Dans les raffineries de sucre, il faut chauffer rapidement l'eau dans laquelle on fait dissoudre le sucre brut, et il faut arrêter le feu quand sa température approche de celle de l'ébullition. Lorsque le chauffage n'a pas lieu par la vapeur, on emploie l'appareil représenté par les figures 7, 8 et 9 (pl. 96); le foyer est très-grand, la flamme se répand uniformément sur le fond de la chaudière pour gagner un canal annulaire qui communique avec la cheminée; on éteint le feu en retirant le combustible qui couvre la grille. Dans les fabriques de crème de tartre, les chaudières dans lesquelles on dissout le tartre brut pour le faire cristalliser et le séparer des matières insolubles qu'il renferme, doivent être coniques, afin que les dépôts se rassemblent facilement dans un petit espace, et les appareils doivent être construits de manière que leur refroidissement soit très-lent. Les chaudières sont alors disposées comme l'indiquent les figures 5 et 6 (pl. 49).

§ 2. — CHAUFFAGE DE L'EAU DES BAINS.

1663. Dans tous les cas particuliers qui peuvent se présenter, le calcul de la quantité de chaleur qu'il faut produire dans une heure est facile à faire. Une baignoire ordinaire contient environ de 280 à 300 kilogr. d'eau; en supposant l'eau à 0°, la température du bain de 30°, et 20 bains par heure, la quantité de chaleur à fournir à l'eau dans une heure sera de $6000 \times 30 = 180000$ unités, et la quantité de houille à brûler sera au plus de 30 kilog.; et comme on ne chauffe qu'une partie seulement de l'eau à une température de 70 à 80°, le volume d'eau à chauffer par heure sera à peu près de 2250 litres. Si on employait des chaudières analogues à celles qui sont destinées à produire de la vapeur à basse pression, tous les détails de construction seraient les mêmes, et toutes les dimensions des chaudières et des fourneaux se détermineraient de la même manière. Les chaudières devraient être placées au-dessus des salles de bain; le contraire ne pourrait avoir lieu qu'autant que l'on porterait la tempé-



rature de l'eau au-dessus de 100° dans les chaudières, et que l'on se servirait de la pression de la vapeur pour faire monter l'eau; mais cette disposition n'est jamais employée, parce que l'appareil serait trop compliqué et qu'il exigerait trop de soin et trop de surveillance; l'eau est toujours élevée au-dessus des bains par des pompes mues par des chevaux attelés à un manège, ou par d'autres moyens que nous indiquerons et qui coûtent infiniment moins.

1664. Voici quelques renseignements recueillis dans un des principaux établissements de bains de Paris, non situé sur la Seine, et où l'eau est chauffée dans des chaudières disposées comme l'indiquent les figures 1^{re} et 2 (pl. 94). Chaque bain renferme 280 litres d'eau. La température moyenne des bains est de 30° en hiver, et de 28° en été. L'établissement donne par jour 80 à 100 bains en hiver, 180 à 200 en été. En 1822 on a donné 35796 bains, pour lesquels on a brûlé 318 voies de bois pelard de 750 kilogr., à 30 francs; en ajoutant au prix d'achat, 445 francs de frais de voiture et de transport, la dépense totale de combustible s'est élevée à 9,985 francs, et pour chaque bain à 0^f,28. Depuis on a remplacé le bois par la houille, dont la voie de 15 hectolitres ras et pesant de 1000 à 1200 kilogr. a été payée 58^f,20, et le prix moyen du bain, déduit de la consommation de trois années et de 170000 bains, a été réduit à 0^f,186.

1665. Dans les établissements des bains Vigier, situés sur la Seine, on emploie un système de chauffage beaucoup plus avantageux : la totalité de la chaleur produite par le combustible est utilisée. L'appareil se compose d'une chaudière rectangulaire en tôle à deux foyers, et traversée par des tuyaux parcourus par la fumée. L'air brûlé s'élève ensuite dans des cheminées verticales qui communiquent à volonté avec un système de petits tuyaux horizontaux placés dans le réservoir d'eau froide; à l'autre extrémité de ces petits tuyaux, se trouve un ventilateur à force centrifuge, mis en mouvement par un ouvrier, et qui produit le tirage nécessaire à la combustion quand on fait passer l'air brûlé à travers le réservoir d'eau froide.

La planche 93 représente les différentes parties de l'appareil. La fig. 1^{re} est une élévation du fourneau du côté des portes des foyers; la figure 2, une coupe longitudinale du fourneau; la figure 3, une coupe longitudinale du réservoir d'eau froide; la figure 4, une coupe transversale de ce même réservoir; et la figure 5, une projection horizontale de l'ex-



trémité de ce réservoir et du ventilateur. A,A, foyers; l'air brûlé parcourt d'abord la chaudière dans toute sa longueur, et seulement dans la moitié de sa largeur, il revient en avant en suivant l'autre moitié dans un canal A', et parcourt ensuite deux canaux intérieurs B et C. D,D, cheminées en tôle par lesquelles l'air brûlé peut se dégager librement ou s'introduire dans le canal commun E. F, boîte en tôle, fixée à une des extrémités du réservoir d'eau froide, où viennent aboutir le tuyau E et douze tuyaux de cuivre G, de 20 mètres de longueur, de 0^m,1 de diamètre intérieur, qui traversent le réservoir d'eau froide dans toute sa longueur. H, boîte en tôle, fixée à l'autre extrémité du réservoir d'eau froide où viennent aboutir les tuyaux G,G, et qui communique par les conduits Q,Q, avec les deux orifices du centre d'un ventilateur à force centrifuge I. K, cheminée d'écoulement du ventilateur. R, palier qui supporte l'axe de rotation. S, poulie fixée sur l'arbre. T, roue en fonte supportée par les paliers U,U, et qu'on met en mouvement par la manivelle V. LMNP, réservoir d'eau froide, garni intérieurement en plomb, et dont les parois sont maintenues de distance en distance par des tirants de fer qui ne sont pas indiqués dans la figure. *a*, volet mobile dans la porte du cendrier. *b*, flotteur plus léger que l'eau, fixé au tube *c*, qui est réuni au tube à robinet *e*, au moyen d'une boîte circulaire *d*, dont les deux joues peuvent facilement tourner autour d'un axe passant par leurs centres; par cette disposition le tuyau *e* ne donne issue qu'à l'eau qui se trouve au point le plus élevé dans la chaudière, et qui par conséquent est la plus chaude. *l, l*, registres des cheminées qu'on manœuvre par les tringles articulées *mn, mn*. La chaudière est garnie d'une enveloppe en bois destinée à diminuer son refroidissement. Les carneaux horizontaux sont garnis de plaques mobiles qui les ferment et qu'on peut facilement enlever pour les nettoyer.

Dans une expérience faite avec beaucoup de soin, on a brûlé en deux heures 0,53 stères de bois pelard pesant 200 kilogr.; on a élevé de 58°,75 la température de l'eau de la chaudière qui renfermait 7180 kilogr. d'eau, et de 8°,75 celle que contenait le réservoir, et qui avait un volume triple. Cet effet est équivalent à 7180^k d'eau élevée à 85°, ou à 20343^k.d'eau chauffée de 30°, ou à 20343:280=72 bains. Le prix du bois consommé étant de 0,53 × 17,50 = 9^f,27, le prix de revient de chaque bain est de 9,27:72 = 0^f,13. On voit, d'après les détails que nous venons



de donner, que par l'emploi du ventilateur, l'effet utile du combustible augmente environ dans le rapport de 59 à 85.

La dépense de chauffage de chaque bain aurait été plus petite encore si on avait brûlé de la houille; car en prenant seulement 7000 pour la puissance calorifique de ce combustible, et en supposant que l'hectolitre coûte 4^f,50, comme un bain exige $280 \times 30 = 8400$ unités de chaleur, le prix de chaque bain aurait été de $4,50 \cdot 8400 : (80 \cdot 7000) = 0^r,06$.

La disposition du fourneau n'est pas bonne; le foyer est trop petit, ainsi que le carneau qui le suit; il en résulte que la flamme s'éteint très-vite et qu'il se produit beaucoup de fumée; aussi les tuyaux qui traversent le réservoir d'eau froide sont promptement obstrués par une suie gluante difficile à enlever. La surface de chauffe est suffisante; car elle est de 18^m,60 pour 100 kilogr. de bois brûlé par heure, et par conséquent chaque mètre carré correspond à $100 : 18,60 = 5^k,3$ de bois. Mais toute la partie de la surface de chauffe inférieure des chaudières ne produit que très-peu d'effet. La section des cheminées est convenable.

1666. Dans les bains Vigier il y a encore un appareil destiné à élever l'eau et qui fonctionne sans dépense de combustible. C'est une machine à vapeur très-simple, dans laquelle la vapeur presse directement sur le liquide pour l'élever; elle consomme beaucoup plus de vapeur, pour produire le même effet, que les machines à piston, mais comme toute la vapeur employée pour monter le liquide sert en même temps et en totalité à l'échauffer, il est fort indifférent d'en consommer une plus ou moins grande quantité.

Les figures 3 et 4 (pl. 94) représentent la disposition la plus simple de l'appareil dont il est question. A, est un réservoir en cuivre exactement fermé; sa partie inférieure communique par un tube avec la partie supérieure d'un cylindre B, garni d'une soupape s'ouvrant de bas en haut et au-dessous de laquelle se trouve le tube d'aspiration. Le même vase A communique avec la partie inférieure d'un autre cylindre C, également muni d'une soupape, s'ouvrant aussi de bas en haut, et au-dessus de laquelle se trouve un tube E destiné à conduire l'eau dans le réservoir supérieur. A la partie supérieure du vase A, sont fixés deux tubes F et G, garnis des robinets *a* et *b*, qui communiquent, le premier avec le réservoir supérieur d'eau, et le second avec une chaudière à vapeur. Sur le tube F est ajusté un petit tube ouvert à son extrémité et garni d'un ro-

binet *c*. Le vase A renferme un flotteur plus léger que l'eau et d'un diamètre peu différent. *mn* est un tube de verre destiné à indiquer le niveau du liquide dans ce vase. Voici maintenant de quelle manière on fait fonctionner cet appareil. On ouvre le robinet *b* qui donne accès à la vapeur, et le robinet *c*; après quelques instants, l'air du vase A a été complètement expulsé et il se trouve remplacé par la vapeur; alors on ferme les robinets *b* et *c*, et on ouvre pendant quelques secondes le robinet *a*; la vapeur se condense, et le vase A se remplit d'eau froide; en ouvrant ensuite le robinet *b*, l'eau est refoulée dans le canal d'ascension E. Le flotteur H a pour objet de diminuer la quantité de vapeur condensée à la surface de l'eau, en empêchant cette surface de se renouveler par l'agitation.

Cet appareil, analogue à ceux qui sont connus dans les fabriques de sucre sous le nom de *monte-jus*, exige une manœuvre assez compliquée, qu'on a cherché à éviter en faisant ouvrir les robinets par différents moyens. Manoury-d'Ectot a fait construire il y a longtemps, à l'abattoir de Grenelle, une machine dans laquelle les mouvements des robinets *a* et *b* étaient produits par les variations de dilatation qu'éprouvaient deux tiges, l'une de fer, l'autre de cuivre, placées dans l'intérieur du vase, lorsqu'il était plein de vapeur ou d'eau froide. L'appareil était disposé comme celui que nous venons de décrire; un tube de fer était fixé sur les bords d'un orifice percé à la partie inférieure du vase, et s'élevait, près de sa paroi, jusqu'à son sommet; il renfermait une tringle de cuivre plus longue, fixée à sa partie supérieure, et qui dépassait l'extrémité inférieure, en sortant du vase; l'extrémité libre de la tringle de cuivre agissait à l'aide de plusieurs leviers sur les clefs des robinets à eau et à vapeur, de manière à les ouvrir et à les fermer aux époques convenables. J'ai vu marcher cet appareil; il fonctionnait, mais avec embarras, et exigeait beaucoup de surveillance. Depuis, M. Gengembre a construit dans les bains Vigier d'autres appareils qui marchent parfaitement depuis plus de quinze ans, et dont on est si satisfait, que la direction des bains en fait construire de nouveaux exactement sur le modèle des anciens et sans aucune modification.

Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 (pl. 94), donnent une idée exacte de cette machine. La fig. 5 est une élévation; la fig. 6, le plan; la fig. 7, une coupe verticale perpendiculaire à l'élévation; les fig. 8 et 9 re-



présentent l'appareil d'alimentation sur une plus grande échelle.

La machine se compose d'un cylindre en fonte A, portant à sa partie supérieure deux tubulures, diamétralement opposées, qui se terminent par des brides horizontales; sur la bride de la première B, est placée une chapelle C, communiquant avec la chaudière, et dans laquelle se trouve une soupape qui s'ouvre de bas en haut; cette soupape porte sur sa tige un poids D, qui la maintient fermée quand elle est abandonnée à elle-même; sur l'autre bride E, est fixée une autre chapelle F, dans laquelle se trouve aussi une soupape, mais qui s'ouvre de haut en bas; la partie supérieure de cette chapelle communique par un tube avec le réservoir G, et la partie inférieure avec le vase en cuivre H (fig. 7), percé d'un grand nombre de petits trous.

Le cylindre A est fermé à sa partie supérieure par un couvercle en fonte I, et fixé à sa partie inférieure sur le socle en fonte J, qui porte sur le côté, un tuyau M, garni d'une chapelle K, dans laquelle se trouve une soupape L, que son poids maintient fermée; cette chapelle a une tubulure latérale, sur laquelle est fixé le tube vertical en zinc N, qui se termine par les deux tubes P et Q. La tubulure M reçoit un tuyau vertical qui descend au-dessous du niveau des plus basses eaux de la Seine, et qui est terminé par une soupape qui s'ouvre de bas en haut. Le socle en fonte J porte encore deux pattes sur lesquelles sont fixés les deux corps de pompe O et O'.

La partie extérieure du cylindre est garnie d'une pièce de fonte S, sur laquelle est ajusté un balancier T, portant à ses extrémités des crochets en acier U; à cette même pièce S, se trouvent deux crochets mobiles, maintenus par des ressorts à boudin, et qui s'engagent dans les crochets fixes que porte le balancier T; enfin, aux extrémités de la pièce S, se trouvent deux coussinets en cuivre V, V, qui servent de guides aux tiges X et Z.

Chacun des corps de pompe O, O', est parcouru par un piston fixé à une tige; la tige X supporte un vase en zinc Y, et la tige Z, ajustée à la bielle A', porte un contre-poids B'. Ces tiges, dans leur partie moyenne, sont interrompues par un cadre articulé à ses extrémités, dont les vides reçoivent des tenons fixés aux extrémités du balancier T.

Le vase Y est percé au fond, d'un trou circulaire sur lequel repose la soupape C'. La tige de cette soupape traverse un guide fixe D' et porte à son extrémité un arrêt E', qui soulève la soupape quand il rencontre le

guide. Au-dessous de l'orifice se trouve un canal rectangulaire qui se prolonge au-dessus du réservoir G.

Tout le reste de l'appareil est destiné à l'alimentation régulière de la chaudière. R' est un cylindre vertical, communiquant par sa partie inférieure avec le vase A, et renfermant une soupape qui s'ouvre par une pression dirigée de bas en haut. A la partie supérieure du cylindre se trouvent deux tubes S' et T', qui débouchent, le premier dans la boîte d'alimentation, le second dans la cuve G, mais après s'être élevé à une hauteur plus grande que la boîte d'alimentation. La boîte d'alimentation, fig. 8 et 9, se compose d'une caisse en fonte I', sur laquelle est fixée une chapelle K', ayant une tubulure à laquelle aboutit le tube S', et un orifice inférieur fermé par la soupape L', dont la tige sort de la chapelle à travers une boîte à étoupe; à l'autre extrémité de la boîte I' se trouve un orifice qui communique par un tube avec la chaudière, et qui est fermé par une soupape M' dont la tige sort de la caisse à travers une boîte à étoupe. Les deux soupapes sont maintenues fermées par des ressorts à boudins; mais un balancier N', en agissant successivement sur la tige de chacune d'elles, les ouvre alternativement. L'axe du levier N' est fixé à l'axe P', et ce dernier est articulé à l'extrémité de la tige Z.

Voici maintenant comment agit cette machine. Supposons le cylindre A, plein d'eau; la soupape C est soulevée par le curseur G' qui agit sur la tringle H'; alors la vapeur s'introduit dans le cylindre A, et la pression qu'elle exerce ferme la soupape d'aspiration, ouvre la soupape L et fait monter l'eau dans le tube N, d'où elle s'écoule simultanément par les tuyaux P et Q, dans les vases G et Y; lorsque ce dernier est rempli, ce qui arrive quand le cylindre A est vide, il devient plus pesant que le contre-poids B', et dans sa chute il entraîne la tige X et fait monter la tige Z; quand le vase Y est descendu d'une hauteur égale à D' E', l'arrêt E' retenu par le guide D' ouvre la soupape C', et l'eau qui remplissait le vase Y s'écoule dans le réservoir G; pendant l'ascension de la tige Z, le curseur G' cesse d'appuyer sur le levier H', la soupape C se ferme, et la vapeur cesse de s'introduire dans le cylindre A; alors celle qui le remplit se condense en partie par le refroidissement de l'enveloppe, la soupape F s'ouvre; et une certaine quantité d'eau du réservoir G arrive dans la boîte H, et



achève la condensation de la vapeur; en même temps la soupape L se ferme, celle d'aspiration s'ouvre, et le cylindre A se remplit d'eau. Pendant ce temps le réservoir Y s'est vidé complètement; le contre-poids B' le fait remonter; la tige Z, en descendant, ouvre la soupape C, et les mêmes phénomènes se reproduisent. Les crochets U servent à maintenir le balancier T dans sa position, tant que la différence des poids du vase Y et du contre-poids B' ne dépasse pas une certaine limite. Les deux corps de pompe O, O', renferment de l'air qui par sa compression amortit les chocs qui se produisaient à chaque ascension et à chaque descente du vase Y.

Quant à l'alimentation de la chaudière, voici comment elle s'effectue. Quand l'eau, pressée par la vapeur, descend dans le cylindre A, une certaine quantité passe dans le cylindre R', et de là dans les capacités K' et I', la soupape L' étant ouverte; et quand la tige Z descend, la soupape L' se ferme, la soupape M' s'ouvre, et l'eau s'écoule dans la chaudière.

1667. On pourrait aussi élever l'eau au moyen d'une machine à vapeur à piston à haute pression, sans condensation; en employant ensuite la vapeur à chauffer l'eau, le travail ne coûterait rien; mais si la condensation avait lieu directement, la vapeur serait salie par la graisse des pistons et pourrait donner à l'eau une mauvaise odeur.

1668. Le travail dépensé pour produire le tirage dans l'appareil de chauffage des bains Vigier, pourrait être remplacé par une injection de vapeur à haute pression à l'origine des tuyaux G, G, fig. 3 (pl. 93); la chaleur de la vapeur passerait, au moins en grande partie, dans le réservoir d'eau froide; mais il faudrait pour cela une petite chaudière à haute pression. Ce mode de tirage ne serait employé utilement qu'autant que l'on élèverait l'eau par une machine à vapeur à haute pression, avec ou sans détente, mais sans condensation, et qu'on emploierait ensuite la vapeur au chauffage de l'eau.

1669. Mais on peut éviter complètement l'usage des moyens mécaniques pour produire le tirage, en l'effectuant avant ou pendant le chauffage de l'eau, c'est-à-dire, en plaçant la cheminée avant la chaudière, immédiatement au-dessus du foyer, ou en faisant monter de suite l'air chaud dans des tuyaux verticaux placés dans la chaudière.

1670. Les fig. 1, 2 et 3 (pl. 95) représentent un appareil dans lequel le tirage a lieu avant le chauffage; l'air brûlé en sortant du foyer s'élève verticalement à une hauteur de 3^m dans un canal environné d'eau, mais dans lequel il éprouve peu de refroidissement, et arrive dans une caisse placée à l'extrémité du réservoir d'eau, d'où il s'échappe par un grand nombre de tuyaux horizontaux aboutissant à une caisse semblable placée à l'autre extrémité du réservoir et qui communique à la cheminée. Dans les figures on a supposé deux foyers et deux colonnes ascendantes. Par cette disposition l'air brûlé peut être abandonné à une température très-basse; mais il faudrait faire passer la fumée successivement à travers deux réservoirs distincts, afin que la température de l'eau contenue dans le premier fût suffisamment élevée. Il faudrait aussi donner à la cheminée d'écoulement de l'air brûlé dans l'atmosphère une grande section, afin d'utiliser comme tirage la faible température de la fumée à la sortie des appareils de chauffage. On pourrait aussi changer complètement la disposition des surfaces de chauffe; mais il faudrait toujours employer au moins 1^m,50 de surface de chauffe par kilog. de houille à brûler par heure.

1671. MM. Thomas et Laurens ont employé dans un établissement de bains de Paris, une disposition beaucoup plus simple et qui produit à peu près le même effet. Elle est représentée dans les fig. 10, 11 et 12 (pl. 94). La première est une coupe verticale faite par le milieu de la chaudière et du foyer; la seconde, une coupe verticale suivant xx' ; et la dernière, une coupe horizontale par le plan yy' .

Cet appareil se compose d'une chaudière cylindrique horizontale, réunie, par une de ses extrémités, à une autre chaudière verticale de 3^m de hauteur, renfermant neuf tubes verticaux en cuivre, fixés à la méthode des tubes des chaudières des locomotives et complètement ouverts par les deux bouts. La maçonnerie est disposée de manière que l'air brûlé embrasse les deux parties de la chaudière et qu'il puisse s'élever simultanément par les tubes intérieurs. A l'extrémité supérieure de la chaudière se trouve un entonnoir renversé en tôle, destiné à conduire l'air brûlé dans la cheminée; on l'enlève pour nettoyer les carneaux. Un réservoir placé à côté, contient de l'eau qui est chauffée par circulation. L'appareil renferme 16^m carrés de surface de chauffe, et peut brûler 10 kilog. de houille à l'heure; l'air brûlé s'échappe à la partie supérieure à une



température de 50 à 60 degrés; le tirage est très-bon, même quand le cône qui surmonte le fourneau est enlevé.

Cette disposition, sous le rapport du peu d'étendue des surfaces de chauffe, de la simplicité de l'appareil et de l'effet utile produit, est supérieure aux autres et me paraît devoir être préférée.

1672. On pourrait obtenir en outre, dans les établissements de bains, une très-grande économie dans les frais de chauffage, en faisant écouler les eaux des bains dans de longs tuyaux, enveloppés d'autres tuyaux d'un plus grand diamètre, qui amèneraient l'eau froide, mais dans une direction opposée à celle de l'écoulement des eaux sales; on diminuerait certainement ainsi de beaucoup les frais de chauffage.

1673. On emploie aussi pour le chauffage des bains, des réservoirs en bois, avec des foyers et des circulations intérieurs. Les fig. 4 et 5 (pl. 95) représentent un de ces appareils. Un appareil analogue a été construit il y a quelques années par M. René Duvoir, dans un grand établissement de Paris, qui porte de l'eau chaude à domicile. La cuve a plus de 7^m de hauteur. Ces appareils perdent toujours, ils n'ont aucun avantage réel, et doivent être complètement rejetés. Pour chauffer de grandes masses d'eau à une température peu élevée, il est plus avantageux d'employer le chauffage par circulation, au moyen d'une chaudière placée à côté.

§ 3. — APPAREILS DE LESSIVAGE.

1674. Le blanchissage du linge n'est point exécuté dans de grands établissements, les soins minutieux qu'exigent les opérations ne le permettent pas; aussi tous les grands établissements de blanchissage qui se sont formés jusqu'ici sont tombés. Partout le blanchissage se fait dans les maisons particulières à des époques plus ou moins éloignées, ou chez de petits industriels dont le travail ne s'exerce jamais sur une grande échelle. Mais l'opération de blanchissage n'en est pas moins d'une grande importance, car elle coûte en France plusieurs centaines de millions, et par conséquent on ne doit négliger aucune des améliorations dont elle est susceptible.

1675. Le blanchissage s'effectue par plusieurs opérations distinctes. 1^o *L'essangeage* : c'est le lavage du linge sale dans une eau claire et courante afin d'enlever les matières solubles dans l'eau. 2^o *L'encuvage* : en-



tassement du linge essangé dans un cuvier, sur un fond mobile et percé de trous, en plaçant à la partie inférieure le linge le plus gros et le plus sale. 3° *Le coulage* : cette opération consiste à faire passer de la lessive provenant des cendres de bois, ou de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre du sous-carbonate de soude ou de potasse, à travers le linge entassé dans la cuve, d'abord à froid et ensuite à 100°. Pour les petites cuves, le fourneau destiné à chauffer la lessive est à côté de la cuve ; on verse à la main le liquide chaud sur le linge, et on reçoit dans un baquet celui qui s'écoule pour le verser directement dans la chaudière. Le coulage dure de 18 à 20 heures. 4° *Savonnage* : cette opération a pour objet d'enlever les taches qui ont résisté au coulage. 5° *Rinçage* : lavage à l'eau claire et courante pour enlever la lessive et le savon. 6° *Séchage* : il a toujours lieu spontanément par l'exposition du linge à l'air libre ou dans des greniers.

1676. En 1804, Cadet de Vaux évaluait à 55 francs le prix du blanchissage de 500 livres de linge ; savoir : cendres, 10 francs ; savon, 8 francs ; bois, 15 francs ; onze journées, 22 francs. Le temps nécessaire était de 3 à 4 jours et une nuit, sans compter le temps du séchage. On estime aujourd'hui qu'à Paris le prix du blanchissage de 1500 kilogr. de linge est de 224 francs ; savoir : essangeage, 18 francs ; deux couleuses, 4 francs ; combustible, 15 francs ; alcali, 50 francs ; soixante lavandières, 120 francs ; savon, 12 francs ; eau de javelle, 5 francs ; total, 224 francs.

1677. Le procédé généralement suivi par les blanchisseurs a plusieurs graves inconvénients : 1° il exige un temps très-long, et un très-grand volume de lessive ; 2° la lessive qui repasse à travers le linge est toujours de plus en plus sale et finit par salir elle-même le linge fin ; 3° la lessive, dans la cuve, n'est jamais à 100°, et cette température est cependant nécessaire pour enlever certaines taches ; 4° il y a beaucoup de chaleur perdue, et par le rayonnement du liquide et par l'évaporation ; 5° enfin, l'évaporation concentre la lessive et peut l'amener à un degré où elle altère le linge.

1678. Curaudau a perfectionné les fourneaux ; il a imaginé de placer les cuves au-dessus des chaudières, et au centre une pompe pour monter la lessive chaude ; ces améliorations étaient déjà importantes, mais depuis, les appareils ont subi de grandes modifications. On peut maintenant les ranger en cinq classes : 1° les anciens appareils que nous venons de dé-



crire; 2° ceux dans lesquels la lessive est montée par la pression de la vapeur dans la chaudière; 3° les appareils à circulation; 4° les appareils à vapeur; 5° ceux dans lesquels le lessivage a lieu dans des roues mobiles (dash wheel). Nous ne parlerons pas de ce dernier mode de lessivage qui est trop étranger à notre objet.

1679. *Appareils dans lesquels la lessive est remontée par la pression de la vapeur qui se forme dans la chaudière.* Ces appareils ont été imaginés par M. Widmer de Jouy. Les figures 6 et 7 (pl. 95) représentent le premier qui a été construit; la cuve est montée immédiatement sur la chaudière et la ferme exactement; lorsque la pression de la vapeur est suffisante, le liquide s'élève dans la colonne centrale, se projette contre un chapeau conique qui la termine, et se disperse uniformément à la surface de la cuve. Dans cet appareil, le fourneau est mal disposé, parce que l'air brûlé gagne immédiatement la cheminée; en outre, il y a une grande évaporation à la surface de la cuve. Mais il serait facile de mieux utiliser la chaleur, d'élever les parois de la cuve, et d'abaisser le cône distributeur de manière à pouvoir fermer la cuve par un couvercle.

1680. On voit dans les figures 8 et 9 (pl. 95) l'appareil généralement employé dans les grandes blanchisseries de toiles.

1681. La figure 1^{re} (pl. 96) est une coupe verticale d'un appareil analogue aux précédents, mais dans lequel on ne fait monter la lessive que quand elle est parvenue à une certaine température; pour cela, les tuyaux d'élévation sont garnis de robinets, et la chaudière d'une soupape de sûreté, qu'on charge d'un poids correspondant à la température que doit avoir la lessive; on ouvre les robinets *m, m* quand la soupape de sûreté se soulève. Les tuyaux de retour d'eau sont munis de soupapes qu'on ouvre à volonté. Cette disposition a l'inconvénient de faire perdre beaucoup de chaleur par l'évaporation, et de produire peu d'effet malgré l'élévation de température du liquide au-dessus de 100°; car aussitôt que la lessive est exposée à l'air, l'évaporation abaisse immédiatement sa température à 100°.

1682. Ce mode de chauffage a été modifié d'une manière heureuse par M. René Duvoir. L'appareil de ce constructeur est représenté dans les figures 10 et 11 (pl. 95). A, A, fourneau; B, B', bouilleurs; C, cuvier; D, couvercle suspendu à un contre-poids E par des cordes passant sur des poulies; F, tuyau ascendant partant des bouilleurs; G, calotte qui

termine le tuyau; H, tuyau descendant ramenant l'eau dans le bouilleur; I, grille en bois sur laquelle on place le linge; LL, charpente portant les cuviers. *a*, flotteur; *b*, levier à contre-poids auquel est attachée la tige du flotteur; *c*, soupape à air; *d*, soupape pour la fermeture du tuyau descendant; *e*, couvercle du bouilleur serré par une vis. La vapeur formée dans le bouilleur presse le liquide et le fait monter par le tuyau F sous la calotte G, qui le projette sur le linge dans tous les sens. Lorsque tout le liquide est monté, le flotteur a fait ouvrir la soupape à air *c*; alors la soupape *d* s'ouvre par la pression du liquide, et la lessive qui a passé sur le linge retourne au bouilleur par le tuyau H. Aussitôt que le bouilleur est rempli, la soupape à air se ferme par l'effet de l'élévation du flotteur. L'équilibre s'établissant, la soupape *d* se ferme et les mêmes effets se reproduisent périodiquement. L'ascension du liquide a lieu toutes les heures. On emploie, avec cet appareil, pour le blanchissage de 1000 kilogr. de linge, 150 kilogr. de bois, 6 boisseaux de cendres, 3 kilogr. de soude et 9 kilogr. de savon; l'opération dure 6 heures. Une commission du comité des arts économiques de la Société d'encouragement a fait un rapport très-favorable sur cet appareil. D'après les renseignements fournis par le blanchisseur chez lequel les expériences ont été faites, l'appareil, établi depuis dix-huit mois, avait fonctionné régulièrement une fois par semaine sans aucune avarie. Il a coûté 3200^f. Il consomme un tiers seulement du combustible qu'exigeaient les anciens appareils de mêmes dimensions; le coulage dure 15 heures de moins; il faut 57 journées de laveuses au lieu de 75, 10 kilogr. de savon au lieu de 15, et enfin le linge est plus blanc. Un appareil semblable établi à l'hôpital Saint-Louis, donne exactement les mêmes résultats que celui de Couraudeau dont nous parlerons plus loin.

1683. *Chauffage par circulation.* Une disposition fondée sur ce principe est indiquée figure 2 (pl. 96). La chaudière, de même hauteur que la cuve, est placée à côté; les parties supérieures des deux vases communiquent par un tube garni d'un robinet: il en est de même des parties inférieures. En ouvrant et en fermant alternativement les robinets, on peut faire passer par intermittence dans la cuve du liquide plus chaud. La cuve est exactement fermée et entièrement pleine de liquide. La chaudière est surmontée d'un tube terminé par un vase dans lequel se fait l'expansion du liquide, et qui est garni d'un tube laté-



ral par lequel s'écoulerait le liquide dans le cas où il se formerait de la vapeur. Il serait cependant plus simple de supprimer le tube latéral en ne faisant pas plonger le tube d'expansion dans la chaudière.

1684. On peut aussi chauffer un liquide par la circulation d'un autre, comme on le voit dans la figure 10 (pl. 96). L'appareil se compose de plusieurs cuvés garnies de serpentins dont les extrémités communiquent avec la partie supérieure et avec la partie inférieure de la chaudière.

1685. *Blanchissage à la vapeur.* C'est à Chaptal qu'est due la première idée du blanchissage à la vapeur. Depuis, MM. Bosc, Roard, Cadet de Vaux et Curaudeau s'en sont beaucoup occupés. En 1804, ce dernier a publié une instruction sur le lessivage à la vapeur, en 1806 un traité, et enfin en 1809, dans les Annales des arts et manufactures, un mémoire sur le même objet.

L'appareil dont il est question consiste en un cuvier renfermant le linge mouillé de lessive, et placé au-dessus d'une chaudière; la vapeur d'eau, formée dans la chaudière, passe à travers le linge, par des jours qui résultent de nombreuses baguettes de bois placées contre la surface intérieure de la cuve, et par des tuyaux verticaux formés de lattes de bois non jointives, ouverts par le bas, et autour desquels le linge est tassé. La vapeur d'eau pénètre successivement toute la masse, en élève la température, et s'écoule condensée, avec la lessive que le linge contenait; après un certain temps, le linge se trouve presque entièrement dépouillé de lessive. Ce mode d'opération présente les mêmes avantages, sous le rapport de l'économie du temps et du combustible, que celui dans lequel le liquide est sans cesse remonté sur le linge par la pression de la vapeur; il a en outre l'avantage de ne pas faire passer sur le linge de la lessive salie, ou trop chargée d'alcali.

Les figures 3 et 4 (pl. 96) sont, la première, une élévation; la seconde, une coupe verticale de l'appareil Curaudeau.

1686. Les figures 5 et 6 représentent en élévation et en coupe, l'appareil de M. Bourgeron de Layre, qui a la plus grande analogie avec celui de Curaudeau. Nous renvoyons, pour plus de détails, au tome 38 du Bulletin de la Société d'encouragement, qui renferme un rapport très-étendu de M. Herpin, sur les appareils de lessivage.

1687. Nous décrirons plus loin (fig. 6, pl. 97) un autre appareil de

lessivage dans lequel la vapeur est employée pour chauffer la lessive et pour la faire monter dans la cuve.

§ 4. — CHAUFFAGE DES LIQUIDES PAR LA VAPEUR.

1688. Un liquide peut être chauffé au moyen de la vapeur d'eau, par deux procédés différents : 1° par la condensation de la vapeur dans le liquide lui-même ; 2° par la circulation de la vapeur dans un serpentin, ou dans tout autre appareil analogue, plongé dans le liquide.

1689. *Échauffement d'un liquide par la condensation directe de la vapeur.* Ce mode de chauffage n'est évidemment applicable que quand la condensation de la vapeur d'eau ne peut pas nuire à la nature de l'opération ; il est principalement employé pour les cuves de teinture, les cuves à papier, les bains, etc.

1690. Le calcul de la quantité de vapeur à fournir dans un temps donné, des dimensions de la chaudière, des tuyaux à vapeur et de tous les éléments des fourneaux, ne présente aucune difficulté. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'amener au bouillon dans une heure, et successivement, une série de cuves de teinture, contenant chacune 1000 litres d'eau à 0°. Lorsque l'ébullition sera déterminée, chaque kilogramme de vapeur condensée aura réellement fourni au liquide à chauffer 550 unités de chaleur, puisque l'eau provenant de la condensation reste dans le liquide. Ainsi la quantité de vapeur à fournir par heure sera de $1000 \times 100 : 550 = 181^k,80$.

1691. Le chauffage par la vapeur présente, dans les teintureries et les papeteries, un très-grand avantage sur le chauffage direct : 1° parce que chaque cuve devant être chauffée séparément, exigeait, par l'ancien système, un foyer à part, au lieu que par le nouveau, un seul suffit pour toutes, quelque nombreuses qu'elles soient ; ce qui produit une très-grande économie de combustible, car la perte de chaleur par les parois des fourneaux est proportionnelle à leur nombre ; 2° parce que l'on n'a point à craindre dans le chauffage par la vapeur, comme dans le chauffage direct, l'altération des matières qui se déposent au fond des chaudières ; 3° parce que l'on peut, avec une très-grande facilité, et par le seul mouvement d'un robinet, commencer, suspendre le chauffage, et maintenir le liquide à une température sensiblement constante ; 4° parce



qu'enfin les cuves peuvent être en bois, et disposées arbitrairement dans toutes les parties de l'atelier.

1692. L'appareil le plus simple pour chauffer un liquide par la vapeur, est celui des figures 3 et 4 (pl. 96).

1693. La disposition la plus généralement employée consiste en un tube vertical plongeant au fond de la cuve, ouvert par le bas, et communiquant par sa partie supérieure avec une chaudière à vapeur. Mais pour éviter le bruit que les condensations subites de la vapeur occasionnent par cette disposition, ainsi que les grandes oscillations de l'eau dans le tube, qui dans certaines circonstances pourraient la faire remonter des cuves jusque dans le générateur, on place au fond des cuves un tube en cuivre, différemment contourné suivant la forme des appareils, et dont les parties latérales sont percées d'un grand nombre de petits trous très-capillaires; ce tube communique extérieurement avec un autre qui amène la vapeur du générateur et qui est garni d'un robinet et ordinairement d'une petite soupape à air destinée à s'opposer au mouvement de l'eau de la cuve vers le générateur.

Les figures 1^{re} et 2 (pl. 97) représentent la disposition la plus ordinaire. AA, cuve circulaire. B, tuyau communiquant avec le générateur. C, robinet à clapet, se fermant à l'aide de la manivelle *a*. D, soupape à air. EF, tuyau latéral communiquant avec le tuyau intérieur GG, fermé par le bout, mais percé à sa partie inférieure et un peu de côté, d'un grand nombre de trous capillaires. H, robinet de vidange.

1694. Les figures 3, 4 et 5 (pl. 97) indiquent une disposition analogue appliquée à une cuve rectangulaire, destinée à passer des étoffes à la teinture.

1695. On place à l'extérieur des cuves, le tube qui amène la vapeur dans les tubes de dégagement; d'abord, parce que s'il était placé dans l'intérieur, il embarrasserait pendant les opérations; en second lieu, parce que la vapeur qui se condenserait dans ce tube, réchaufferait plus la partie du liquide environnante que le reste de la masse du liquide, et cette inégalité pourrait avoir des inconvénients dans quelques circonstances. On a remarqué que les trous de sortie de la vapeur grandissaient de près des deux tiers en deux ans; on a essayé de les remplacer par des fentes très-étroites, mais la pression de la vapeur écartait les bords, et les tuyaux étaient promptement hors de



service. Lorsque le liquide renferme des matières en suspension, et c'est ce qui arrive ordinairement pour les bains de teinture, ces matières bouchent elles-mêmes les petits orifices par lesquels la vapeur se dégage, quand la pression dans le tuyau devient plus petite que la pression de l'atmosphère, de sorte qu'elles s'opposent à l'ascension du liquide dans le tuyau à vapeur.

1696. La figure 6 (pl. 97) représente deux chaudières à lessiver les toiles, dans lesquelles la lessive est réchauffée et élevée par l'action de la vapeur. Dans le double fond de chacune des cuves, se trouve un tuyau percé de petits trous communiquant avec une chaudière à vapeur, et un tube central qui s'élève jusqu'au sommet de la cuve où il est terminé par un chapeau. Lorsque la lessive s'est écoulée dans le double fond, on ouvre les robinets à clapets et à vis *a, a*, et la vapeur arrive dans la lessive, la chauffe et la fait monter; on ferme ensuite les robinets jusqu'à ce que le liquide ait de nouveau traversé les toiles. *b, b* sont des soupapes à air; *c, c*, des soupapes par lesquelles on fait écouler la lessive à la fin de l'opération.

1697. *Chauffage des liquides à la vapeur par un contact indirect.* Ce mode de chauffage consiste à faire arriver la vapeur dans un serpentin, ou un appareil équivalent, plongé dans le liquide que l'on veut chauffer, ou dans une enveloppe extérieure. Les appareils sont exactement les mêmes que ceux que nous avons décrits en parlant de l'évaporation par le chauffage à vapeur. La seule différence consiste en ce que les chaudières doivent être presque fermées afin d'éviter l'évaporation et la perte de chaleur qu'elle occasionnerait. Lorsque le liquide doit être amené à une température supérieure à celle de l'ébullition de l'eau, la vapeur doit être employée à une pression supérieure à celle de l'atmosphère. Du reste, tous les calculs que nous avons faits pour l'évaporation sont applicables au simple chauffage; il faut seulement, pour déterminer la quantité de chaleur à fournir dans un temps donné, multiplier la chaleur spécifique du liquide par sa masse, et par l'accroissement de sa température.

§ 5. APPAREILS D'ÉCONOMIE DOMESTIQUE.

1698. Nous nous occuperons d'abord des grands appareils, de ceux qui sont destinés à préparer les aliments d'une grande réunion d'hommes, parce que l'économie du combustible devient alors importante;



ensuite nous indiquerons les petits appareils les plus remarquables.

Préparation du bouillon de viande.

1699. Dans les grands établissements, on a longtemps préparé le bouillon dans de grandes chaudières, et on a cherché à économiser le combustible en plaçant, à la suite les unes des autres, plusieurs chaudières qui étaient chauffées successivement par le courant d'air brûlé sortant du foyer; mais dans les premières, l'ébullition était trop vive, et dans les dernières, la température n'était pas assez élevée. On a imaginé ensuite de préparer le bouillon, au bain-marie d'eau mêlée de sels, pour qu'on puisse en élever la température, et enfin par le chauffage à vapeur. Mais cette question n'a été bien étudiée que depuis l'organisation à Paris d'une compagnie, ayant pour objet la préparation en grand du bouillon destiné à être vendu au détail dans un grand nombre de boutiques spéciales disséminées dans tous les quartiers de Paris. La compagnie Hollandaise, fondée depuis 1829, et qui fabrique maintenant pour sa petite clientèle et pour plusieurs établissements publics, plus de 5,000 litres de bouillon par jour, a employé successivement différents appareils. Nous décrirons sommairement les différentes phases de sa fabrication.

1700. Les conditions à remplir dans la préparation du bouillon, sont : 1° d'élever assez rapidement le liquide à une vive ébullition; 2° de maintenir ensuite le liquide pendant plusieurs heures, 5 à 6, à la température de l'ébullition, mais sans fournir plus de chaleur qu'il ne s'en perd par le refroidissement de la surface du vase qui est exposée à l'air, de manière qu'il ne se forme que peu ou point de vapeurs; 3° d'opérer dans des vases dont le volume ne dépasse pas 50 à 60 litres. La première condition est nécessaire pour coaguler l'albumine du sang, et pour clarifier le bouillon; la durée de l'action de la chaleur est nécessaire pour effectuer la cuisson de la viande; l'absence presque complète de vapeur est indispensable pour obtenir du bouillon ayant l'odeur et la saveur qu'on y recherche; quant à la dernière, elle résulte des expériences nombreuses de M. Copenhal, gérant de la compagnie Hollandaise. On conçoit facilement que s'il avait été possible d'obtenir dans de grands vases, des bouillons de même qualité que ceux qu'on prépare, avec les mêmes éléments, dans des vases d'une petite dimension, les appareils auraient été beaucoup plus simples, d'un prix

beaucoup moins élevé, d'une conduite et d'une surveillance bien plus facile, et ils auraient certainement exigé moins de combustible; ce n'est donc qu'après des essais multipliés que l'on s'est résigné à opérer sur un grand nombre de vases d'une petite dimension. L'expérience a fait connaître que leur volume ne doit pas dépasser 50 à 60 litres. Il est assez difficile d'expliquer l'influence du volume des vases sur la qualité du bouillon; on pourrait rendre compte de l'influence d'un accroissement de hauteur du vase, par un accroissement de température pour que l'ébullition partît du fond, mais pendant la cuisson, les bulles ne naissent qu'à la surface; et on ne voit rien qui puisse rendre compte de l'influence de l'accroissement des dimensions latérales.

1701. A l'origine, la compagnie Hollandaise préparait le bouillon dans 40 caléfacteurs de Lemare, contenant chacun 40 litres de bouillon, et dans des marmites de terre de 20 litres, placées chacune dans un fourneau particulier; tous ces appareils marchaient au charbon de bois. Mais la dépense qu'occasionnait l'emploi d'un combustible aussi cher, et surtout la surveillance qu'exigeaient des foyers si nombreux, engagèrent les gérants à chercher un autre mode d'opération. M. Darcet, consulté, conseilla l'emploi d'un bain-marie d'eau salée, et M. Grouvelle, ingénieur civil, fut chargé de l'exécution.

1702. Les fig. 7, 8, 9 et 10 (pl. 97) représentent l'appareil construit par M. Grouvelle. La fig. 7 est une coupe verticale, suivant la ligne xx' (fig. 9); la fig. 8 une coupe verticale suivant yy' (fig. 9); la fig. 9 une coupe horizontale suivant la ligne zz' (fig. 8); et enfin la fig. 10 représente la coupe d'une des chaudières sur une plus grande échelle. A, chaudière en tôle, servant de bain-marie, reposant sur une maçonnerie en briques et sur des barres de fer; cette chaudière est remplie aux trois quarts d'eau, renfermant du chlorure de potassium, ou du sel marin. B, marmites en fer-blanc, ayant des couvercles en fer-blanc ou en grès; elles plongent dans le bain-marie et portent, par un collet, sur les bords des orifices percés dans le couvercle de la chaudière. C, douille en tôle étamée, soudée contre les bords des orifices du couvercle du bain-marie et plongeant dans l'eau pour empêcher la vapeur de s'échapper. D, chaudière à eau, séparée du bain-marie par une cloison en tôle, et servant à chauffer l'eau destinée aux lavages. F, robinet de la chaudière du bain-marie. G, grille du foyer. H, carneau qui circule autour



de la chaudière et conduit l'air brûlé dans la cheminée en tôle I. K., registre servant à faire passer à volonté l'air brûlé dans le canal qui circule autour de la chaudière, ou directement dans la cheminée quand la température du bain est trop élevée.

Toutes les marmites sont en fer-blanc. Des tringles en fer rond, fixées horizontalement à une certaine hauteur, et sur chacune desquelles court une poulie supportant une moufle, servent à enlever les marmites. Le bain-marie renferme 250 kilog. de chlorure de potassium provenant du raffinage du salpêtre. Un tube, non indiqué dans les figures, est destiné à conduire hors de l'atelier les vapeurs qui se produisent dans le bain-marie, lorsqu'on chauffe trop vivement.

L'emploi du bain-marie pour la préparation du bouillon est très-ancien; on trouve dans le tome 18 du *Bulletin de la Société d'encouragement*, la description d'un fourneau de cuisine employé dans les casernes d'artillerie de Carlsruhe, dans lequel les aliments sont cuits par un bain-marie. L'appareil est destiné à 200 hommes; suivant l'auteur, on ne consomme que 20 livres de bois en 3 heures, pour opérer la cuisson complète des aliments contenus dans les marmites: auparavant, on en consommait huit fois plus; mais les viandes doivent être cuites séparément. Ces marmites ne servaient réellement qu'à cuire les légumes; elles étaient percées de trous à la partie supérieure pour y laisser pénétrer la vapeur du bain.

L'appareil de M. Grouvelle a bien fonctionné, et a présenté une grande économie de combustible. Par l'ancienne fabrication, avec des appareils ayant chacun leur foyer, la dépense en charbon de bois était de 18 à 20 fr. pour 600 à 700 litres de bouillon; tandis que par le nouvel appareil, 120 kilog. de houille, qui coûtent de 5 à 6 fr., suffisaient pour fabriquer 1,200 litres de bouillon.

Ce résultat était très-avantageux comparé à ceux des anciens appareils; mais il laissait encore beaucoup à désirer. En effet, la surface totale de tôle maintenue à 100° et exposée à l'air libre, produit par heure une condensation de $6 \times 19 = 114$ de vapeur, et pendant 10 heures de chauffage 1140, qui correspondent à 200 de houille; en outre, le chauffage journalier à 100° des 1200 litres de bouillon équivaut à 120000 unités de chaleur et à 120000 : 6000 = 200 de charbon. Ces deux effets réunis représentent 40 kilog. de houille. Ainsi, il y avait

120—40=80 kilog. de houille employés à réchauffer le bain-marie et à former de la vapeur. Cet appareil avait en outre l'inconvénient de chauffer inégalement les deux extrémités de la chaudière, et de ne porter à l'ébullition les marmites les plus éloignées du foyer, que lorsqu'on forçait le feu; mais alors les marmites voisines du foyer bouillaient trop fortement, et on perdait beaucoup de chaleur. Enfin la disposition des tuyaux qui enveloppaient les marmites et plongeaient dans le liquide du bain-marie, ne permettait pas de maintenir une certaine pression dans la chaudière, parce que le liquide du bain serait sorti par les intervalles de ces cylindres et des marmites.

1703. M. Rudler, ingénieur civil, a modifié cet appareil de manière à éviter les inconvénients que nous venons de signaler, et à mieux utiliser le combustible. Les principales modifications ont consisté à établir deux foyers sous la chaudière, à disposer les carneaux de manière à chauffer uniformément les marmites, à fixer les chaudières dans le bain-marie, de manière à pouvoir y établir une petite pression sans que pourtant la vapeur sortît dans l'atelier, et enfin à utiliser la vapeur qui se dégage de la dissolution saline. La pl. 98 renferme tous les détails de cet appareil. Fig. 1, coupe suivant la ligne xx' (fig. 2). Fig. 2, plan de l'appareil dans lequel les carneaux et le foyer sont indiqués en lignes ponctuées. Fig. 3, coupe verticale suivant la ligne yy' (fig. 2). Fig. 4, coupe verticale suivant zz' (fig. 2). Fig. 5 et 6, coupes verticales d'une marmite sur une plus grande échelle. Fig. 7, disposition de l'appareil destiné à condenser la vapeur qui se dégage. Fig. 8, tringles qui servent à enlever les marmites et à les mettre en place. A, chaudière de forme rectangulaire, en tôle de fer, dont l'épaisseur au fond est de 0^m,004, et sur toutes les autres parties de 0^m,003 seulement; de fortes armatures, verticales, en fer forgé, et placées dans l'intérieur, s'opposent à la déformation des deux faces horizontales. La chaudière est divisée en trois parties; celle du milieu X sert à chauffer l'eau pour les lavages; les deux autres parties renferment de l'eau salée et sont destinées à recevoir les marmites. Les dessus de ces deux dernières parties sont percés, chacun de 10 trous circulaires, dans lesquels on place les marmites. B,B,B, pièces de fonte dont les bords sont boulonnés ou rivés sur les bords des orifices de la chaudière. C,C,C, marmites en fer étamé, auxquelles sont soudés à l'étain des cercles en fer forgé, pour les soutenir sur les pièces B,B,



auxquelles elles sont fixées par des pinces en fer; entre les surfaces en contact on place un anneau en feutre ou en tresse de chanvre, afin de rendre le joint étanche et d'empêcher la vapeur du bain-marie de se dégager dans l'atelier. D,D, soupapes destinées à faire écouler ou à retenir la vapeur qui se forme dans les deux chaudières partielles. E, soupape placée dans un tuyau communiquant avec les chapelles des deux premières; elle est disposée de manière à introduire à volonté, dans l'une des chaudières, ou dans toutes les deux, l'eau provenant de la vapeur condensée dans le serpentin dont nous allons parler. La figure 7 représente deux réservoirs placés au-dessus des chaudières, dont l'un renferme un serpentin en plomb; ce réservoir étant plein d'eau froide, la vapeur qui s'échappe du bain-marie par la soupape E, arrive par le tuyau F dans le serpentin, et s'y condense en grande partie; le reste peut se rendre hors du local par le tuyau central placé dans ce même réservoir. La vapeur condensée tombe dans un autre réservoir placé au-dessous du premier; sur le côté de celui-ci, est placé un niveau d'eau à tube de verre qui indique à quel moment il faut ouvrir le robinet G placé au-dessus de la soupape E, pour laisser rentrer l'eau dans la chaudière. Quand on s'aperçoit que l'eau du réservoir dans lequel circule le serpentin est tellement chaude, qu'elle ne condense plus la vapeur formée dans la chaudière, on ouvre le robinet H, afin de la laisser écouler; on la remplace par de l'eau froide; l'eau qui sort de ce dernier réservoir sert à alimenter la chaudière intermédiaire X. I,I, foyers. J,J et K,K, registres en fonte disposés de telle manière que l'air brûlé en partant des foyers puisse prendre les chemins *abcdef*, ou *abcdghik*, selon que les registres K,K sont ouverts ou fermés. Les figures 5 et 6 représentent une coupe verticale de deux marmites sur une plus grande échelle, et la disposition employée pour les enlever. La figure 8 représente une des tringles fixées au plafond, sur lesquelles roulent des poulies mobiles qui supportent les moufles destinées à suspendre les marmites.

Voici de quelle manière on se sert de cet appareil. On introduit 500 kilog. de chlorure de potassium dans chacune des deux chaudières destinées à recevoir les marmites, et la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau, quand les marmites sont en place, s'élève à 0^m,08 du couvercle. On remplit la petite chaudière X de manière que l'eau y soit



à peu près au même niveau. Alors on allume le feu, on ferme les registres J,J, afin que la fumée suive le plus court trajet *abcdef* pour se rendre dans la cheminée, et produise un bon tirage. Quand l'eau salée est arrivée à l'ébullition, on place les marmites pleines, et on laisse les registres KK ouverts jusqu'à ce que l'ébullition soit bien établie dans les marmites; on les ferme alors, on ouvre les registres J,J, et on couvre le feu; un léger frémissement se maintient dans les marmites pendant le temps nécessaire à la cuisson de la viande. Au moyen de cet appareil on obtient 2000 litres de bouillon en brûlant moins de 100 kilog. de houille.

Ce mode de chauffage présentait pourtant encore quelques inconvénients; les vases s'altéraient assez promptement, et il s'échappait souvent de la vapeur par les joints des rebords des vases et des douilles sur lesquelles ils reposent. Ce sont ces considérations qui ont engagé l'administration à effectuer le chauffage par la vapeur à haute pression.

1704. Ce nouvel appareil a encore été construit par M. Rudler, et il est représenté dans les fig. 1, 2, 3 et 4 (pl. 99). La première est une coupe suivant *xx'* (fig. 2); la fig. 2, une projection horizontale; la fig. 3, une coupe verticale suivant la ligne brisée *yy'*, et la figure 4 une coupe d'une chaudière sur une plus grande échelle. A, générateur, dont la vapeur s'écoule par les tuyaux BCD et BC'D'. E,E,... marmites en cuivre, étamées intérieurement, au nombre de vingt, formant 2 groupes chacun de 10; elles sont garnies d'un double fond, dans lequel la vapeur pénètre par le tuyau F, et dont l'eau provenant de la vapeur condensée s'écoule par le tuyau G dans la bêche H. Les robinets I et K servent à régler l'admission de la vapeur et l'écoulement de l'eau. Chaque groupe de chaudières est renfermé dans une caisse L, fermée latéralement par des plaques de fonte. M, est un vase qui sert à alimenter les chaudières par intermittence, suivant la méthode indiquée (861). Depuis, l'appareil d'alimentation a été remplacé par une pompe mue par une petite machine à vapeur. La vapeur est constamment maintenue dans la chaudière à 2 atmosphères $\frac{1}{2}$.

Cet appareil est d'un usage très-commode, car il permet de régler à volonté et immédiatement l'activité de l'ébullition dans les chaudières; mais il consomme un peu plus de combustible que le bain-marie, et il est d'un prix beaucoup plus élevé.



Nous avons recueilli sur ces différentes méthodes de fabrication, quelques renseignements que nous croyons utile de rapporter. Par le chauffage à vapeur on écume en 15', par le chauffage à feu nu dans un temps plus long, par l'emploi du bain-marie dans un temps plus long encore. Les vases de fer-blanc s'altèrent promptement, parce que le bouillon est toujours acide; les vases de cuivre étamés sont bien préférables à ceux de fer-blanc, mais pourtant l'étamage doit être renouvelé assez fréquemment; on donne maintenant la préférence aux vases de fonte étamés. Les dépenses de combustible par le chauffage au bain-marie, à la vapeur et à feu nu, sont dans le rapport des nombres 8, 10 et 11.

1705. La préparation du bouillon sur une assez grande échelle, par exemple pour des casernes, des hôpitaux, doit être faite avec des appareils beaucoup plus simples. On pourrait employer la disposition indiquée par la figure 11 (pl. 97). L'appareil se compose d'un fourneau dont la partie supérieure est recouverte par des plaques de fonte sur lesquelles on place des marmites rectangulaires; la chaleur de la fumée est employée à chauffer de l'eau contenue dans un vase placé au bout du fourneau et dans lequel circule la fumée. Pour régulariser la chaleur transmise dans les marmites, on pourrait placer les marmites du centre sur des feuilles de tôle ou sur des briques minces. On parviendrait aussi à rendre la température de la plaque de fonte sensiblement uniforme, par la méthode que M. Rudler a employée dans les fours à sécher le tabac à fumer (pl. 63); la figure 12 (pl. 97) représente cette disposition.

Fourneaux de cuisine des grands établissements.

1706. Nous décrirons d'abord les appareils les plus remarquables des hôpitaux de Paris; nous nous occuperons ensuite de quelques petits appareils qui par leurs dispositions ou leur effet économique méritent de fixer l'attention; enfin nous examinerons les dispositions les plus convenables dans les différents cas qui peuvent se présenter.

1707. *Fourneau de cuisine de l'hôpital Saint-Louis.* Figure 1^{re} (pl. 100), élévation de l'appareil. Figure 2, plan général en supposant les chaudières enlevées. Figure 3, coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 4), Figure 4, coupe horizontale suivant la ligne yy' (fig. 3). Fig. 1^{re} (pl. 101),

coupe verticale suivant la ligne zz' (fig. 2, pl. 100). Figure 2 (pl. 101), coupe horizontale au niveau du sol. Figure 3 (pl. 101), coupe verticale suivant uu' (fig. 2, pl. 100).

A, A, plaques de fer placées au-dessus des foyers, sur lesquelles on peut chauffer les petites casseroles et où l'on fait la cuisine particulière. B, B, chaudières circulaires pour la préparation du bouillon; elles sont chauffées par des foyers particuliers dont les portes sont en dehors de la cuisine. C, chaudière à eau chaude, chauffée par les fumées de tous les foyers. D, D, D, chaudières destinées aux différents usages de la cuisine; elles sont chauffées par les foyers A, A. E, tuyau de plomb en communication avec la chaudière C, et conduisant l'eau chaude à toutes les marmites.

Les embranchements de ce tuyau sont garnis des robinets F et des douilles mobiles G; chacun d'eux sert pour deux marmites. H, four en fonte chauffé par le foyer H'. I, I, fours chauffés en dessus par l'air brûlé des foyers K, et servant à maintenir les plats chauds. L, colonne en bois portant une série de becs de gaz et un bec supérieur M environné d'un globe de verre. N, cheminée commune à tous les foyers.

La moitié seulement de l'appareil est en activité, l'autre est destinée au service lorsque la première est en réparation.

L'hôpital Saint-Louis renferme ordinairement 1000 malades; la dépense moyenne, pour le chauffage de la cuisine, est de 0^{fr},1 par malade et par jour.

1708. *Cuisine de l'hôpital de la Charité* (pl. 102). Figure 1^{re}, élévation. Figure 2, projection horizontale en supposant toutes les chaudières enlevées. Figure 3, coupe horizontale suivant la ligne xx' (fig. 1^{re}). Figure 4, coupe horizontale au niveau du sol. Figure 5, coupe verticale suivant yy' (fig. 2). Figure 6, coupe suivant la ligne zz' (fig. 3).

A, foyer. B, plaques de fer chauffées directement pour la cuisine particulière et pour les opérations qui exigent une température élevée. C, chaudières pour différents usages. D, chaudière à eau chaude. E, E', E'', fours en fonte; deux d'entre eux ont leur porte en avant, et le troisième par derrière; ils sont principalement destinés à faire les rôtis. L'air brûlé, en sortant du foyer, peut se rendre dans les espaces G, G', H, H' et K, où se trouvent les marmites C, C, C, C et D, dans tous à la fois, ou seulement dans quelques-uns; on fait passer l'air brûlé dans les espaces G et G' en ouvrant les registres e, e' ; alors l'air brûlé, après avoir circulé librement



autour des chaudières, descend sur les côtés des deux fours E et E', parcourt leurs fonds, et s'écoule par les orifices *m*, *n* dans un canal souterrain qui le mène à la cheminée. Pour faire passer l'air brûlé autour des chaudières logées dans les espaces H et H', il faut ouvrir des registres tournants, non indiqués dans les figures, et qui font sortir la fumée par les orifices *p* et *q*. Enfin, pour que l'air brûlé circule autour de la chaudière à eau chaude D, il faut faire mouvoir les deux registres tournants *f*, *f'*; alors l'air brûlé, après avoir suivi le fond de la chaudière, descend sur les faces latérales du four E'', en parcourt le fond, et s'écoule par l'orifice *r* dans le canal qui se trouve au-dessous du sol.

1709. Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 (pl. 101) représentent un fourneau de cuisine employé dans une maison d'accouchement de Paris. Dans cet appareil il y a deux foyers chauffant directement des plaques de fer, comme dans les appareils précédents. De chaque côté du grand foyer se trouvent deux grandes chaudières autour desquelles circule l'air brûlé, qui se rend ensuite sous une chaudière à eau chaude, et de là, par les canaux verticaux *a* et *b*, dans un canal souterrain qui le conduit à la cheminée. De chaque côté du petit foyer, se trouvent deux marmites, dont la fumée parcourt les surfaces avant de s'échapper par les orifices *a* et *b*. L'appareil renferme quatre fours, dont les parties supérieures sont chauffées par l'air brûlé.

1710. La figure 9 (pl. 101) est le plan du fourneau d'une maison de santé du faubourg Saint-Denis. Au delà du foyer A, qui est disposé comme dans les appareils précédents, se trouvent quatre marmites B, C, D, E, destinées à la cuisson des aliments, et une chaudière à eau chaude F. L'air brûlé, au moyen des registres *a*, *a'*, *b*, *b'*, *c*, *c'*, peut passer sous l'une quelconque ou sous toutes les marmites, et les porter à une température plus ou moins élevée. Mais les fonds seuls des marmites sont chauffés.

1711. Les figures 7, 8 et 9 (pl. 102) indiquent la disposition d'un fourneau de cuisine d'une maison de santé du faubourg Saint-Jacques. L'air brûlé, au moyen des différents registres, peut passer à volonté, ou directement sous la chaudière à eau chaude, ou de chaque côté sous une petite marmite peu profonde, puis sous une autre plus profonde, pour circuler ensuite autour de la chaudière à eau chaude. Deux fours sont placés au-dessous des petites chaudières.



1712. Les figures 13, 14 et 15 (pl. 97) représentent un fourneau de cuisine établi par M. Grouvelle à l'École normale primaire de Versailles. La figure 13 est une coupe suivant la ligne brisée $xx'x''x'''$ (fig. 14). La figure 14, une coupe verticale suivant yy' (fig. 15); et la figure 15, une coupe horizontale suivant zz' (fig. 14). A, chaudière en tôle remplie d'eau salée. B, marmites en fer-blanc plongeant dans le bain-marie et servant à faire le bouillon et à cuire les légumes. C, robinet de vidange du bain-marie. D, chaudière en cuivre à eau chaude. E, plaque de fonte placée au-dessus du foyer. F, four à cuire les viandes.

1713. Les figures 10, 11, 12, 13 et 14 (pl. 101) représentent un fourneau de cuisine de caserne construit par M. Ducel, de Lyon. Figure 10, élévation. Fig. 11, projection horizontale. Figure 12, coupe verticale suivant xx' (fig. 11). Figure 13, coupe horizontale suivant yy' (fig. 10). Figure 14, coupe verticale suivant zz' (fig. 11). L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre la marche de l'air chaud autour des marmites.

1714. M. Chauveau a exécuté chez M. Ternaux l'appareil représenté dans les figures 10, 11, 12 et 13 (pl. 102). Cet appareil est composé de quatre fours placés verticalement, dont toutes les surfaces, excepté celles de devant et de derrière, sont chauffées par l'air brûlé; les parois horizontales sont en tôle ou en fonte, mais celle du fond du premier four qui est soumise à l'action de la flamme, est en brique recouverte de tôle. Immédiatement au-dessus du foyer se trouve un bain de sable dans lequel on peut mettre une marmite. A, A, A, A, fours. B, B, B, B, portes en tôle des fours. C, foyer. D, D, D, D, circuit que parcourt l'air brûlé. E, tuyau de sortie de l'air brûlé. F, bain de sable. G, marmite. H, cendrier. I, chaudière à eau chaude.

1715. Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 (pl. 99) représentent un fourneau d'office de l'hôpital Saint-Louis. Figure 5, élévation. Figure 6, coupe longitudinale. Figure 7, projection horizontale. Figure 8, coupe transversale par le milieu du foyer. Figure 9, coupe transversale par le milieu de la dernière marmite. L'air brûlé circule autour des deux premières et seulement sous la troisième. Les intervalles qui se trouvent dans les briques rangées circulairement, a et b (fig. 6), destinées à soutenir les marmites, sont sans utilité; la circulation pourrait être beaucoup mieux disposée.

1716. On a modifié encore ces appareils d'un grand nombre de manières. Dans quelques-uns, les marmites sont placées dans des chau-



dières qui ne renferment que de l'eau, et qui communiquent librement avec l'extérieur par un tuyau ; d'autres fois, les chaudières sont pourvues d'un robinet au moyen duquel on modère l'écoulement de la vapeur et on augmente à volonté la température du bain-marie. Dans les premiers on ne parvient pas à produire dans les marmites une ébullition complète, et on ne peut pas écumer ; les derniers présentent beaucoup de danger quand ils ne sont pas pourvus d'une soupape de sûreté, et j'en ai vu qui se trouvaient dans ce cas. Enfin, dans d'autres appareils, qui sont dus à M. Léon Duvoyer, toute la masse de maçonnerie dans laquelle se fait la circulation de l'air brûlé et qui environne les marmites, est remplacée par une chaudière à eau chaude.

1717. *Fourneaux des casernes.* Dans les anciens fourneaux, un seul foyer servait à chauffer deux marmites circulaires. La flamme frappait d'abord une plaque de fonte, l'air brûlé se divisait en deux parties, chacune tournait autour d'une marmite, et les deux courants se réunissaient ensuite pour circuler autour d'une chaudière à eau chaude. Par cette disposition, les marmites ne s'échauffaient pas également, et la plaque de fonte placée au-dessus du foyer se détériorait promptement. Ces inconvénients avaient fait donner la préférence aux fourneaux ne renfermant qu'une seule marmite d'une capacité double. En 1832, M. Choumara a introduit dans la forme des marmites et dans la construction du fourneau, des modifications ingénieuses qui ont produit une grande économie de combustible. Les chaudières sont au nombre de deux ou de quatre. Dans le premier cas, elles ont chacune pour section horizontale un demi-cercle, et elles sont réunies par leurs faces planes, mais de manière qu'il y ait entre elles une distance de 0,05. Quand les chaudières sont au nombre de quatre, chacune a pour section un secteur égal à un quart de cercle, et elles sont groupées autour d'une ligne verticale, de manière que la section commune soit un cercle et que les faces planes des chaudières soient écartées les unes des autres à peu près de 0,05. Dans tous les cas, les chaudières se placent sur des croisillons en fer fixés dans le fourneau ; le foyer est au-dessous, et l'air brûlé circule autour du système avant de se rendre sous la chaudière à eau chaude et de là dans la cheminée.

Les marmites ont 40 centimètres de hauteur et une capacité de 72 litres, afin que, sans être complètement remplies, elles puissent servir à la prépa-



ration de 64 kilogr. de soupe, viande et légumes compris, ration d'une compagnie de 64 hommes.

Les marmites reposent sur un bâtis en fer, garni de pattes scellées dans la maçonnerie. Le bâtis est partagé en deux ou en quatre parties égales par une ou deux traverses qui forment les intervalles des chaudières.

Les figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 103) représentent un appareil à deux chaudières. Figure 1^{re}, coupes verticales suivant xx' (fig. 2 et 3). Figure 2, coupe horizontale suivant yy' (fig. 1). Figure 4, coupe verticale suivant zz' (fig. 2).

Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 appartiennent à un appareil à quatre chaudières. Figure 5, élévation. Figure 6, coupe verticale suivant xx' (fig. 7). Figure 7, coupe horizontale au-dessus de la grille. Figure 8, vue de la partie supérieure. Figure 9, coupe suivant yy' (fig. 7).

On simplifierait beaucoup ces dispositions en supprimant complètement toutes les pièces de fer intérieures qui sont absolument sans aucune utilité, et en ne conservant que le cadre supérieur qui soutient les bords des marmites.

Voici les résultats des expériences faites en 1829. A la caserne du Montblanc, à Paris, dans un fourneau à deux chaudières on a consommé moyennement 5^k,08 de bois par marmite, fournissant 64 kilogr. de soupe. A la caserne de l'Avé-Maria, pour la même quantité de soupe, la consommation a été seulement de 4^k,85 de bois, ou de 2^k,67 de houille. Avec les anciens appareils la consommation de houille s'élevait à 5 kilogr. Dans les fourneaux à quatre chaudières, établis à la caserne de l'Avé-Maria, la consommation de bois a été de 3^k832, et celle de houille de 2^k,208.

Dans des expériences qui avaient pour objet de déterminer la quantité de chaleur utilisée, on a introduit dans les quatre chaudières d'un fourneau, 224 litres d'eau à 14°; on les a enlevés lorsqu'ils ont été amenés à l'ébullition; alors on les a remplacés par le même volume d'eau froide qui a été chauffée à 38°, et par la braise qui restait dans le foyer et par la chaleur de la maçonnerie. La quantité de chaleur absorbée par l'eau a été de $224 \times (100 - 14) + 224 (38 - 14) = 24640$. On avait consommé 10 kilogr. de bois, et par conséquent on avait produit dans le foyer $2800 \times 10 = 28000$ unités de chaleur; ainsi l'effet utile a été de $24640 : 28000 = 0,88$.



Dans une autre expérience, faite en employant 7 kilogr. de houille et 3 kilogr. de bois, on a chauffé à l'ébullition 224 kilogr. d'eau, et on a chauffé le même volume d'eau de 11° à 65°. L'effet utile a été de 224 (100 — 11) + 224 (65 — 11) = 32032. Et comme la quantité de chaleur produite était $7 \times 7500 + 3 \times 2800 = 60900$, il s'ensuit que l'effet utile a été seulement de 0,52. La houille employée était probablement de mauvaise qualité ou elle a été mal brûlée, car ce résultat est bien inférieur au premier.

En prenant d'autres nombres pour la puissance calorifique du bois et de la houille, le capitaine Choumara conclut que ses appareils à quatre marmites utilisent les deux tiers de la chaleur produite quand on emploie de la houille, et les trois quarts quand on brûle du bois; que dans les appareils à deux marmites, pour le bois et pour la houille, l'effet utile est seulement 0,6; et que l'économie annuelle qui résulterait de l'emploi de ses appareils dans toutes les casernes de France, s'élèverait à plus de 50,000 francs.

1718. *Fourneau potager d'Harel*. La figure 14 (pl. 102) est une élévation de l'appareil. La figure 15, une coupe verticale de la marmite. La figure 16, une coupe du fourneau en supposant qu'on ait enlevé la marmite. A, porte du cendrier. B, porte du foyer. Ces portes sont de deux espèces: l'une est en terre cuite, l'autre a la forme d'une cafetière; on se sert de cette dernière pour chauffer de l'eau. CC, espace dans lequel circule la fumée avant de se rendre dans la cheminée D. E, marmite en poterie, recouverte extérieurement et à la partie inférieure d'une feuille de tôle. F, casserole en fer-blanc qui repose sur les bords de la marmite par trois oreilles. G, autre casserole qui se place sur la précédente. H, vase cylindrique en fer-blanc à double enveloppe; il renferme un diaphragme I au tiers de sa hauteur, et on le ferme par un couvercle K; ce seau repose sur les bords supérieurs de la marmite et embrasse les casseroles F et G; lorsqu'il est retourné, il n'en embrasse qu'une seule. Voici de quelle manière on emploie l'appareil que nous venons de décrire. Après avoir mis la viande et l'eau dans la marmite, on allume le feu dans le fourneau, et on fait écumer; on remplit ensuite le fourneau de charbon; on met dans les casseroles F et G les ragoûts qu'on doit préparer, et dans la partie supérieure du vase enveloppant, des pommes de terre ou d'autres légumes et de l'eau; on ferme les portes du foyer et du cendrier, et on abandonne

l'appareil à lui-même ; après quatre heures, le pot au feu, les ragoûts et les légumes sont cuits. M. Harel a imaginé une foule d'autres petits ustensiles de ménage fort ingénieux, et très-économiques, dont la notice se trouve chez lui (rue de l'Arbre-Sec, 50), mais qui sont moins utiles que son potager.

1719. M. Harel a introduit dans les fourneaux de cuisine une amélioration très-importante et qui devrait être généralement adoptée. On sait que les fourneaux des potagers sont toujours chauffés au charbon de bois, et que les gaz qui proviennent de la combustion se dégagent autour des vases placés sur le fourneau, et se répandent nécessairement dans les cuisines, quand les potagers ne sont pas placés sous un manteau de cheminée. Mais dans le cas contraire il en est encore de même, parce que les cheminées étant très-grandes, et les appels extérieurs insuffisants, il se forme toujours dans la cheminée deux courants opposés, et celui qui est dirigé de haut en bas amène dans la pièce une partie des gaz provenant de la combustion. M. Harel est parvenu à éviter cet inconvénient, en fermant les portes des cendriers et en faisant communiquer chaque fourneau par un orifice latéral (fig. 17, pl. 102) avec une cheminée en tôle ; par cette disposition, l'air qui alimente la combustion arrive sur le combustible par la partie supérieure du fourneau, et les produits de la combustion s'échappent par l'orifice latéral.

1720. *Caléfacteur de Lemare.* Cet appareil est représenté en élévation, fig. 1, et en coupe verticale, fig. 2 (pl. 104). Il est composé d'un vase cylindrique ABCD, soudé à un autre semblable A'B'C'D' concentrique, qui l'enveloppe de toute part. Au fond du vase à double enveloppe se trouve une ouverture E, fermée par un registre *m*. L'espace compris entre les deux enveloppes a trois ouvertures : l'une F, située à la partie supérieure, est destinée à introduire l'eau que cette capacité doit contenir ; une autre G, située à la partie inférieure, est garnie d'un robinet ; enfin la dernière H, est destinée à faire écouler la vapeur par un tuyau IK qu'on y adapte, lorsque l'on couvre l'appareil d'une enveloppe ouatée, ou quand on utilise la vapeur. Le vase dont nous venons de parler et qui forme le corps du fourneau, reçoit à la partie supérieure un vase concentrique M, d'un diamètre plus petit de 0^m,009, d'une moindre hauteur, et soutenu par des rebords qui s'appuient sur ceux du vase enveloppant. L'espace qui se trouve libre au-dessous du vase M, forme le



foyer; on y place un disque en tôle à rebords, dont le fond percé d'un grand nombre de trous, est soutenu par 3 petits pieds à 0^m,006 du fond du vase double. N est un vase en fer-blanc fermé par un couvercle du même métal et qu'on place sur le premier. Pour se servir de cet appareil, on commence par mettre l'eau et la viande dans le vase M, on allume le feu, et on met ce vase en place, de manière que ses bords ne s'appliquent pas exactement sur ceux de l'enveloppe, afin que l'air brûlé puisse se dégager; pour cela on a ménagé sur les rebords du vase trois petites saillies qui le maintiennent soulevé quand ils ne sont pas en regard de trois petites entailles correspondantes pratiquées sur les bords de l'enveloppe. Aussitôt que l'ébullition se manifeste, on écume; alors on tourne la marmite de manière que les saillies dont nous avons parlé entrent dans les échancrures des bords du vase; on place le vase N qui doit contenir les légumes; on ferme le registre *m*, et on couvre l'appareil de l'enveloppe ouatée PQ. Après six heures, la viande et les légumes sont cuits. On peut remplacer le vase M par deux autres demi-circulaires de même hauteur, dont l'un sert pour le pot au feu, l'autre pour faire un bœuf à la mode ou d'autres mets analogues. Pour faire des rôtis, on remplace le vase M par un four de campagne, et on met le vase M dans un autre, placé à côté, où il est chauffé par la vapeur qui s'échappe par le tuyau IK. Dans cet appareil, la chaleur nécessaire est produite par une faible combustion, alimentée par une petite quantité d'air qui passe à travers les fissures du registre *m*, et qui s'échappe par les orifices très-étroits qui restent autour des rebords de la marmite M.

Cet appareil est très-économique, car il utilise presque toute la chaleur développée par le combustible. Dans une expérience faite par M. Thénard, on a versé 13^l,5 d'eau à 22° dans le vase extérieur, et 15^l,5 à la même température dans le vase intérieur. En 3^h½ on a brûlé 918 grammes de charbon. Le vase intérieur ne renfermait plus que 13^l,69 d'eau, et le vase extérieur 9, par conséquent on avait vaporisé 6^l,31 d'eau. L'effet utile a donc été de $6,31 \times 620 = 3912$, plus $22,69 \times 78 = 1769$, ou 5681 unités; et les 918 grammes de charbon brûlé ont développé $0,918 \times 7000 = 6426$ unités; ainsi l'appareil utilise $5681:6426 = 0,88$ de la chaleur produite. Pour un pot-au-feu de 3^l de viande et de 4^l,5 d'eau, on consomme 280 grammes de charbon, dont le prix à Paris est de 0^f,05, la voie de 55^l coûtant 10 francs.



Le caléfacteur de Lemare est très-répandu, parce qu'il est très-économique et qu'il n'exige aucun soin; mais il est sujet à des accidents, car ce n'est que par des tâtonnements qu'on parvient à régler la combustion pendant la cuisson.

1721. En 1820, Lemare avait livré au commerce un grand nombre d'appareils de ménage sous le nom d'*autoclaves*, destinés à cuire les viandes à une température élevée, et par conséquent sous une grande pression. Ces appareils étaient des marmites en cuivre, dont l'orifice rétréci et elliptique était fermé par un couvercle ovale dont les axes avaient de plus grands diamètres que ceux de l'orifice; la pression de la vapeur pressait le couvercle contre les bords de l'orifice, et la fermeture était d'autant plus étanche que la pression était plus forte. C'était le mode de fermeture qui a été employé plus tard pour les trous-d'homme et les bouilleurs des chaudières à vapeur. Les autoclaves étaient garnis d'une soupape de sûreté. Au moyen de ces appareils, on préparait un pot-au-feu dans un temps très-court; cet avantage les répandit promptement, mais plusieurs accidents fâcheux les firent abandonner.

Lemare a inventé d'autres appareils plus ou moins ingénieux, dont la liste et la description détaillée se trouvent à son magasin, quai Conti, n° 3.

Nous citerons seulement son caléfacteur appliqué au chauffage des bains. C'est un vase en cuivre fermé par le bas; il est garni à sa partie inférieure d'un tube latéral extérieur, communiquant avec une cheminée, et à la partie supérieure d'un vase à deux enveloppes concentriques, d'une plus petite hauteur, dont l'intérieur est destiné à recevoir le linge qui doit être chauffé. On met le charbon dans la partie inférieure du vase extérieur, et on place l'appareil dans la baignoire où il est retenu par deux tringles transversales.

1722. *Appareil culinaire de Sorel*. La fig. 3 (pl. 104) est une coupe verticale et longitudinale de l'appareil muni de toutes ses pièces; la fig. 4, le plan; la fig. 5, une coupe verticale suivant la ligne CD du plan; et la fig. 6, l'élévation par le bout. A, fourneau; il est placé dans l'intérieur de la marmite B; un diaphragme *a*, percé de trous, qui entre à coulisse dans la marmite, empêche le contact de la viande et des légumes avec les parois du fourneau. C, première casserole placée au-dessus de la marmite; on y met des légumes qui sont cuits par la vapeur du bouillon, qui passe à



travers le tuyau *b*. D, seconde casserole qui surmonte la précédente et dans laquelle pénètre la vapeur de la casserole C, en traversant le tuyau *c*. E, rôtissoire montée au-dessus du fourneau; elle reçoit directement l'action du feu; l'air chaud qui s'échappe du combustible placé sur la grille *d*, passe dans la capacité *e*, et pénètre dans l'intérieur de la rôtissoire par le conduit *f*, pour s'échapper ensuite par une fente *g*, percée dans le couvercle. Cette circulation est indiquée par des flèches. Le régulateur du feu, comme l'appelle M. Sorel, se compose d'une cloche F, plongée dans le bouillon; elle est fermée au-dessus, ouverte inférieurement et munie d'un tuyau G, qui enveloppe le tube H, destiné à conduire l'air extérieur dans le fourneau. Ce tube, fermé en dessus, débouche au-dessous de la grille qui reçoit le combustible; sa partie supérieure est percée de petits trous *h*, par lesquels pénètre l'air, dont la marche est indiquée par les flèches. La vapeur qui se forme sous la cloche par l'effet de l'ébullition, en chasse d'abord l'air, qui s'échappe par le tuyau *i*, qu'on ferme ensuite avec un bouchon. Elle soulève alors la cloche, ainsi que le tuyau G, qui, couvrant en partie les orifices *h*, rétrécit le passage de l'air. Cette position est indiquée par les lignes ponctuées fig. 6. A ce moment, le feu se ralentit, l'ébullition cesse, et la pression de la vapeur sous la cloche diminue; celle-ci descend lentement, et le tuyau G, découvrant les orifices *h*, permet à une nouvelle quantité d'air de pénétrer dans le foyer pour activer la combustion. Par le jeu non interrompu du régulateur, l'ébullition se maintient d'elle-même constamment au même point.

La fig. 7 est une coupe verticale d'un appareil de Sorel, très-simple, dans lequel il est plus facile de voir le mode d'action du régulateur. Cet appareil se compose, d'un vase enveloppant A, formé de deux vases concentriques dont l'intervalle est rempli de charbon pilé, d'un vase B à doubles parois, garni extérieurement de petits appendices, qui s'appuient sur la partie supérieure de l'enveloppe A; il est fermé par un autre vase C garni d'un couvercle. L'espace D est plein d'eau et communique avec un vase d'expansion E. Le flotteur F, par l'intermédiaire d'une chaîne, ferme le registre G de l'orifice d'accès de l'air dans le foyer, quand les liquides des vases B et D sont en ébullition.

Dans une expérience faite à la Société d'encouragement, on a placé dans l'appareil décrit d'abord, 2^l de bœuf avec 6^l d'eau, 1^l,312 de veau à rôtir,

0^k,500 de haricots secs, et 0^k,500 de pruneaux. Le charbon introduit dans le foyer pesait 0^k,612. L'expérience a duré 5 heures 40 min. Pendant cet intervalle, le régulateur a fonctionné de manière à entretenir le bouillon à une légère ébullition. A la fin de l'opération on s'est assuré que le bouillon ne laissait rien à désirer, et que les viandes, les légumes et les pruneaux étaient parfaitement cuits. Le charbon non consommé qui restait dans le foyer, pesait 250 grammes; ainsi la consommation a été seulement de 372 grammes. La voie de charbon de l'Yonne, pesant environ 55^h et coûtant 10 francs, 1^h de charbon revient à 0^f,18, et par conséquent la valeur du combustible consommé était de 7 centimes. Des expériences faites individuellement par chacun des membres du comité des arts économiques de la Société d'encouragement, ont donné les mêmes résultats.

1723. M. Sorel a employé le même principe pour maintenir un liquide à une température constante. Les fig. 8 et 9 (pl. 104) représentent les dispositions de l'appareil. H, récipient d'une forme ovale contenant l'eau chauffée par le réservoir intérieur I, également plein d'eau, dans lequel baigne un cylindre J, qui transmet la chaleur à l'eau. Ce cylindre renferme un foyer K, dont les parois inférieures sont percées de trous et qu'on emplit de charbon de bois, qui repose sur la grille K'. L, cendrier garni à sa circonférence d'orifices pour l'admission de l'air nécessaire à la combustion. L', cloche ou régulateur plongeant dans l'eau du réservoir I, et surmonté d'un tuyau M, qui monte et descend le long du tuyau N, servant à conduire l'air dans le cendrier. La partie supérieure de ce tuyau est percée de plusieurs rangées de trous *m*, que le tuyau M couvre et découvre par l'effet de la dilatation ou de la contraction de l'air dilaté qui se trouve sous la cloche, et des variations de force élastique de la vapeur. Le tuyau N est fermé par un bouchon *n*. O, petit tuyau fermé aussi par un bouchon; ce tuyau est soudé à la cloche L' et permet de faire échapper au commencement du chauffage une partie de l'air contenu dans la partie supérieure de la cloche. P, bouchon qu'on enlève pour remplir d'eau le récipient I. Q, couvercle du foyer K qu'on enlève pour charger le fourneau de charbon. R, tuyau par lequel s'échappe l'air brûlé. Cet appareil a été employé au chauffage d'un couvoir artificiel par circulation, à la méthode de Bonnemain (1626). S était le tuyau de sortie de l'eau; T,



le tuyau de retour. Sous tous les rapports cet appareil est préférable à celui de Bonnemain; mais il a été mal employé, car ce n'est pas l'eau au départ de la circulation, qui doit être maintenue à une température constante, mais l'air du couvoir; par conséquent le régulateur devait se trouver dans le couvoir, et non dans le fourneau.

1724. L'appareil représenté dans les figures 10 à 13 (pl. 104), qui est une modification du précédent, a été employé par M. Becquerel dans ses recherches sur la chaleur animale; il maintient le liquide qu'il renferme à une température qui, pendant un temps très-long, ne varie pas de $\frac{1}{10}$ de degré. Fig. 10, section longitudinale et verticale suivant la ligne GH (fig. 11). Figure 11, coupe horizontale suivant IK (fig. 10). Fig. 12, section verticale suivant la ligne LM (fig. 11). Fig. 13, cheminée dont le fond est percé de trous. *a*, récipient carré rempli d'eau, enveloppant un cylindre *b*, dans lequel entre le fourneau *c*, chargé de charbon qui repose sur la grille *d*. Le combustible est tassé à l'aide d'un tuyau conique *e*, qui laisse échapper l'air brûlé; ce tuyau est muni d'une anse *f*, au moyen de laquelle on l'enlève facilement. *g*, récipient du régulateur, plein d'eau, et dans lequel plonge une cloche *hi*, dont le tuyau *k* monte et descend le long du tube *l*, servant à l'introduction de l'air sous la grille *d*; cet effet est produit par les variations de tension, du mélange d'air et de vapeur contenu dans la cloche. La partie supérieure du tube *l* est percée de trous *m*, que le tuyau *k* couvre et découvre en diminuant ou en augmentant le tirage du fourneau. *n*, chapeau fermant le tube *l*. *o*, petit tuyau fixé sur la cloche et destiné à régler la quantité d'air qu'elle doit renfermer. *p*, troisième récipient plus grand que le précédent et faisant corps avec lui; il est rempli d'eau dans l'espace qui le sépare de la boîte *q*, dans laquelle on place les objets soumis à l'action de la chaleur. Au-dessous de cette boîte se trouve une caisse *r* dont le couvercle est percé de deux trous par lesquels on introduit des thermomètres. *s*, tuyau coudé faisant passer l'eau du récipient *a* dans le récipient *g*, qui communique librement avec le récipient *p*, en dessus et en dessous. *t*, petite soupape placée sur le sommet de la cloche *i*, qui, lorsque cette cloche s'élève, bouche le tuyau *s* et interdit à l'eau le passage du récipient *a* dans le récipient *g*. *u*, couvercle de la boîte *q*. *v*, tuyau de communication entre les récipients *a* et *g*. *x*, petite lampe qu'on peut placer dans le fourneau à la place du charbon.

1725. *Siphon thermostatique de M. Sorel.* Cet appareil a pour objet d'établir l'équilibre de température entre des liquides renfermés dans des vases séparés, ou, ce qui revient au même, d'échauffer des liquides contenus dans plusieurs vases, en appliquant la chaleur à un seul. Jusqu'ici on n'avait résolu ce problème qu'en établissant entre les vases des communications par les parties supérieures et les parties inférieures. M. Sorel est parvenu au même but à l'aide de deux siphons mobiles. Le siphon thermostatique de M. Sorel se compose de deux siphons ordinaires, solidaires, qui s'amorcent simultanément au moyen d'un réservoir plein d'eau ayant la forme et la disposition du réservoir d'huile dans les lampes à niveau constant et à réservoir latéral; ce réservoir se place à la partie supérieure d'un des siphons, se vide aussitôt qu'il est en place, et se remplissant de l'air qui se trouvait primitivement dans les deux siphons, détermine leur amorcement. Ces deux siphons plongent de quantités inégales dans le vase plein d'eau chaude et dans celui qui est plein d'eau froide; il résulte de cette inégalité, que celui qui plonge le moins dans l'eau chaude amène l'eau chaude du premier vase dans le second, et que l'autre porte l'eau froide du dernier vase dans le premier. En effet, considérons un siphon plein d'eau chaude plongeant d'un côté dans un vase plein d'eau chaude et de l'autre dans un vase plein d'eau froide; quand l'équilibre sera établi, les niveaux des liquides ne seront pas dans le même plan, attendu que la partie de la branche du siphon qui plonge dans l'eau froide, étant pleine d'eau chaude, est pressée par le liquide environnant avec une force plus grande que son poids, et qu'il en résulte alors une pression qui diminue le poids de la colonne d'eau chaude, et par conséquent l'équilibre ne pourra exister qu'autant que cette colonne d'eau chaude sera plus grande que celle qui correspond au vase d'eau chaude. Mais cette différence de niveau étant proportionnelle à la longueur de la branche du siphon qui plonge dans le vase d'eau froide, si on avait deux siphons plongeant de quantités inégales dans ce dernier vase, l'équilibre ne pourrait jamais subsister; car si la différence des niveaux est plus grande ou plus petite que celle qui correspond à chacun des siphons, ils fonctionneront tous deux dans le même sens, et si cette différence est comprise entre ces deux limites, ils fonctionneront en sens contraire. Dans l'appareil de M. Sorel, le jeu des siphons est favorisé par un tube plein d'air, qui



environne la branche du siphon plongée dans l'eau chaude, qui porte l'eau froide dans le vase directement échauffé. Cette couche d'air empêchant l'échauffement de l'eau froide dans cette partie du siphon, augmente évidemment la vitesse d'écoulement dans ce siphon, et par suite dans l'autre.

1726. La fig. 14 (pl. 104) représente l'appareil de M. Sorel, appliqué au chauffage d'un bain. AA, fourneau-chaudière formé de deux cylindres concentriques placés verticalement; l'espace BB compris entre eux, forme l'intérieur de la chaudière; le petit cylindre C compose le fourneau. D, est un cylindre mobile en tôle fermé par le bas et descendant près du foyer, il est concentrique avec le cylindre C; l'espace compris entre eux est parcouru par les gaz qui proviennent de la combustion, et qui s'échappent par le tuyau E. Le vase F en fer-blanc sert à chauffer le linge; une couche de sable G isole ce vase du foyer. H est la grille sur laquelle on place le combustible. N est une baignoire dont l'eau est chauffée par la double circulation produite par les deux siphons, qui ne cesse que quand l'équilibre de température est établi. On peut arrêter la circulation à une époque quelconque en fermant un des orifices d'un des siphons. Cet appareil est certainement le plus commode de tous ceux qu'on a imaginés pour le chauffage des bains.

1727. On a construit aussi des appareils culinaires dans lesquels la chaleur est produite par une lampe à double courant d'air. Ils consistent, fig. 15 (pl. 104), en un vase annulaire à double enveloppe, rempli de charbon pilé. L'enveloppe intérieure, qui est cylindrique, reçoit par la partie inférieure la cheminée de la lampe, et par la partie supérieure les vases qui doivent être échauffés, et autour desquels l'air brûlé s'écoule en lames minces. Ces appareils sont bien disposés, d'un service assez commode, mais moins économiques que ceux de Sorel, parce que l'huile coûte beaucoup plus cher que le charbon; en outre, ils ne se règlent pas d'eux-mêmes.

1728. *Chauffage des fours à cuire le pain.* Dans toutes les boulangeries, à un très-petit nombre d'exceptions près, on suit encore l'ancienne méthode pour la cuisson du pain. Les fours n'ont d'autre issue que la bouche par laquelle on enfourne, et on les chauffe en brûlant dans l'intérieur du bois léger sec et refendu. Par ce mode de chauffage, la combustion est très-imparfaite, parce qu'il doit se produire dans le four deux

courants opposés, l'un d'air extérieur de dehors en dedans, l'autre d'air brûlé dirigé en sens contraire. En outre, ce mode de chauffage est peu économique, parce que l'air chaud s'échappe, surtout à la fin de l'opération, à une température très-élevée. Les boulangers sont cependant indemnisés d'une partie de la dépense du combustible, par la vente de la braise qu'ils retirent du four. La première modification assez importante qui ait été faite dans la construction et le mode de chauffage des fours, est représentée dans les fig. 16, 17 et 18 (pl. 104). La voûte est traversée par trois tuyaux en fonte qui s'ouvrent au fond du four et viennent déboucher dans la cheminée qui se trouve en avant; par cette disposition, on obtient une meilleure combustion et plus d'économie dans le chauffage. On a fait jusqu'ici d'inutiles essais pour chauffer les fours à la houille; on n'a pas obtenu assez d'uniformité dans la température des différentes parties du four. Les foyers avaient été établis en avant de chaque côté de la porte, et l'air brûlé s'échappait par le fond du four. Je regarde comme très-probable qu'on réussirait complètement en employant la triple circulation dont M. Rudler s'est servi pour chauffer les fours à sécher le tabac (pl. 63), et en faisant revenir l'air brûlé au-dessus de la voûte. Mais le problème du chauffage économique des fours de boulangers a été résolu d'une manière complète par MM. Jametel et Lemare; ces fours existent dans la belle boulangerie de M. Mouchot à Montrouge, établissement qui sous tous les rapports peut être considéré comme modèle (Voyez le tome 36 du *Bulletin de la Société d'encouragement*). Nous extrairons des mémoires consignés dans cet ouvrage la description du four, la seule chose qui soit en rapport avec l'objet qui nous occupe.

1729. *Le four aérotherme* de MM. Lemare et Jametel est représenté dans les fig. 19 à 25 (pl. 104). La fig. 19 est une coupe horizontale faite au niveau du sol suivant xx' (fig. 25). Les figures 20, 21 et 22 sont des coupes horizontales faites suivant les lignes yy' , zz' , tt' (fig. 25). La figure 23 est une élévation de la face antérieure du four. La fig. 24, une coupe verticale suivant la ligne mm' , fig. 19. La fig. 25 est une coupe verticale suivant la ligne nn' .

A, foyer fermé par une porte en fonte. C,C,C,C, galeries ou réservoirs d'air chaud qui environnent le foyer. D,D,D,D, carneaux pour la circulation de la fumée. E, cheminée pratiquée dans l'épaisseur du mur. F,



tuyau servant à conduire directement l'air chaud du réservoir dans le four; il prend naissance à la partie supérieure des galeries C, et s'élève jusqu'à la retombée de la voûte du four. G, tuyau de retour de l'air refroidi du four dans le réservoir; il part du niveau du sol du four et se prolonge jusqu'au bas du réservoir d'air chaud. H,H, tuyaux conduisant l'air chaud du réservoir dans les carneaux d'air R; ils prennent naissance au point le plus élevé de la galerie et aboutissent au niveau du sol inférieur du carneau d'air; ces tuyaux sont munis de registres glissants qu'on fait mouvoir à l'aide des tringles qui y sont fixées. I,I, tuyaux conduisant l'air de ce carneau dans le four; ils partent de la partie supérieure du carneau et s'élèvent jusqu'à la retombée de la voûte du four. K,K, portes du four. L, réservoir d'eau chaude établi au-dessus du four. M, robinet de la chaudière. N,N, trappes servant à faire entrer l'air froid dans le carneau d'air pour refroidir l'âtre; cet air passe dans un canal pratiqué sous le cendrier qui communique avec les galeries C. O, hotte établie au-dessus des bouches du four pour emporter la buée qui s'échappe lors de l'enfournement. R, carneaux d'air. S, four. T, cendrier. *a,b*, portes en fonte à l'entrée du foyer. *c,c*, piliers des galeries du réservoir C. *d*, tiges des registres du tuyau F. *e*, tige du registre G. *f,f*, tiges des registres des tuyaux H,H. *g,g*, tiges des registres des tuyaux I,I. Voici de quelle manière fonctionne cet appareil : l'air brûlé sorti du foyer parcourt les carneaux D,D,D,D, et s'échappe ensuite par la cheminée E. L'air extérieur s'introduit par les orifices N,N dans les galeries C,C, et après avoir circulé autour des parois du foyer, une partie s'élève par les tuyaux H,H, dans les conduits R,R placés sous l'âtre et au-dessus des carneaux à fumée D, et se rend ensuite dans le four par les orifices I,I. En même temps une autre partie de l'air échauffé dans les galeries C,C, s'élève directement dans le four par le tuyau F. Lorsque le four a acquis une température de 200 à 220°, on enfourne; pendant l'opération, les gaz refroidis descendent par le tuyau G dans les galeries C,C, et sont remplacés par de l'air plus fortement échauffé.

Dans les premiers fourneaux qui ont été construits, les foyers étaient sans grille, comme dans la fig. 26; et on reconnut avec surprise que la combustion continuait quoique les portes du foyer et du cendrier fussent fermées hermétiquement et tous les joints garnis d'argile. Lemare pensait d'après cela que la combustion pouvait avoir lieu sans air; mais il



se produisait dans la cheminée deux courants en sens contraire, dont l'un amenait de l'air neuf sur le combustible. Depuis on a employé des grilles; mais récemment on est revenu à la première disposition des foyers, parce que la combustion est beaucoup plus lente. Les deux courants dans la cheminée se reconnaissent très-facilement, car tous les deux ont une grande vitesse; il est cependant bien singulier qu'ils restent distincts dans les carneaux contournés (fig. 20) qui se trouvent au-dessus du foyer.

La *Revue scientifique* (mars 1842) renferme un article de M. Saigey, sur les fours dont il est question, et dans lequel ce physicien a cherché à déterminer la quantité relative de chaleur utilisée. Voici les données du calcul :

Quantité de farine employée.....	157 ^k
Eau de pétrissage.....	79
Pâte.....	236
Température de la cuisson.....	300°
Température du pain à la sortie..	100°
Coke brûlé pendant l'opération.....	22 ^k ,25

Le four étant maintenu à une température sensiblement constante, l'effet utile se compose 1° de la chaleur employée à la vaporisation de 32 kilog. d'eau, qui représente $650 \times 32 = 20800$ unités; 2° de la chaleur employée à chauffer à 100° les 47 kilog. d'eau qui restent dans le pain, ce qui correspond à $47 \times 70 = 3290$; 3° de la chaleur employée à échauffer 157 kilog. de farine de 30° à 100: en admettant que la chaleur spécifique de cette matière soit comme celle du bois et de la gomme, la moitié de celle de l'eau, cet effet représente $157 \times 70 : 2 = 5495$. En réunissant ces trois effets partiels, on trouve 29585 unités, tandis que la combustion du coke brûlé a produit $22,25 \times 7000 = 155750$. Ainsi l'effet utile est seulement égal à 0,18, de la chaleur produite dans le foyer. Mais malgré ce faible résultat, le four utilise la chaleur aussi bien qu'on puisse l'espérer, car il y a toujours, par la transmission à travers la maçonnerie et par les surfaces extérieures des pertes de chaleur très-grandes et qui sont inévitables.

1730. *Observations sur les différents appareils employés dans la confection des aliments.* Pour la préparation en grand du bouillon destiné à



être livré à la consommation, dans des établissements analogues à celui de la Compagnie hollandaise, il faudrait s'en rapporter complètement aux résultats obtenus dans les nombreux essais faits par cette Compagnie, et préférer les appareils à vapeur aux autres. On pourrait aussi employer les bains de liquide, bouillant à des températures élevées, et placer dans les chaudières des régulateurs de Sorel pour obtenir une température constante dans le bain. Pour des établissements moins considérables qui n'opéreraient qu'avec un petit nombre de marmites, il n'y aurait pas un grand inconvénient à avoir autant de foyers que de marmites. Les appareils les plus simples et les plus commodes, consisteraient en marmites de fonte étamée placées dans des fourneaux en briques, garnis de foyers à coke ou à charbons durs, et pourvus chacun d'un régulateur de Sorel.

Pour les grandes cuisines d'hôpitaux, et en général pour les grands établissements publics, les appareils doivent être appropriés aux besoins du service; aucun de ceux que nous avons décrits ne pourrait être employé sans modifications; et même aucun appareil, quelque bien disposé qu'il fût, ne conviendrait à plusieurs établissements que dans des circonstances tout à fait identiques.

1731. En général on peut diviser en trois classes les différentes parties de l'appareil le plus complet: 1° la partie où l'on prépare la cuisine particulière et accidentelle et les mets qui exigent une température élevée; elle se compose des plaques de fer qui sont placées immédiatement au-dessus du foyer; 2° les marmites destinées à la préparation du bouillon, des soupes, et à la cuisson des légumes et des ragoûts; 3° les fours à faire les rôtis, et qui remplacent les fours de campagne; 4° la chaudière à eau chaude; 5° les fours qui doivent maintenir les plats chauds.

1732. Les plaques qui sont placées au-dessus du foyer, sont indispensables toutes les fois que le fourneau doit servir à tous les usages qui peuvent se présenter. On a reconnu par une longue expérience que ces plaques devaient être en fer, parce que les plaques de fonte se voilent et cassent fréquemment. On emploie de préférence des bandes de fer de 0^m,005 d'épaisseur, et de 0^m,1 de largeur; il reste toujours entre elles des jours, mais ils ne laissent point dégager de fumée, parce que l'air extérieur est toujours appelé dans l'intérieur du fourneau. Il est important que ces plaques soient toujours couvertes; car lorsqu'elles sont



libres, elles occasionnent une grande perte de chaleur par leur rayonnement. En supposant ces plaques seulement à 300° , la perte de chaleur correspondrait au moins, par heure, et par mètre carré, à la chaleur produite par la combustion de 1 kilog. de houille.

1733. Les chaudières destinées à contenir des liquides dont la température ne doit pas dépasser 100° , sont placées au delà du foyer. Il est important qu'elles ne soient pas chauffées successivement par le courant d'air brûlé, parce qu'elles le seraient inégalement, et que l'une d'elles n'aurait la température convenable qu'autant que celle des autres serait trop haute ou trop basse. Elles peuvent être chauffées simultanément par un bain-marie salé et ouvert, ou à eau pure, mais fermé et sous une certaine pression. Elles peuvent aussi être chauffées simultanément par de l'air brûlé pris au delà du foyer, qui, après avoir parcouru le fond des chaudières et leur contour, passerait dans un canal qui le conduirait dans le réservoir d'air brûlé qui se trouve au-dessous de la chaudière à eau chaude.

Les bains-marie salés, dont la température de l'ébullition s'élèverait à 105° ou 106° , devraient être préférés aux bains fermés, qui exigent une certaine pression, des soupapes de sûreté, des niveaux d'eau, etc., et une certaine surveillance. La dissolution la plus convenable serait celle qui renfermerait du chlorure de calcium ou du sous-carbonate de soude ou de potasse; elle devrait être assez concentrée pour qu'il ne fût jamais nécessaire de la porter à l'ébullition. Les marmites devraient être en fer ou en cuivre étamé seulement à l'intérieur. Le fourneau devrait être disposé de manière que tout l'air brûlé ne passât pas nécessairement au-dessous et autour de la chaudière, afin qu'on pût régler sa température, quelle que fût d'ailleurs la quantité de chaleur qu'exigeraient les autres services. Ainsi, si la chaudière occupait toute la largeur du fourneau, il devrait y avoir au delà du foyer un carneau descendant pour conduire l'air brûlé sous les autres appareils sans le faire passer en totalité sous le bain-marie; des registres convenablement placés permettraient facilement de répartir, suivant les besoins des différents services, l'air brûlé sortant du foyer.

Les marmites peuvent être chauffées aussi uniformément par des courants d'air brûlé qui parcourent leurs surfaces, que par des bains-marie ou par la vapeur, pourvu que le fourneau soit construit de ma-



nière que l'on puisse facilement régler les courants à l'aide de registres; seulement, il faut un peu de surveillance pour maintenir les marmites à la température convenable et toujours pleines jusqu'à la partie supérieure des carneaux qui les environnent; ainsi, les carneaux doivent avoir une hauteur moindre que celle des marmites.

1734. Les marmites destinées aux ragoûts, sont ordinairement peu profondes; elles peuvent être placées à la suite de celles dont nous venons de parler; mais elles doivent aussi avoir des prises distinctes d'air chaud, et ne pas être chauffées successivement par le même courant.

1735. Les fours à rôtir sont toujours des caisses en fonte ou en tôle, ouvertes seulement sur une des faces latérales où elles sont garnies d'une porte, et autour desquelles on fait passer un courant d'air chaud. Ces fours peuvent facilement être placés au-dessous des marmites à ragoûts; et comme toutes les autres pièces du fourneau, ils doivent avoir des prises d'air chaud distinctes. Il est très-important de laisser au fond des fours et à la partie supérieure, de petits orifices s'ouvrant dans les carneaux, et une petite ouverture dans la porte pouvant se fermer à volonté, afin de faire dégager dans les carneaux les vapeurs qui se produisent pendant la cuisson des viandes.

1736. La chaudière à eau chaude, chauffée par l'air brûlé qui a parcouru les différents appareils de chauffage dont nous venons de parler, doit être placée à l'extrémité du fourneau; l'air brûlé circulera d'abord sur son fond, et ensuite autour de sa surface latérale, avant de se rendre dans la cheminée. Mais comme la quantité d'eau qu'on peut chauffer avec la chaleur perdue des fourneaux de cuisine, excède toujours de beaucoup celle qui est nécessaire pour les besoins du service, il faut, dans tous les cas, chercher un emploi utile de cette eau chaude. Dans les hôpitaux et dans les maisons d'éducation, on peut l'utiliser pour les bains de pieds et les bains entiers.

1737. Quand les plats sont nombreux, qu'ils ne peuvent être préparés que successivement, dans un intervalle assez long, et qu'ils doivent être servis simultanément, ce qui arrive dans les grandes maisons d'éducation, il devient indispensable de les maintenir chauds jusqu'à l'instant du service. On se sert quelquefois de la partie supérieure du fourneau, qui est toujours à une température assez élevée; mais la surface libre qu'il présente n'est pas toujours suffisante. Dans ce cas il serait facile de placer

au delà du fourneau ou contre les murs, des caisses en tôle, longues, peu profondes, d'une hauteur seulement suffisante, qui seraient chauffées par la chaleur perdue et qui rempliraient parfaitement l'objet qu'on se propose; on pourrait détourner momentanément le courant d'air brûlé de la chaudière à eau chaude pour chauffer ces fours.

1738. D'après tout ce que nous venons de dire, il est facile d'apprécier les différents appareils que nous avons décrits précédemment. L'appareil représenté par les fig. 13, 14 et 15 (pl. 97), ne peut pas suffire à tous les besoins, parce qu'il ne renferme pas de plaques chauffées directement, entièrement libres, et sur lesquelles on puisse préparer les mets qui exigent une température élevée. Le four étant immédiatement au-dessus du foyer, est trop fortement chauffé, ou la chaleur que reçoivent les autres appareils est insuffisante; d'ailleurs, ce four est en fonte, matière qui n'est pas convenable, lorsque la température peut s'élever beaucoup dans une partie seulement. Ensuite tous les appareils sont chauffés par le même courant d'air brûlé, ce qui est un grand inconvénient, car on ne peut faire varier le chauffage de l'un sans faire varier dans le même sens celui de tous les autres. L'appareil de l'hôpital Saint-Louis (pl. 100 et 101) est élégant, toutes les parties en sont bien disposées, excepté les chaudières à bouillon qui sont trop grandes pour que les produits qu'elles donnent soient de bonne qualité; leurs grilles ont aussi de trop grandes dimensions. Enfin la chaudière à eau chaude n'est réellement pas chauffée par tout le courant d'air brûlé, car une partie passe directement dans la cheminée, comme on peut le voir dans la figure 4 (pl. 100). Les fours à rôtir ont aussi trop peu d'étendue et doivent être mal chauffés, car leur partie supérieure est seule en contact avec la fumée.

1739. Le fourneau de l'hôpital de la Charité (fig. 1^{re} à 6, pl. 102) a tous ses appareils de chauffage indépendants. Les fours peuvent être bien chauffés; mais la chaleur perdue n'est pas employée à chauffer la chaudière à eau chaude.

1740. Le fourneau représenté dans les figures 4 à 8 (pl. 101) est assez bien disposé sous certains rapports; mais le chauffage de deux chaudières a lieu par le même courant, les fours sont mal chauffés, et l'air brûlé, en parcourant un trop petit espace sous la chaudière à eau chaude, ne doit produire que peu d'effet utile.

1741. Dans l'appareil figure 9 (pl. 101) les circulations sont mal éta-



bles, les chaudières ne sont chauffées que par le fond ; deux de chaque côté sont chauffées successivement par le même courant, et enfin la circulation sous la chaudière à eau chaude a trop peu d'étendue.

1742. Le fourneau représenté par les figures 7, 8 et 9 (pl. 102) est assez bien disposé ; seulement deux chaudières sont chauffées par le même courant, et les fours ne sont en contact avec l'air chaud qu'à la partie supérieure. La circulation de la fumée autour de la chaudière à eau chaude est très-bien entendue pour utiliser la chaleur perdue.

1743. Dans ce qui précède, nous avons examiné les dispositions les plus convenables des différentes parties des appareils. Il nous reste maintenant à déterminer les dimensions de la grille, des carneaux, de la chaudière à eau chaude, et enfin la dépense de combustible.

1744. C'est évidemment par la détermination de la consommation de combustible qu'il faut commencer, car c'est cette consommation qui doit servir à calculer les dimensions de la grille et des carneaux. Mais on rencontre ici de grandes difficultés, car l'effet utile produit n'est jamais qu'une très-petite partie de la quantité totale de chaleur dépensée. Dans ces sortes d'appareils, la quantité de chaleur perdue par le rayonnement des plaques de fer qui se trouvent placées au-dessus du foyer, par le refroidissement de la surface des fourneaux, et par la haute température à laquelle on est obligé d'abandonner l'air brûlé, est très-grande relativement à celle qui serait rigoureusement nécessaire pour produire sans perte l'effet obtenu. On peut cependant estimer d'une manière assez approchée la consommation de combustible, en calculant la chaleur perdue par les plaques de fer chauffées au rouge naissant qui se trouvent au-dessus du foyer. Nous avons vu que 1 mètre carré de surface de fonte à 100° exposée à l'air libre, condense par heure à peu près 2 kilog. de vapeur ; alors, en supposant l'émission proportionnelle à la température, à 600°, la quantité de chaleur rayonnée correspondrait à 12 kilogr. de vapeur, et à peu près à 2 kilogr. de houille. Ainsi 1 mètre carré de plaque de fer perd par heure la chaleur qui résulte de la combustion de 2 kilogr. de houille ; mais comme cette chaleur provient uniquement du rayonnement du combustible, et que ce rayonnement n'est que la moitié de la quantité totale de chaleur développée, il s'ensuit que si toute la chaleur rayonnée était absorbée par la plaque, il faudrait brûler sur la grille 4 kilogr. de houille à l'heure ; mais comme on ne



peut pas estimer à plus de $\frac{1}{2}$, même en comptant le rayonnement de l'enveloppe du foyer, la partie de la chaleur rayonnée qui est absorbée par la plaque, il faudrait brûler sur la grille environ 8 kilogr. de houille à l'heure pour maintenir la plaque à 600°. Ces résultats s'accordent sensiblement avec l'expérience. Dans ce cas, il y a encore la chaleur de 6 kilog. de houille à utiliser par heure. En supposant que cette chaleur fût aussi bien employée que dans le bain-marie de la Compagnie hollandaise, elle suffirait pour préparer 600 litres de bouillon, et il en resterait encore pour les autres usages et pour le chauffage de l'eau. On voit alors que, dans presque tous les cas, ce sont les dimensions des plaques de fer qui doivent servir de guide pour déterminer les dimensions de la grille et du carneau à air brûlé, la section de la cheminée et la dépense de combustible; car, en général, la quantité de combustible brûlé, pour maintenir cette plaque à une température élevée, dépasse de beaucoup celle qui est nécessaire pour effectuer les autres opérations. D'après cela, pour des plaques de 1 mètre carré, il faut compter sur une combustion de 8 à 10 kilogr. de houille par heure; la grille doit avoir de 0^m,20 à 0^m,30, afin que la combustion ne soit pas trop vive, et doit être placée à 0^m,40 au-dessous de la plaque; on devra donner au tuyau central et à la partie supérieure de la cheminée une section de 3 à 4 décimètres carrés. Mais il sera toujours utile de donner aux carneaux et à la cheminée une plus grande section, surtout si, ayant un emploi utile de l'eau chaude, on refroidit beaucoup la fumée. Quant aux carneaux des chaudières à bouillon, on peut sans inconvénient donner une grande section à ceux qui se trouvent à la partie inférieure; mais il n'en serait pas ainsi pour ceux qui les enveloppent latéralement, attendu que la circulation n'aurait lieu qu'à la partie supérieure.

1745. Il résulte de ce que nous venons de dire, que les plaques de fer qu'on place au-dessus du foyer, nécessitent une consommation très-grande de combustible, qu'on ne peut pas toujours employer utilement. Dans tous les cas où ces plaques doivent avoir de grandes dimensions, et où leur usage n'est pas permanent, il y aurait de l'avantage à faire deux foyers, l'un pour les chaudières, l'autre pour chauffer les plaques, parce qu'on pourrait utiliser une bien plus grande partie de la chaleur produite, et qu'on diminuerait de beaucoup la quantité de combustible consommée. Les plaques devraient alors être chauffées, et



par rayonnement et par le contact de l'air brûlé; on utiliserait ainsi au moins la moitié de la chaleur développée par le combustible; d'ailleurs, on pourrait encore refroidir utilement l'air brûlé à sa sortie des plaques. La fig. 10 (pl. 103) représente une coupe verticale suivant xx' (fig. 11), et la figure 11 une coupe horizontale suivant la ligne yy' (fig. 1^{re}) de la disposition la plus convenable.

1746. En séparant ainsi le chauffage des plaques de celui des chaudières, on arrivera certainement à préparer le bouillon ou les aliments analogues en consommant moins de 10 kilogr. de houille pour 100 litres, dans une durée de 8 à 10 heures, tout en chauffant des fours et de l'eau pour les besoins du service.

1747. Dans beaucoup de grands établissements les dépenses de combustible sont énormes par suite de la mauvaise disposition des fourneaux, et on pourrait à coup sûr obtenir, par de meilleures dispositions, une grande économie qui compenserait bientôt les frais d'établissement des appareils. Nous citerons l'Hôtel des Invalides pour lequel la question économique dont il s'agit a été étudiée par M. Rudler.

Dans la cuisine des Invalides, telle qu'elle est maintenant organisée, on y fait deux services par jour. Le service du matin se compose 1° de 103 kilogr. de bœuf qui ont été cuits dans 206 kilogr. d'eau; 2° de 50 kil. de bœuf bouilli dans 100 litres d'eau. Le service du soir se compose 1° de 103 kilogr. de bœuf à la mode ou en ragoût; 2° de 50 kilogr. de bœuf bouilli dans 100 kilogr. d'eau.

Un fourneau particulier sert à faire le rôti. On chauffe à part 2400 kilogr. d'eau pour le deuxième lavage de la vaisselle. Enfin le premier lavage s'opère dans une chaudière contenant 500 kilogr. d'eau qu'on maintient chaude pendant 12 heures par un fourneau intérieur au charbon de bois.

Les deux services du matin, y compris les 2400 kilog. d'eau chauffée pour les lavages, consomment par jour 2 stères de bois, et coûtent.....	30 fr.
Le cylindre à laver, dont l'eau est chauffée au charbon de bois, consomme une demi-voie de charbon, qui coûte....	4
Le potager consomme une voie de charbon de bois.....	8
Le rôti $\frac{1}{3}$ de stère de bois.....	5
Total de la dépense par jour...	47

Il est évident que la préparation du bouillon, la cuisson du bœuf, ainsi que le chauffage de l'eau pour le lavage, pourraient s'effectuer dans un même appareil, par le même foyer, en employant un bain-marie ou un chauffage à vapeur comme dans l'établissement de la Compagnie hollandaise, et même un simple courant d'air chaud comme dans les fourneaux des hôpitaux. Or, dans les fourneaux de la Compagnie hollandaise, on chauffe pendant 10 heures 2000 kilogr. d'eau et 1000 kilogr. de bœuf, et on élève à peu près 1000 kilogr. d'eau à 100°, avec une dépense qui n'excède pas 10 francs; et il en coûterait certainement moins pour chauffer pendant un temps plus court, 306 kilogr. de bœuf employé à faire du bouillon, ou des ragoûts, ou du rôti, 431 kilogr. d'eau pour les bouillons, et 2400 kilogr. d'eau employée aux divers lavages, tandis que ces opérations coûtent maintenant 30 francs. Ainsi, en supposant que rien ne fût changé dans le potager, il en résulterait une économie journalière de 20 francs, et une économie annuelle qui excéderait 7,000 francs, somme qui dépasserait de beaucoup les frais d'établissement d'un appareil au bain-marie : la construction d'un appareil à vapeur coûterait de 10,000 à 12,000 francs.

On obtiendrait même, à très-peu de frais, une très-grande économie de combustible, en substituant les houilles sèches au bois dans tous les foyers, et en faisant circuler la fumée, à la sortie des fourneaux, autour d'une chaudière destinée à chauffer les eaux de lavage.

1748. Dans presque toutes les maisons particulières les fourneaux de cuisine n'ont éprouvé aucune amélioration; ils se composent de trémies en fonte engagées dans une maçonnerie, et dans lesquelles on brûle du charbon de bois. Ce mode de chauffage est insalubre et très-cher; il est insalubre, parce que la totalité, ou au moins une partie des produits de la combustion se répand dans la pièce, quoique le fourneau soit surmonté d'une hotte (1719), et on sait qu'une très-petite quantité d'oxyde de carbone dans l'air exerce une action très-énergique sur l'organisation; il est très-cher, parce qu'on n'utilise qu'une très-petite partie de la chaleur produite par la combustion, et que le combustible employé est le plus cher de tous.

1749. Les fourneaux d'Harel évitent le premier inconvénient, mais ils laissent subsister le dernier.

La meilleure disposition que l'on puisse employer est celle des four-



neaux en usage dans les grands établissements, mais réduits à l'échelle convenable, parce qu'aucune partie des gaz qui proviennent de la combustion ne peut se dégager dans les pièces, que l'on utilise une grande partie de la chaleur produite dans le foyer, et enfin parce qu'on peut brûler de la houille qui, dans presque toutes les localités, est moins chère que le charbon de bois. Ces appareils sont surtout très-avantageux quand on emploie des houilles sèches et des anthracites, parce que ces combustibles brûlent lentement, et qu'ils peuvent produire des feux languissants sans perte de matières combustibles gazeuses et sans former de trop grandes quantités d'oxyde de carbone.

1750. Les fourneaux économiques, disposés comme nous venons de le dire, commencent à se répandre dans les grandes maisons(1). Mais les constructeurs les fabriquent avec trop de luxe et les vendent trop cher pour qu'ils puissent se propager dans la classe moyenne; et ces fourneaux ont tous le même défaut, leur partie supérieure est formée par une seule plaque de fonte, qui casse nécessairement pendant les premiers jours de service. Les petits appareils pourraient être disposés d'une manière bien simple, qui permettrait de les livrer au public à très-bon marché. Ils se composeraient d'une plaque de fer de 0^m,05 à 0^m,06 d'épaisseur ayant toute l'étendue du fourneau, dont une partie recouvrirait le foyer, et dont l'autre serait échauffée par le courant de fumée qui circulerait ensuite autour d'une petite chaudière à eau chaude placée au-dessous; un four à rôtir pourrait, à l'aide d'un registre, être chauffé directement par une partie de l'air brûlé sorti du foyer; la plaque ayant une température décroissante depuis la partie qui reçoit le rayonnement du foyer jusqu'à celle qui est abandonnée la dernière par le courant de fumée, on trouverait sur sa surface la température qui convient à l'opération qu'on veut effectuer. Si on voulait utiliser toute la chaleur de la plaque, des casseroles rectangulaires conviendraient mieux que celles qui sont circulaires, parce qu'elles pourraient recouvrir toute la plaque.

(1) M. René Duvoir en construit de fort élégants, très-bien disposés et exécutés avec beaucoup de soin.

CHAPITRE XV.

CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES.

1751. Le but qu'on se propose en échauffant les corps solides, est quelquefois de les employer à chauffer d'autres corps, ou par leur contact, ou par leur rayonnement; mais le plus souvent on a pour objet de produire la fusion de ces corps, ou certaines actions chimiques.

1752. Dans chaque cas particulier, la nature et la forme des appareils que l'on peut employer, dépend de la nature des corps sur lesquels on opère et de l'effet qu'on veut produire. L'examen de tous les cas qui peuvent se présenter, nous obligerait à entrer dans des spécialités qui sont hors de l'objet de cet ouvrage. Nous nous contenterons d'exposer des considérations générales que nous appliquerons ensuite à quelques cas particuliers.

1753. Dans presque tous les fourneaux où l'on soumet les corps à une haute température, l'air brûlé est abandonné, du moins à la fin de l'opération, à une température supérieure à celle des corps chauffés. Alors on n'utilise qu'une très-petite partie de la chaleur développée. Par exemple, dans les fourneaux destinés à la fusion de la fonte, on emploie 0^b5 de coke pour fondre 1^b de fonte, c'est-à-dire au moins 3000 unités de chaleur; or, d'après une expérience de Clément, 1 kilogr. de fonte en fusion projetée dans 20 kilogr. d'eau, en élève la température de 14°; ainsi la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et fondre ensuite 1 kilogr. de fonte = $14 \times 20 = 280$ unités, et par conséquent la chaleur utilisée dans les fourneaux à fondre la fonte = $280 : 3000 = 0,09$ de la quantité totale de chaleur développée.

1754. Dans la plupart des usines, l'utilisation de la chaleur perdue est d'une haute importance, parce que la dépense de combustible entre



toujours pour une grande partie dans le prix de revient des produits, et que partout où la consommation de combustible est considérable, une économie sur cette dépense est un bénéfice immédiatement réalisé. Mais dans tous les grands établissements il y a, sous ce rapport, beaucoup d'améliorations à faire.

1755. Pour utiliser une grande partie de la chaleur dans les fourneaux à haute température, on peut se servir de deux moyens différents.

1° Sans rien changer aux dispositions des appareils, on peut employer la chaleur de l'air brûlé à la sortie du fourneau, à la production de différents effets utiles; par exemple, à la formation de la vapeur pour une machine ou pour un chauffage, au chauffage direct de l'air pour des étuves, des séchoirs, des ateliers, etc. Dans un grand nombre de cas, l'abaissement de température de l'air brûlé augmenterait même le tirage, car nous avons vu que le maximum d'effet d'une cheminée a lieu à 300° environ. Mais comme il y a toujours des frottements à vaincre dans les appareils de chauffage, il faudrait employer des cheminées à grandes sections, dont l'effet augmente indéfiniment avec l'accroissement de section, ou un tirage mécanique, si on avait l'emploi utile de toute la chaleur de l'air brûlé.

2° Par une disposition convenable des appareils, qui permettrait de faire marcher en sens contraire l'air brûlé et le corps à échauffer, on peut parvenir à refroidir l'air brûlé à une température seulement suffisante pour le tirage. On pourrait même, dans certains cas, employer la chaleur des corps échauffés dans le fourneau, au chauffage de l'air qui doit alimenter les foyers; alors on ne dépenserait que la quantité de chaleur rigoureusement indispensable.

1756. Dans tous les cas, il faut chercher à rendre le travail continu, afin d'éviter les pertes de chaleur qui ont lieu par le refroidissement des appareils quand le travail est intermittent.

1757. Mais l'utilisation complète de la chaleur perdue n'est pas toujours possible; quelquefois les appareils seraient trop compliqués, d'autres fois on n'a pas l'emploi utile de cette chaleur; mais ces cas sont rares, et il y a réellement peu d'usines dans lesquelles un ingénieur intelligent ne puisse parvenir à réaliser de grandes économies de combustible.

Nous allons maintenant passer en revue quelques industries auxquelles il est facile d'appliquer les principes que nous venons d'exposer



1758. *Fabrication de la chaux.* La chaux s'obtient, comme on sait, en calcinant à la chaleur rouge la pierre à chaux (carbonate de chaux), dans des fours disposés de différentes manières; l'acide carbonique se dégage par la seule influence d'une température élevée. Les fours à chaux généralement employés sont disposés comme l'indique la figure 1 (pl. 105). Le four est ovoïde, creusé dans les flancs d'une butte, et revêtu intérieurement d'une enveloppe de briques réfractaires. On forme une voûte AB avec de gros morceaux de pierre à chaux, et on remplit le reste de la capacité C du four, avec des morceaux de pierre plus petits, entassés sans ordre. Le foyer est en D; le combustible s'introduit par l'ouverture F, et l'air nécessaire à la combustion pénètre dans le foyer par l'ouverture E, pratiquée au sommet de la voûte d'un canal qui communique avec l'extérieur. On peut employer comme combustible des menues branches d'arbres, de la tourbe, ou du bois. Par cette disposition, le travail est intermittent; il y a beaucoup de chaleur perdue, surtout à la fin de l'opération, pour calciner les pierres qui se trouvent à la partie supérieure; l'accès de l'air dans le foyer est fort mal disposé; et enfin la combustion n'ayant pas lieu sur grille, doit être très-imparfaite.

1759. Les figures 2 et 3 représentent en plan et en coupe verticale, un four à chaux destiné à brûler de la tourbe. La combustion a lieu sur une grille.

1760. On emploie aussi des fours continus, dans lesquels la chaux et le combustible sont placés par lits alternatifs; le combustible est toujours alors de la houille ou du coke. Ces fours sont coniques et garnis à la partie inférieure de plusieurs orifices par lesquels on enlève la chaux cuite. Pour mettre ces fours en activité, on y jette quelques fagots que l'on recouvre de houille, on y met le feu, et on ajoute ensuite des couches successives de pierre à chaux et de houille, jusqu'à ce que le four soit plein. La combustion se propage de proche en proche; lorsqu'il ne se dégage plus de fumée et qu'on reconnaît que la combustion a gagné les couches supérieures, on enlève par le bas, à peu près les deux tiers de la charge et on remplit le fourneau comme précédemment. Les petits fours produisent 12 hectolitres de chaux par jour, les plus grands de 90 à 100. On emploie 1 volume de houille ou 1 volume $\frac{1}{2}$ de coke pour 4 volumes de pierre à chaux.

Ces fours ne fonctionnent pas d'une manière assez continue; pendant



une grande partie de l'opération, l'air brûlé s'échappe à une température très-élevée; enfin le combustible est mal brûlé, et il doit se former une grande quantité d'oxyde de carbone.

1761. La disposition indiquée dans la figure 4, et qui est due à Rumfort, tout en satisfaisant à la continuité du travail, évite l'inconvénient d'une mauvaise combustion. Le foyer est latéral, et le combustible est brûlé sur grille. Mais ce four, avec un seul foyer, ne produit pas dans toutes les sections horizontales une température assez uniforme, et la chaux n'est pas également cuite.

1762. Le four représenté en élévation, en coupe verticale et en plan, par les figures 5, 6 et 7, est disposé de la même manière que celui de Rumfort; mais comme il y a quatre foyers et autant d'orifices pour dégager la chaux cuite, la température doit être distribuée d'une manière beaucoup plus uniforme, et ce four doit donner de bien meilleurs résultats que tous ceux que nous avons décrits précédemment.

1763. L'appareil dont la figure 8 est une coupe verticale, serait à mon avis, préférable encore, à cause de l'uniformité avec laquelle se répartit l'air brûlé. A la partie inférieure du four se trouvent deux foyers à grilles, surmontés de voûtes en briques, percées de nombreux orifices par lesquels se dégage l'air brûlé; la face supérieure des voûtes est plane et inclinée vers les orifices par lesquels on extrait la chaux cuite; enfin le gueulard du four peut être fermé par une plaque qu'on fait mouvoir au moyen d'une chaîne, afin d'empêcher l'air froid de pénétrer dans le four pendant qu'on enlève la chaux cuite. Ce four n'a pas été exécuté; mais il n'est pas douteux qu'il donnerait de meilleurs résultats que ceux qu'on a employés jusqu'ici.

1764. *Fours à plâtre.* On cuit ordinairement le plâtre dans des fours qui ont beaucoup d'analogie avec le four à chaux représenté figure 1^{re} (pl. 105). On arrange les blocs les plus gros entre deux murailles, de manière à former une suite de voûtes appuyées les unes sur les autres, on forme en avant une muraille avec les mêmes matériaux, et on remplit de morceaux menus, l'intervalle qui se trouve entre les trois murs permanents du four et celui dont nous venons de parler. Les espaces, terminés supérieurement par les voûtes, servent de foyers, et on y brûle des branchages et du bois menu; un grand excès d'air pénètre nécessairement par l'ouverture libre du foyer.



Depuis quelques années on a imaginé de cuire le plâtre par la chaleur perdue des fours à coke. Mais les appareils sont très-mal disposés, car on n'utilise réellement que la température des gaz et non la chaleur qu'ils pourraient produire s'ils étaient brûlés complètement. Les figures 9, 10 et 11 (pl. 105) donnent une idée de la disposition de l'appareil; la figure 9 est une élévation; la figure 10, une coupe verticale par le milieu du four; et la figure 11, une coupe horizontale au niveau du sol du four à plâtre. A est le four à coke. B, un espace dans lequel se réunissent les gaz qui sortent du four, et d'où ils passent dans le four à plâtre C, par un grand nombre de petites ouvertures *a, a, a*. Les cheminées D, D, servent à faire dégager ces gaz lorsqu'on charge ou qu'on décharge le four à plâtre.

Pour employer à la cuisson du plâtre la chaleur et les gaz combustibles perdus dans la fabrication du coke, il faudrait introduire un courant d'air dans les gaz qui sortent du four, afin de brûler ceux qui ne le sont pas, et au delà de la flamme un autre courant d'air plus considérable, afin d'abaisser la température du mélange au moins à 200° ou 300°, attendu que la cuisson du plâtre s'effectue à une température peu supérieure à 100°, et qu'une température trop élevée en altère la qualité.

1765. Les figures 12 et 13 représentent une élévation et une coupe verticale d'un four à plâtre construit par MM. Thomas et Laurens. La chaleur est fournie par deux foyers à houille A, A; les gaz qui proviennent de la combustion se dégagent par les orifices *a, a*; de larges espaces B, B, B, garnis de registres glissants, admettent de l'air extérieur en quantité suffisante pour abaisser la température des gaz à la limite convenable; et le mélange pénètre dans le four par les orifices *b, b*, uniformément répartis sur le sol du four. La température du plâtre cuit ne dépassant pas 100°, la continuité dans le travail n'est pas aussi importante dans les fours à plâtre que dans les fours à chaux.

1766. *Fours à briques.* Dans les fours à briques, tels qu'on les construit maintenant, il y a une très-grande quantité de chaleur perdue, surtout à la fin de l'opération, quand il faut élever à la température rouge les briques qui sont les plus éloignées des foyers. Il serait cependant très-important de réduire autant que possible la consommation de combustible, parce que la valeur du combustible brûlé entre pour une très-



grande proportion dans le prix de revient de cet élément si important des constructions.

1767. On y parviendrait facilement au moyen de la disposition suivante. Imaginons un certain nombre de fourneaux, six par exemple, rangés circulairement autour d'une cheminée, fig. 14, 15 et 16 (pl. 105); supposons que chaque four ait un ou plusieurs foyers, et puisse communiquer par sa partie supérieure et sa partie inférieure avec le four suivant et avec la cheminée commune, toutes ces ouvertures étant pourvues de registres en fonte, ou en briques placés dans des cadres de fer; et représentons par A, B, C, D, E, F, les six fours consécutifs, dont le dernier communique avec le premier. Les trois ou quatre premiers fours étant remplis de briques sèches, on allumera le foyer de A, en faisant sortir l'air brûlé par sa partie supérieure pour gagner la cheminée. Lorsque ce four commencera à s'échauffer, on fera passer l'air brûlé de haut en bas dans le four B, et plus tard de bas en haut dans le four C. Lorsque les briques du four A seront cuites, on fermera exactement les portes du foyer et du cendrier de ce four, ainsi que sa communication avec la cheminée, on allumera le foyer du four B, et on fera passer l'air brûlé par les fours C, D et E, et ainsi de suite. Le nombre des fours, la durée des opérations, celle du refroidissement de chaque four, et celle du chargement et du déchargement, devront être déterminés de manière qu'il n'y ait jamais d'interruption dans la marche des opérations, et que quand on allumera le foyer de F, le four A soit refroidi, que les briques cuites en aient été enlevées et remplacées par des briques crues. Par ce système d'opération, on utilise presque toute la chaleur produite dans les foyers, et on peut placer dans les fours des briques crues moins sèches que lorsqu'on suit les méthodes ordinaires, attendu que dans chaque four, les briques sont traversées par des courants d'air chaud dont la température croît très-lentement. Ce mode de fabrication que j'ai indiqué il y a longtemps, dans mes cours à l'École centrale, a été mis en pratique à Toulouse par M. Boistel, ingénieur civil, ancien élève de l'école.

Ce système d'opération s'appliquerait facilement à la fabrication de la chaux.

1768. *Fourneaux à réverbère.* Dans tous les fourneaux à réverbère, la quantité de chaleur utilisée n'est jamais qu'une très-petite partie de celle qui est produite dans le foyer, parce que l'air brûlé est toujours

abandonné à une très-haute température. Dans un grand nombre de cas, on peut utiliser la chaleur perdue pour échauffer les corps sur lesquels on doit opérer, et pour cela il suffit que les fours soient allongés ou formés de plusieurs étages, parcourus successivement par l'air brûlé. La chaleur perdue peut aussi être employée à produire des actions chimiques qui n'exigent pas une température aussi élevée que les opérations qui s'exécutent dans le premier four. Je citerai comme exemple, les fours employés pour la décomposition du sulfate de soude par le charbon, opération qui exige une température très-élevée. A l'origine des fabriques de soude, et même longtemps après, on perdait complètement la chaleur renfermée dans les gaz qui sortaient de ces fours; mais plus tard on plaça immédiatement après, les fours dans lesquels on décompose le sel marin par l'acide sulfurique, et où l'on calcine le sulfate produit; la chaleur perdue des premiers fut suffisante pour le travail des derniers, et on économisa complètement le combustible que ceux-ci consommaient auparavant.

Quand l'utilisation de la chaleur n'exige pas des circuits trop prolongés de l'air brûlé, et quand la température de la fumée n'est pas abaissée au-dessous de 150 à 200°, le tirage de la cheminée est peu diminué, parce que le refroidissement seul de l'air brûlé à 300° l'augmente, et qu'un refroidissement plus considérable le diminue très-peu; d'ailleurs, comme les cheminées doivent toujours avoir un excès de puissance due à un excès de section, une plus grande ouverture du registre compenserait la perte de tirage.

1769. Mais quand on a l'emploi de toute la chaleur perdue, et qu'on peut disposer d'une action mécanique, il y a bien plus d'avantage à produire l'appel de l'air dans le foyer par une machine, que de conserver à l'air brûlé une température assez élevée pour effectuer le tirage. Pourvu toutefois que l'action mécanique provienne de la chaleur, car le travail des hommes et des animaux revient partout à un prix beaucoup plus élevé.

1770. Il y a même des circonstances dans lesquelles un tirage mécanique, ou une introduction forcée de l'air dans le foyer, évite de graves inconvénients; je citerai comme exemple les verreries. Dans les fours où l'on fond le verre, il n'y a point réellement de cheminée, le tirage résulte de la force ascensionnelle de l'air chaud dans la hauteur du four, et ce faible tirage est souvent influencé par les vents. D'après des ren-



seignements qui m'ont été donnés par M. Fontenay, ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale, dans un four à verre, dont la halle était placée dans une gorge étroite, la fonte ne marchait que par certains vents; mais en établissant à côté des cendriers un ventilateur à force centrifuge mis en mouvement par un homme, le travail a été rendu indépendant du vent. Le ventilateur marche seulement pendant la fonte qui dure 14 heures; deux ouvriers qui se relayent d'heure en heure, suffisent pour effectuer une combustion de près de 200 kilogr. de bois par heure. Les creusets ont 1 mètre de hauteur sur 0^m,30 de largeur, et les grilles sont en terre cuite.

1771. *Fourneaux dans lesquels on utilise une grande partie de la chaleur produite, en faisant marcher les corps qui doivent être échauffés, en sens contraire du courant d'air brûlé.* La revivification du noir animal, dans les raffineries de sucre, s'exécute ordinairement dans des cylindres de fonte que l'on chauffe progressivement jusqu'au rouge obscur. On conçoit facilement que ces cylindres pourraient être portés par des axes, sur deux barres de fonte parallèles entre elles, perpendiculaires à la direction des barreaux de la grille, qui se prolongeraient dans l'espèce de four qui se trouve à côté du foyer, et qui seraient un peu inclinés vers lui; les cylindres arriveraient progressivement vers le foyer au-dessus duquel l'opération se terminerait.

L'appareil, figures 1^{re} et 2 (pl. 107), qui est employé dans plusieurs établissements, avec de légères modifications, satisferait à la condition que nous avons énoncée. Dans ce fourneau, les cylindres sont mobiles sur deux barres de fonte; l'air brûlé en parcourt successivement les surfaces supérieures et les surfaces inférieures, et ensuite la surface inférieure d'une caisse rectangulaire en tôle sur laquelle on fait sécher le noir épuisé avant de l'introduire dans les cylindres. Les barres sur lesquelles roulent les axes des cylindres, sont plus élevées au-dessus du foyer qu'à l'extrémité du four, et les cylindres se chargent près du foyer. En changeant la pente des barres, en allongeant le four, et en introduisant d'abord les cylindres par la partie la plus éloignée du foyer, on obtiendrait certainement de meilleurs résultats. Cependant, comme la chaleur que renferme l'air brûlé en sortant du four, est employée en grande partie à chauffer la caisse de tôle sur laquelle on sèche d'abord le noir, la modification indiquée n'aurait pas un grand avantage; mais elle en aurait

un très-grand, dans le cas où la fumée du four serait versée dans la cheminée immédiatement après avoir quitté les cylindres.

1772. *Utilisation de la chaleur perdue par les gaz combustibles qui se dégagent des hauts fourneaux.* Indépendamment de la perte de chaleur provenant de la haute température à laquelle l'air brûlé est abandonné dans la plupart des appareils de chauffage, il existe dans quelques-uns, une cause de perte beaucoup plus considérable encore, qui provient de ce que les gaz qui se dégagent renferment beaucoup de gaz combustibles. C'est ce qui arrive pour les fours à coke, pour les hauts fourneaux, et pour tous les appareils dans lesquels il est important de ne pas oxyder les matières soumises à l'action de la chaleur, et qu'on ne peut mettre en contact qu'avec des gaz qui ont été dépouillés d'oxygène en passant à travers des couches épaisses de combustible incandescent, où ils se chargent toujours d'une quantité plus ou moins considérable d'oxyde de carbone ou de carbures d'hydrogène. Alors, pour utiliser la chaleur et le combustible perdus, il faut brûler complètement les gaz avant de les faire passer dans les appareils qui doivent en absorber la chaleur.

Nous insistons principalement sur la chaleur perdue dans les hauts fourneaux, parce qu'elle est très-considérable, et que l'utilisation de cette chaleur est d'une grande importance dans la métallurgie du fer. Nous exposerons succinctement les différents essais qui ont été faits à ce sujet.

1773. Le premier emploi de la flamme des hauts fourneaux paraît avoir été fait en 1812 par M. Aubertot, à la cuisson de la chaux et des briques. Le rapport très-détaillé de M. Berthier sur les appareils de M. Aubertot, contient l'indication de presque tous les usages auxquels on pourrait employer la chaleur perdue des hauts fourneaux et des fourneaux à réverbère qui servent au travail du fer; mais M. Berthier ne prévoyait pas alors que, par la combustion des gaz qui sortent des gueulards, on pourrait produire une température aussi élevée que celle qu'exige la réduction de la fonte.

1774. En 1829, à la suite de la découverte de MM. Neilson et Taylor, relative à l'emploi de l'air chaud dans le travail du fer, des calorifères de différentes formes furent placés sur les gueulards des hauts fourneaux.

1775. De 1834 à 1835, M. Houzeau-Muyron plaça à côté du gueulard, des appareils dans lesquels le bois était torréfié par la chaleur perdue.



1776. A la même époque, MM. Thomas et Laurens commencèrent à construire des chaudières à vapeur, destinées à faire mouvoir les machines soufflantes, et qui étaient chauffées par la chaleur perdue des hauts fourneaux ; les foyers étaient à une distance de 0^m,50 des bords des gueulards, et les gaz étaient brûlés sous les chaudières par des courants d'air dont la section était réglée par des registres.

1777. En 1837, M. Robin, directeur des forges de Niederbronn, parvint à chauffer, par les gaz perdus des hauts fourneaux, des chaudières à vapeur placées loin des gueulards. Mais comme M. Robin prenait les gaz immédiatement au-dessous de la plaque du gueulard, maintenue fermée, l'écoulement était interrompu toutes les fois qu'on chargeait le fourneau ; il fallait alors rallumer les gaz après chaque charge, et par conséquent on n'obtenait pas un chauffage régulier.

1778. En 1839, MM. Thomas et Laurens imaginèrent pour l'utilisation des gaz des hauts fourneaux, plusieurs dispositions très-importantes qui consistent : 1° dans un appareil au moyen duquel on obtient un écoulement permanent de gaz ; 2° dans un appareil qui dépouille les gaz des poussières qu'ils entraînent ; 3° dans une disposition particulière des foyers à gaz.

1779. L'appareil destiné à produire un écoulement permanent, a déjà été indiqué (1018) ; il consiste en un cylindre de fonte ouvert par les deux bouts, et qui forme l'orifice du gueulard ; sa capacité est égale au volume de une à deux charges, et son orifice inférieur descend dans le fourneau à la profondeur où les gaz n'exercent plus d'action chimique sur le minerai. Les gaz qui montent principalement contre les parois du fourneau, se réunissent dans l'espace annulaire compris entre le cylindre et la partie supérieure rélargie du fourneau, et s'écoulent de là sans interruption par les tuyaux de conduite.

1780. L'appareil employé au nettoyage des gaz est fondé sur le même principe que celui que nous avons indiqué (888), pour séparer de la vapeur l'eau qu'elle entraîne ; il consiste en une cloche communiquant par sa partie supérieure avec le tuyau de conduite, ouverte par le bas, reposant dans un vase plein d'eau, et garnie latéralement, vers le haut, d'un tuyau qui aboutit au foyer. Les gaz arrivent verticalement, à une petite distance de la surface de l'eau renfermée dans la cloche ; alors les matières en suspension, en vertu de leur inertie, se précipitent dans



l'eau où elles restent, tandis que les gaz purifiés se dégagent par le tube latéral.

1781. Enfin les foyers, dont nous avons déjà parlé (680), consistent en un grand nombre de tubes par lesquels se dégagent les gaz, et qui sont environnés d'autres tubes concentriques formant avec les premiers des espaces annulaires par lesquels sort l'air lancé par la machine soufflante; l'air et les gaz sont fortement échauffés par la chaleur perdue du fourneau avant d'arriver dans les becs de combustion.

1782. MM. Thomas et Laurens, de concert avec MM. Dandelarre et de Lisa, propriétaires des forges de Treveray, commencèrent à cette époque à s'occuper de l'application en grand du chauffage des fours à travailler le fer par la combustion des gaz.

1783. Dans la même année, M. Bunsen de Cassel publia un mémoire très-remarquable sur la composition des gaz des hauts fourneaux. Il résulte des analyses faites par ce chimiste, que la quantité d'acide carbonique diminue et que celle de l'oxyde de carbone augmente dans les gaz pris à des profondeurs croissantes. M. Bunsen remarque que les gaz pris à une distance du gueulard égale à peu près au tiers de la hauteur du fourneau, et qui contiennent 0,33 d'oxyde de carbone, exigent pour leur combustion un volume d'oxygène égal à celui qu'ils renferment, et par conséquent, d'après la loi de Velter, que la quantité de chaleur utilisée dans le fourneau est seulement la moitié de celle que le charbon employé peut produire, et que ces gaz, préalablement échauffés ainsi que l'air, peuvent acquérir, par la combustion, la température nécessaire à la fusion de la fonte. Mais ces calculs conduisaient à faire regarder cette opération comme impossible par la combustion des gaz pris au sommet du fourneau, qui ne renferment que 0,25 d'oxyde de carbone.

1784. Dans le même volume des Annales des mines, se trouve un mémoire de M. Ebelmen sur la composition des gaz du haut fourneau de Clerval. La proportion d'oxyde de carbone s'élève seulement de 0,15 à 0,16; mais M. Ebelmen, en employant pour la puissance calorifique de l'oxyde de carbone le nombre obtenu par Dulong, trouve que ces gaz brûlés avec de l'air à 300°, peuvent produire une température assez élevée pour liquéfier la fonte.

1785. Le 21 juin 1841, MM. Thomas et Laurens, conjointement avec MM. Dandelarre et de Lisa, firent connaître à l'Académie des sciences



les résultats qu'ils obtenaient, en travail régulier, pour le chauffage des fours à pudler, par la combustion des gaz qui se dégagent des hauts fourneaux. D'après leur note, le four à pudler établi à l'usine de Treveray, marchait régulièrement depuis un mois et convertissait en fer 3000 kilogr. de fonte par jour, quantité plus grande que celle qui est produite par le haut fourneau. La qualité du fer ne différait pas de celle du fer obtenu par l'affinage au charbon de bois.

1786. Le 16 août suivant, M. Faber-Dufaur fit parvenir à l'Académie des sciences une note, dans laquelle il annonçait qu'il était lui-même parvenu, dans l'usine de Wasseralfingen, et depuis plusieurs années, à fabriquer le fer par les gaz des hauts fourneaux; mais que tous ses essais avaient été tenus secrets par ordre de l'administration.

1787. A la fin de la même année, M. Ebelmen a publié une série d'expériences nouvelles sur les gaz des fourneaux de Clairval et d'Audincourt, pris à différentes profondeurs. Il résulte des analyses faites par cet habile chimiste : 1° que l'air injecté dans les fourneaux se transforme rapidement et à une petite distance de la tuyère, d'abord en acide carbonique, et ensuite en oxyde de carbone; 2° que la quantité d'acide carbonique que renferment les gaz augmente, et que celle d'oxyde de carbone diminue à mesure que les gaz s'élèvent dans le fourneau, ainsi que M. Bunsen l'avait déjà observé; 3° que les gaz, au sommet du haut fourneau de Clairval, sont composés en volumes, de 12,88 d'acide carbonique, de 23,31 d'oxyde de carbone, de 5,82 d'hydrogène, et de 57,79 d'azote. Que ceux du haut fourneau d'Audincourt sont formés de 12,59 d'acide carbonique, de 25,24 d'oxyde de carbone, de 6,75 d'hydrogène et de 55,62 d'azote; 4° que les pertes de combustible, dans ces hauts fourneaux, s'élèvent à 0,62 pour le premier, et à 0,67 pour le second. Le premier fourneau marche au charbon de bois, le second avec un mélange de bois et de charbon de bois.

1788. Enfin M. Delesse, élève-ingénieur des mines, a publié dans les Annales des mines de 1842, une description détaillée des appareils de M. Fabre-Dufaur, établis à l'usine de Wasseralfingen et dans d'autres usines d'Allemagne. Les particularités qui caractérisent ces appareils sont 1° la prise des gaz à une distance du gueulard égale au tiers de la hauteur du fourneau, afin d'obtenir des gaz très-riches en oxyde de carbone et ne contenant que peu de vapeur d'eau; 2° la combustion des gaz arrivant



en une seule veine dans les foyers des fourneaux, par de l'air lancé par 7 buses seulement; 3° l'absence complète de toute disposition destinée à enlever aux gaz les matières solides qu'ils entraînent.

1789. D'après les détails que nous venons de donner, on voit que les essais relatifs au chauffage des fours employés au travail du fer, par les gaz qui se dégagent des hauts fourneaux, ont été faits à peu près à la même époque en France et en Allemagne. Mais la priorité d'invention appartient aux métallurgistes français qui ont fait connaître les premiers les résultats qu'ils avaient obtenus. La propriété légale de cette importante amélioration dans le travail du fer, leur est acquise également par des brevets antérieurs à ceux qui ont été pris pour les procédés allemands.

1790. Du reste, les dispositions des appareils employés en France me paraissent bien supérieures à celles des appareils dont on se sert en Allemagne.

D'abord, la prise de gaz ne peut être faite qu'au-dessus du fourneau; car il est bien évident que l'on ne gagne rien à la faire au-dessous, l'excès de matière combustible que renferment les gaz devant nécessairement être compensé par un accroissement de consommation de charbon dans le fourneau. D'ailleurs, cette prise de gaz au-dessous du gueulard change nécessairement l'allure du fourneau, car si on prenait tous les gaz, tout se passerait comme si le fourneau se terminait au niveau de la prise. Enfin on doit chercher à utiliser tous les gaz qui se dégagent; car la chaleur qu'ils peuvent produire est insuffisante pour le chauffage de l'air d'insufflation, le travail des machines soufflantes, et le chauffage d'un four à pudler qui affinerait toute la fonte produite dans le fourneau. Alors la disposition de la prise de gaz autour du cylindre métallique qui forme l'ouverture du gueulard, dans la disposition employée à Treveray, semble ne rien laisser à désirer.

Le nettoyage des gaz, d'après les expériences faites aux forges de Treveray, est une précaution indispensable, car les matières entraînées nuisent au soudage du fer et en altèrent toujours la qualité. Ces matières sont en quantité tellement considérable, que chaque jour on est obligé d'enlever les dépôts qu'elles forment dans le vase plein d'eau où elles viennent se précipiter; par une disposition particulière, ces dépôts sont enlevés sans qu'on soit obligé d'interrompre l'écoulement des gaz et sans que les ouvriers soient exposés à les respirer.



Enfin les appareils de combustion employés en France sont bien plus avantageux que ceux qui ont été imaginés par M. Faber-Dufaur, parce que l'air et les gaz sont plus divisés ; qu'on peut régler plus facilement les quantités relatives de ces gaz qui sont mis en contact, et qu'on peut obtenir une combustion plus complète en n'employant qu'un excès d'air beaucoup plus petit, circonstance qui exerce une grande influence sur la température produite.

1791. La perte de combustible, dans un haut fourneau, varie suivant sa construction, son allure et la nature de la mine ; dans le même haut fourneau, avec la même mine et le même combustible, elle varie même dans des limites assez étendues ; par exemple, d'après M. Ebelmen, la consommation du fourneau de Clairval était de 122 kilogr. de charbon par 100 kilog. de fonte lors de ses premières expériences, et de 148 pendant les dernières ; on attribuait l'accroissement de dépense à la diminution du vent.

1792. Nous avons déjà dit que, d'après les expériences de M. Ebelmen, les pertes de combustible dans les fourneaux de Clairval et d'Audincourt étaient égales à 0,62 et 0,67 du combustible consommé. Ces nombres doivent peu s'éloigner des pertes produites dans la plupart des autres fourneaux marchant au charbon de bois. Mais pour les hauts fourneaux marchant au coke, les pertes sont plus considérables, parce que les quantités relatives de coke employées sont beaucoup plus grandes. Dans les premiers, les quantités de charbon varient de 100 à 160^k, et dans les derniers les quantités de coke s'élèvent de 140 à 220^k.

1793. Dans chaque cas particulier on pourra facilement trouver la quantité de chaleur produite par la combustion d'un mètre cube de gaz, quand on connaîtra sa composition ; et on pourra déterminer le carbone renfermé dans la quantité de combustible correspondante, en prenant pour cette quantité, celle du carbone contenue dans le gaz, diminuée du poids du carbone fourni par la castine.

1794. Quant à la température développée par la combustion des gaz, on ne peut obtenir à cet égard qu'une approximation assez vague, car on ne connaît pas avec certitude la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, et on ne sait absolument rien sur les variations des chaleurs spécifiques des gaz par les accroissements de température ; d'ailleurs, cette température dépendra nécessairement de la quantité d'air qui sera employée,



et, par conséquent, de la disposition des appareils de combustion et des vitesses des courants d'air et de gaz. M. Ebelmen, en admettant que la chaleur spécifique des gaz soit constante, et qu'on n'emploie que la quantité d'air rigoureusement nécessaire, a trouvé que pour les gaz qui se dégagent du gueulard des hauts fourneaux de Clerval et d'Audincourt, la température produite par le combustible serait très-voisine de 1300° ; mais on l'augmenterait de beaucoup en ne mettant les gaz en contact qu'après qu'ils auraient été fortement échauffés. Ces calculs font voir, ainsi que des expériences sur une grande échelle l'ont démontré, que par la combustion de ces gaz, on peut obtenir les plus hautes températures que réclame l'industrie.

1795. Nous terminerons ces considérations générales sur l'emploi des gaz qui se dégagent des hauts fourneaux, par la description du four à pudler établi à Treveray.

La figure 1^{re} (pl. 106) représente une élévation du four; la figure 2, une coupe verticale suivant xx' (fig. 3); la figure 3, une coupe horizontale suivant yy' (fig. 2); la figure 4, une coupe verticale suivant zz' (fig. 2); et la figure 5, une coupe verticale suivant tt' (fig. 2). A est le foyer; l'air fortement échauffé par la chaleur des gaz brûlés à la sortie du four, arrive par le tube d dans la caisse de fonte C, d'où il s'écoule par 50 petits tuyaux qui traversent la boîte S, dans laquelle se rendent par le tuyau b les gaz aussi échauffés, et d'où ils sortent par 50 petits tuyaux qui enveloppent les tubes à air. B est le four disposé comme à l'ordinaire. C, un petit four placé à la suite du premier, chauffé par les mêmes flammes, et dans lequel on porte la fonte au rouge avant de l'introduire dans le four B. D, D, D représentent un canal sinueux que parcourt ensuite l'air brûlé; ce canal est traversé par des tuyaux de fonte qui conduisent l'air au foyer et dans lesquels il prend une haute température. Dans les figures, l'air seulement est échauffé, mais habituellement on chauffe aussi les gaz par le même moyen. E est la cheminée d'écoulement des gaz brûlés. F est une soupape de sûreté en forme de clapet, qui sert à prévenir les effets produits par la détonation d'un mélange d'air et de gaz, dans le cas où l'on allumerait le foyer sans précaution. G et H sont les deux portes du four; derrière les ouvertures de travail g et h , et latéralement, sont placés de petits jets d'air, qui ont pour objet de refouler dans le four, les jets de flamme qui tendent à sortir à cause de



l'excès de pression des gaz. Avec ce four, on réduit à l'état de fer, 3000 kilogrammes de fonte dans 24 heures; le déchet est seulement de 3 à 5 pour cent, au lieu de 6 à 10; et on économise dans le même temps à peu près 2400 kilogrammes de houille, tout en obtenant du fer aussi bon que celui qui proviendrait de l'affinage au charbon de bois.

1796. *Emploi des gaz produits directement, avec différents combustibles, pour le chauffage des fours à haute température.* Nous avons parlé (686) des avantages que présentent les foyers à gaz sous le rapport de la direction du chauffage, de la facilité avec laquelle on rend les flammes oxydantes ou désoxydantes, de la grande économie que présenterait ce mode de chauffage, si les gaz étaient produits par des combustibles pulvérulents ou très-chargés de matières étrangères, qui n'ont qu'une très-petite valeur et sont presque sans usage, et nous avons indiqué l'appareil imaginé par MM. Thomas et Laurens pour produire ces gaz (688). C'est principalement dans les travaux de la métallurgie que ce mode de chauffage serait important, et par l'uniformité des effets qui seraient produits, et surtout parce que les gaz pourraient être dépouillés dans leur préparation même, des matières étrangères nuisibles, que renferment presque toutes les houilles.

1797. *Emploi de la vapeur d'eau à basse pression et à haute température.* Lorsque de la vapeur, à la sortie d'un générateur, s'écoule par un tube placé dans un foyer, elle peut acquérir une très-haute température et un accroissement très-faible de tension. Cette vapeur peut alors être employée avec avantage pour chauffer certains corps, et à cause de la grande chaleur spécifique de la vapeur d'eau, et parce que dans certaines circonstances elle n'exerce aucune des actions chimiques que produirait l'air chaud, même lorsqu'il a servi à la combustion, attendu qu'il n'est jamais entièrement dépouillé d'oxygène.

Ce mode de chauffage a été appliqué, il y a plusieurs années, par MM. Thomas et Laurens, à la revivification du charbon animal. Les fig. 3 et 4 (pl. 107) représentent une coupe du premier appareil qui a été employé pour rendre au noir animal ses qualités primitives. La vapeur, fournie par un générateur à basse pression, arrive par un tube *a*, garni d'un robinet *b*, dans un serpentín *c, c*, placé dans un fourneau BB, dont A est le foyer et C la cheminée. La vapeur échauffée passe par le tuyau *d* garni du robinet *e*, dans le vase en fonte D enveloppé d'une maçonnerie

H. Le vase D est fermé supérieurement par un couvercle E pressé par une vis, et inférieurement par un bouchon conique G, que l'on peut soulever au moyen d'une tringle. A la partie inférieure du vase se trouve un canal annulaire F, dont la surface intérieure est percée d'un grand nombre de petits orifices qui donnent accès à la vapeur qui a traversé les corps renfermés dans le vase, et d'où elle se dégage ensuite par le tuyau *f* muni du robinet *g*. Au moyen de cet appareil MM. Thomas et Laurens ont carbonisé avec un plein succès le bois, les os, et la houille.

Depuis, les mêmes ingénieurs ont fait plusieurs modifications importantes à cet appareil. La flamme et la fumée en sortant du foyer, passent d'abord sous une voûte sur laquelle se trouve étalé le tube traversé par la vapeur, plusieurs fois replié sur lui-même; la fumée passe ensuite au-dessus du tube sous une voûte qui la conduit dans un carneau qui circule autour du vase qui contient le noir; et de là, elle s'écoule dans la cheminée, en passant sous une plaque de tôle sur laquelle on commence à dessécher le noir, avant de l'introduire dans le vase où il doit recevoir l'action de la vapeur. La vapeur échauffée, à son entrée dans le vase de revivification, est à la température de la fusion du plomb; sa force élastique est au plus d'une atmosphère $\frac{1}{4}$, cette pression est suffisante pour vaincre la résistance qu'éprouve la vapeur à traverser le noir, mais elle est trop petite pour fatiguer les joints. Tous les robinets doivent être en fonte, l'expérience ayant fait reconnaître que ceux qui sont en cuivre perdent toujours. Pour les grandes raffineries, on opère à la fois sur 800 litres de noir, et l'opération dure 5 heures. Le noir tel qu'il sort des filtres est placé d'abord sur les plaques de séchage et ensuite dans le vase fermé; il est employé immédiatement à la sortie de cet appareil; le déchet qu'il éprouve est presque nul.

1798. *Moyen de produire des températures beaucoup plus élevées que celles qu'on a obtenues jusqu'ici.* Lorsqu'on brûle un combustible dans un foyer découvert surmonté d'une cheminée, la température du combustible est peu élevée, à cause du petit volume d'air qui le traverse et du rayonnement des surfaces libres. Quand le foyer est fermé, que la hauteur du combustible est suffisante, et que l'air est appelé par une bonne cheminée ou introduit par une machine soufflante, et que la totalité de l'oxygène est transformée en acide carbonique, on obtient dans le foyer le maximum de température qui puisse être produit par

le même combustible, et l'air doit avoir alors la température du combustible lui-même. En supposant que la chaleur spécifique de l'air soit constante, la température produite par la combustion du charbon de bois s'élèverait (247) à peu près à

$$\frac{7000}{0,25 \times 8,20 \times 1,3} = 2631.$$

1799. Mais si l'on employait de l'oxygène pur, le volume de gaz nécessaire à la combustion se trouverait réduit à $8^m,20 \times 0,21 = 1^m,72$; et comme la densité de l'acide carbonique est 1,52, et que sa chaleur spécifique est 0,22, la température du foyer serait de

$$\frac{7000}{0,22 \times 1,72 \times 1,3 \times 1,52} = 9333.$$

Ainsi la température d'un foyer alimenté par de l'oxygène pur est à peu près quatre fois plus grande que quand la combustion a lieu avec l'air atmosphérique. Ce fait est connu depuis longtemps; mais on n'a jamais cherché à remplacer dans la combustion l'air par l'oxygène, à cause du prix élevé de ce dernier gaz. Le procédé le plus économique pour obtenir l'oxygène pur consiste dans la calcination au rouge du peroxyde de manganèse dans des cylindres de fonte; 1 kilog. de cette matière fournit à peu près 20 litres de gaz; ainsi 1 mètre cube d'oxygène exigerait 5 kilogr. de manganèse, qui au prix actuel coûteraient 2^f,50, et il faudrait encore ajouter à cette dépense le prix du combustible consommé et celui de la main-d'œuvre.

1800. On pourrait obtenir, non de l'oxygène pur, mais de l'air beaucoup plus riche en oxygène que l'air atmosphérique, par une simple action mécanique. En effet, l'eau dissout $\frac{1}{16}$ de son volume d'oxygène, et $\frac{1}{30}$ de son volume d'azote, ces gaz étant mesurés sous des pressions égales à celles de ces deux gaz dans l'atmosphère qui pèse sur l'eau, quelle que soit d'ailleurs la force élastique totale de cette atmosphère. Il résulte de là, que le volume d'air renfermé dans l'eau à la température ordinaire est égal à 0,04 du volume de l'eau, et qu'il est composé de 0,34 d'oxygène et de 0,66 d'azote. Supposons maintenant qu'on comprime de l'air dans de l'eau sous une pression de deux atmosphères; qu'on fasse passer cette eau sous un gazomètre; qu'on recueille l'air qui se dégagera; qu'on





le comprime de nouveau dans de l'eau, et qu'on opère de la même manière sur le gaz qui se dégagera de ce liquide après cette nouvelle opération. On obtiendra de l'air qui renfermera successivement 0,34; 0,50; et 0,66 d'oxygène. Mais le travail mécanique consommé serait très-considérable, à cause de la grande masse d'eau sur laquelle il faudrait opérer. En faisant le calcul du prix de revient d'un mètre cube d'air à 0,34 d'oxygène, on trouve qu'il serait au moins équivalent au prix de 8 kilogr. de houille; ainsi cette méthode n'est pas praticable. Mais si on pouvait disposer d'un courant d'eau, sur lequel on établirait une large cloche de tôle dans laquelle une pompe aspirante maintiendrait un vide de 1 à 2 mètres, l'air extrait de l'eau qui se renouvellerait constamment, reviendrait à un prix beaucoup moins élevé. Cette disposition pourrait être étudiée dans le cas où il serait important d'obtenir des températures supérieures à 3000°; le combustible devrait être un gaz très-riche en carbone et en hydrogène, et on disposerait le foyer comme nous l'avons indiqué (680).



CHAPITRE XVI.

DU REFROIDISSEMENT.

1801. Nous nous sommes déjà occupés plusieurs fois du refroidissement, et comme il s'agissait seulement de déterminer l'étendue des surfaces de chauffe des différents appareils de chauffage, et que des variations, même assez considérables, dans l'étendue de ces surfaces, n'en occasionnent que de fort légères dans les effets utiles du combustible consommé, nous avons pu nous contenter d'une approximation assez grossière. Mais il se présente des cas qui exigent une plus grande précision, et d'autres dans lesquels la transmission de la chaleur s'effectue à travers des corps non métalliques, dont il n'a pas encore été question. Dans ce chapitre, nous nous occuperons d'abord de la théorie du refroidissement, et ensuite des dispositions qu'il convient d'employer pour retarder ou accélérer la transmission de la chaleur.

§ 1. — THÉORIE DU REFROIDISSEMENT DES CORPS DANS L'AIR.

1802. Lorsqu'un liquide est renfermé dans un vase de métal ou d'une matière conduisant mal la chaleur, mais d'une très-faible épaisseur, quoique l'on puisse admettre qu'à chaque instant tous les points de la masse sont à la même température, les lois du refroidissement sont très-compliquées; et elles le deviennent bien davantage quand le liquide est enveloppé par un corps mauvais conducteur d'une certaine épaisseur, ou quand le fluide intérieur est de l'air, ou quand toute la masse qui se refroidit est solide. Nous examinerons successivement les différents cas qui se rencontrent dans l'industrie, en cherchant à représenter le refroidissement par des formules simples et d'une application facile.

1803. *Refroidissement d'un liquide renfermé dans un vase métallique,*

ou d'une substance quelconque, mais d'une petite épaisseur. Lorsque le vase est métallique, sa nature et son épaisseur sont sans influence, du moins dans les limites d'épaisseurs généralement employées, et il en est encore de même quand le vase est formé d'un corps mauvais conducteur, dont l'épaisseur est très-petite; parce que l'on peut toujours considérer tous les points du liquide et du vase comme ayant à chaque instant la même température; mais dans tous les cas l'état de la surface extérieure du vase a une grande influence sur le refroidissement.

1804. Les deux formules citées (30), qui résultent de l'hypothèse que la vitesse du refroidissement est proportionnelle à l'excès de la température du corps sur celle du milieu environnant, s'éloignent trop de la réalité, lorsque les différences de température sont très-grandes, pour être employées dans tous les cas; elles ne peuvent servir qu'autant que l'excès de la température du vase sur celle de l'air ne dépasse pas 20 ou 30 degrés, ou que l'on ne cherche pas une grande approximation.

1805. D'après Petit et Dulong, la forme des vases est sans influence, et en désignant par v la vitesse du refroidissement, c'est-à-dire l'abaissement de température qu'éprouverait le corps pendant l'unité de temps, si l'excès de sa température sur celle du milieu environnant restait constant et égal à t , on a

$$v = m(a' - 1) + nt^b \dots \quad (1)$$

La première partie de la valeur de v représente le refroidissement par rayonnement, et la seconde celui qui est dû au contact du gaz environnant. Les quantités a et b sont les mêmes pour tous les corps et pour tous les gaz dans lesquels ils se refroidissent; la première est égale à 1,0077, et la seconde à 1,233. Le coefficient m dépend de la nature et de l'étendue de la surface du corps, ainsi que de la température de l'enceinte; le coefficient n dépend de la nature et de l'élasticité du gaz environnant et de l'étendue de la surface du corps.

Cette formule représente avec une grande exactitude les lois du refroidissement des corps sur lesquels on a opéré, et pour les circonstances variées dans lesquelles ils ont été placés.

1806. Mais malgré l'autorité des noms de Petit et Dulong, il est impossible d'admettre que les lois du refroidissement de tous les corps, dans toutes les circonstances, soient exactement les mêmes, ou du moins qu'elles



ne dépendent que des éléments que renferme la formule. Car, d'abord, la forme du corps doit avoir une certaine influence, parce que la vitesse de l'air et la durée de son contact avec la surface du corps varient nécessairement avec la forme de cette surface. La position du corps peut même en avoir une très-grande; par exemple, un même thermomètre, à très-long réservoir, placé dans les mêmes circonstances, ne se refroidit pas avec la même vitesse quand il est horizontal et quand il est vertical. En second lieu, le pouvoir absorbant d'un même corps variant avec la nature des rayons de chaleur de même intensité qu'il reçoit, la nature des parois de l'enceinte dans laquelle les corps se refroidissent, doit avoir une influence notable sur la vitesse du refroidissement. D'après M. Melloni, quand des rayons de même intensité arrivent sur deux surfaces, l'une couverte de noir de fumée, l'autre de carbonate de plomb, le rapport des quantités de chaleur absorbées est successivement de 0,80; 0,54, et 0,43, quand les rayons émanant d'une lampe, arrivent librement ou après avoir traversé une lame de verre incolore ou une plaque d'alun.

Ainsi on ne peut pas admettre que les lois du refroidissement de Petit et Dulong soient rigoureusement applicables à tous les corps et dans toutes les circonstances; il est cependant probable que dans les cas même les plus exceptionnels, les vitesses réelles diffèrent peu de celles qui résultent de la formule.

1807. Mais comme la formule (1) est trop compliquée pour les usages de l'industrie, nous chercherons à la remplacer par une plus simple, d'une application plus commode dans la pratique; et pour cela, nous rapporterons d'abord un tableau qui renferme les vitesses du refroidissement d'un même thermomètre, quand la boule est nue, argentée et couverte de noir de fumée.

EXCÈS DE TEMPÉRATURE.	THERMOMÈTRE VITREUX.			THERMOMÈTRE ARGENTÉ.			THERMOMÈTRE RECOUVERT DE NOIR DE FUMÉE.		
	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.
260°	24,42	16,32	8,10	10,96	2,86	8,10	32,02	23,92	8,10
240	21,12	13,71	7,41	9,82	2,41	7,41	27,48	20,07	4,41
220	17,92	11,31	6,61	8,59	1,98	6,61	23,10	16,49	6,61
200	15,30	9,38	5,92	7,57	1,65	5,92	19,66	13,74	5,92
180	13,04	7,85	5,19	6,57	1,38	5,19	16,28	11,09	5,19
160	10,70	6,20	4,50	5,59	1,09	4,50	13,57	9,07	4,50
140	8,75	5,02	3,73	4,61	0,88	3,73	11,06	7,33	3,73
120	6,82	3,71	3,11	3,80	0,69	3,11	8,85	5,74	3,11
100	5,56	3,03	2,53	3,06	0,53	2,53	6,94	4,41	2,53
80	4,15	2,22	1,93	2,32	0,39	1,93	5,17	3,24	1,93
60	2,86	1,53	1,33	1,60	0,27	1,33	3,67	2,24	1,33
40	1,74	0,95	0,79	0,96	0,17	0,79	2,20	1,41	0,79
20	0,77	0,43	0,34	0,42	0,08	0,34	1,00	0,66	0,34
10	0,37	0,22	0,15	0,19	0,04	0,15	0,48	0,33	0,15

1808. On voit, d'après ce tableau, combien la loi de Newton est inexacte; car, par exemple, d'après cette loi, la vitesse du refroidissement du verre pour un excès de température de 10 degrés étant 0,37, pour 260 degrés elle devrait être de $0,37 \times 26 = 9,62$, tandis que l'expérience donne 24,42.

1809. La vitesse du refroidissement dû au contact de l'air étant indépendante de la nature du corps, et celle qui provient du rayonnement étant proportionnelle au pouvoir émissif, il serait facile de former des tableaux analogues au précédent, pour tous les corps dont on connaîtrait le pouvoir émissif comparé à celui du verre, de l'argent ou du noir de fumée. Et en déterminant pour chacun de ces corps, la quantité de chaleur émise pendant un certain temps et pour une certaine différence de température, on en déduirait facilement celle qu'ils émettraient pour toute autre différence, attendu que les quantités de



chaleur émises sont proportionnelles aux vitesses du refroidissement.

1810. Mais on peut déduire du tableau précédent des formules très-simples, qui présentent une approximation bien suffisante pour la pratique.

La vitesse du refroidissement croissant plus rapidement que les excès de température, on peut la représenter par la formule

$$v = At(1 + mt) \dots (2),$$

dans laquelle m est un coefficient constant, qu'on déterminera en faisant satisfaire l'équation aux résultats obtenus pour $t = 10^\circ$, et pour $t = 260^\circ$.

On trouve ainsi.

$$\text{Pour le verre} \dots \dots \dots v = At(1 + 0,0065t) \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Pour l'argent} \dots \dots \dots v = At(1 + 0,0051t) \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{Pour le noir de fumée} \dots \dots \dots v = At(1 + 0,0066t) \dots \dots \dots (5)$$

Dans les points intermédiaires ces formules donnent des résultats peu différents de ceux qui sont consignés dans le tableau précédent.

Pour des températures comprises entre 0 et 20° , les facteurs de At seraient : pour le verre, $1 + 0,0039t$; pour l'argent, $1 + 0,011t$; et pour le noir de fumée, $1 + 0,0043t$.

Les pouvoirs rayonnants des métaux polis étant très-peu différents, et ceux des métaux qui sont ternes ou couverts de divers enduits non brillants différant aussi très-peu les uns des autres et de celui du noir de fumée, la seconde formule sera applicable à tous les métaux polis, et la dernière à tous les métaux ternes ou couverts de différents enduits.

1811. Les valeurs A peuvent être déterminées de manière que v représente les quantités d'unités de chaleur perdues par heure et par mètre carré. Pour cela il suffit d'observer le temps du refroidissement d'un vase de différente nature plein d'eau. Je rapporterai seulement les expériences faites sur un vase de fer-blanc. La durée du refroidissement de 31° à 29° a été de $19',45''$, et, par conséquent, de $9'.52'' = 9',87$ pour 1° . Le poids du vase était de $0^k,516$, y compris le poids de l'eau équivalent à celui de l'enveloppe multiplié par la chaleur spécifique du fer; la surface du vase était de $0^m,038$, et la température extérieure de 14° . D'après cela, la quantité de chaleur qui serait transmise par mètre carré, par heure, et pour une différence de température



de 1°, serait égale à $0,516 \cdot 60 : (9,87 \cdot 16 \cdot 0,038) = 5,16$; et la valeur de A sera égale à $5,16 : (1 + 0,011 \times 16) = 4,38$.

1812. On obtiendrait un résultat plus exact en employant la formule

$$v = \frac{(\log T - \log T') 2,3025 \cdot 3600 \cdot p}{t \cdot S}, \quad (6)$$

dans laquelle T et T' sont les excès des températures observées sur celle de l'air; t, le temps en secondes du refroidissement; p, le poids du vase; et S, sa surface. Mais quand les températures observées sont très-rapprochées, qu'elles ne diffèrent que de deux ou trois degrés, la première méthode, qui est plus simple, conduit à très-peu près aux mêmes résultats.

1813. Des expériences faites avec un vase de tôle plein d'eau, dont le refroidissement a été observé lorsqu'il était recouvert de différentes enveloppes minces, ont donné les résultats suivants pour la quantité de chaleur qui serait transmise par heure, par mètre carré, et pour une différence de 1°. Les expériences ont eu lieu lorsque la différence des températures du liquide et de l'air était de 16°.

Tôle mince.....	8,2	unités de chaleur.
Papier blanc fin.....	8,70	
Papier couvert d'une couche de minium.....	9,09	
Papier noirci avec de l'encre.....	8,70	
Noir de fumée déposé par une flamme.....	8,93	
Toile de coton.....	9, "	

On voit, d'après ces résultats, que pour toutes les matières dont la tôle a été recouverte, la transmission est très-voisine de 9; alors pour tous ces corps la valeur de A est de 8,48.

1814. Pour la tôle, la transmission est plus petite et la valeur de A est seulement de 7,72. Deux expériences faites sur un vase de fonte ont donné pour ce dernier métal $A = 7,70$, et $A = 7,65$. Ainsi on peut prendre $A = 7,70$ pour la tôle et la fonte renfermant de l'eau. Ce nombre s'accorde très-bien avec les résultats obtenus dans le chauffage par la vapeur; car on sait que pour une différence de 85°, chaque mètre carré de surface de fonte condense 1^h,80 de vapeur, ou émet $1,80 \times 550 = 990$ unités de chaleur; or, la formule (5) donne, $7,70 \times 85 (1 + 0,0066 \times 85) = 1021$; la différence est aussi petite qu'on pouvait l'espérer, à cause de l'air que renferment toujours les tuyaux et qui ralentit la condensation de la vapeur.



Pour le verre, les matières vitreuses, et les corps couverts de vernis, j'ai trouvé que A était à peu près égal à 6,40.

1815. Quoique les corps n'aient été rangés qu'en trois catégories, il est évident qu'il y en a un grand nombre pour lesquels la valeur de A serait comprise entre celles que nous venons de donner. Par exemple, si un métal très-brillant s'oxydait progressivement, la valeur de A correspondante, qui était d'abord égale à 4,38, passerait d'une manière continue à 7,70, et même ce coefficient pourrait atteindre la valeur qui correspond au noir de fumée. D'ailleurs, les irrégularités de la surface pourraient réellement augmenter indéfiniment la transmission, si on ne comptait pas la surface des aspérités, et c'est ce qui arrive quand les aspérités ne dépassent pas une certaine limite.

1816. *Influence des enveloppes multiples.* Lorsqu'un vase rempli d'eau est environné de plusieurs enveloppes fermées de toutes parts, dont l'air ne peut pas se renouveler, la vitesse du refroidissement diminue avec le nombre des enveloppes suivant une loi qu'il est important de connaître.

Considérons un vase métallique plein d'eau, environné d'une enveloppe de même nature, fermée de toute part de manière que l'air qu'elle contient ne puisse pas se renouveler, et assez éloignée du vase pour que l'air s'y meuve facilement. Désignons par S et S' les surfaces du vase et de l'enveloppe, et par t et t' les excès de leur température sur celle de l'air environnant. Les quantités de chaleur perdues par le vase et l'enveloppe seront égales; et comme, d'après la loi de Newton, elles sont représentées par $KS(t-t')$, et par $KS't'$, K étant la quantité de chaleur perdue par l'unité de surface pendant l'unité de temps et pour une différence de température de 1° , on aura

$$S(t-t') = S't'; \quad \text{d'où} \quad t' = t \frac{S}{S+S'}. \quad (7)$$

Alors la vitesse V du refroidissement du vase qui était représenté par KSt , lorsqu'il était nu, deviendra avec l'enveloppe

$$V = KS \cdot \frac{S't}{S+S'}. \quad (8)$$

1817. Si le vase était recouvert de deux enveloppes, en désignant par S, S', S'' , la surface du vase et celles des deux enveloppes; par t, t', t'' , les excès de leurs températures sur celle de l'air extérieur; les quantités



de chaleur transmises, du vase à la première enveloppe, de celle-ci à la suivante, et de cette dernière à l'air extérieur, seraient $KS (t-t')$; $KS' (t-t'')$, et $KS''t''$, et on aurait

$$\left. \begin{array}{l} S (t-t') = S''t'' \\ S' (t-t'') = S''t'' \end{array} \right\}; \text{ d'où l'on tire, } t'' = t \frac{SS'}{SS'' + SS' + S'S''},$$

et le refroidissement du vase, qui à l'air libre serait KSt , deviendra

$$V = KSt \cdot \frac{S'S''}{SS'' + SS' + S'S''}. \quad (9)$$

1818. Si le vase était recouvert de trois enveloppes, on trouverait de même que son refroidissement serait représenté par

$$V = KSt \cdot \frac{S'S''S'''}{SS'S'' + SS''S''' + S'S''S'''} + SS'S''}. \quad (10)$$

1819. Pour un nombre n d'enveloppes, la vitesse du refroidissement serait égale à la vitesse du refroidissement à l'air libre, multiplié par le produit des surfaces de toutes les enveloppes, et divisé par la somme des produits différents $n-1$ à $n-1$ des surfaces du vase et des enveloppes.

1820. J'ai fait quelques expériences pour vérifier l'exactitude de ces formules, et j'ai obtenu des résultats qui s'accordent assez bien avec le calcul. J'ai d'abord employé un vase de fer-blanc, cylindrique et terminé par deux cônes; les enveloppes avaient la même forme, et leur distance était à peu près de $0^m,005$. Les surfaces du vase et des enveloppes étaient dans le rapport des nombres 260, 320, 420, 480 et 560. Dans les mêmes circonstances, les vitesses du refroidissement du vase nu, et recouvert successivement de 1, 2, 3 et 4 enveloppes, ont été

$$1; 0,60; 0,43; 0,36; 0,30.$$

En opérant avec le même vase recouvert d'un vernis noir, d'abord nu, et ensuite recouvert de 1, 2, 3 et 4 enveloppes en tôle, de même forme et de mêmes surfaces que les vases de fer-blanc des expériences précédentes, les vitesses du refroidissement ont été

$$1; 0,59; 0,44; 0,34; \text{ et } 0,31.$$

Tandis que les vitesses qui résulteraient des formules, sont

$$1; 0,57; 0,41; 0,33; \text{ et } 0,28.$$

1821. Si les surfaces des enveloppes différaient peu les unes des autres, en les regardant comme égales, la différence des températures de deux enveloppes consécutives serait constante, et on aurait

$$t' = t : (n + 1); \quad \text{d'où} \quad V = KSt \cdot \frac{1}{n+1}; \dots \quad (11)$$

et pour 1, 2, 3 et 4 enveloppes, les vitesses relatives du refroidissement seraient $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}$.

1822. Quand les enveloppes ont des pouvoirs rayonnants très-différents, les calculs deviennent compliqués. Je rapporterai seulement une expérience faite sur le vase recouvert d'un vernis noir, et les enveloppes en fer-blanc dont j'ai déjà parlé; les vitesses du refroidissement du même vase nu, et environné de 1, 2, 3 et 4 enveloppes, ont été

1; 0,38; 0,35; 0,30; 0,25.

1823. Voici les résultats obtenus avec des enveloppes de verre. Un vase de fer-blanc ayant été exposé à l'air sans enveloppe, et ensuite sous une cloche de verre, les vitesses du refroidissement, dans les mêmes circonstances, ont été dans le rapport des nombres 1 et 0,78. La surface du vase était de 0^m,026, et celle de la cloche de 0^m,032. Pour le même vase recouvert de vernis noir et la même cloche, le rapport des vitesses du refroidissement a été celui de 1 à 0,50. Les résultats ont été sensiblement les mêmes pour les cloches de verre ayant 0^m,0446 et 0^m,0611. Pour une autre cloche de 0^m,1350, le rapport précédent a été celui de 1 à 0,61. Ainsi on peut admettre que quand les corps ont un grand pouvoir rayonnant, la vitesse du refroidissement est diminuée presque de moitié par une enveloppe de verre dont la surface n'excède pas le triple de la surface du corps.

1824. Le même vase de fer-blanc recouvert d'un vernis noir, étant environné successivement de 1, 2, 3 et 4 cloches de verre séparées par un intervalle de 0^m,005, les vitesses de refroidissement, dans les mêmes circonstances, ont été 1; 0,50; 0,41; 0,34; et 0,30. En plaçant autour du vase les deux dernières cloches, la vitesse relative du refroidissement a été de 0,42.

Chacune des cloches de verre employées dans ces expériences, était percée au sommet d'un orifice à travers lequel passait la tige du thermomètre du vase plein d'eau, et reposait sur une table de bois recou-



verte d'une lame de ouate; on avait pris les précautions nécessaires pour éviter le passage de l'air par les orifices des cloches.

1825. Si les enveloppes étaient assez rapprochées pour que l'air ne pût pas circuler dans les intervalles qui les séparent, ou si on avait fait le vide entre toutes les enveloppes, la vitesse du refroidissement serait beaucoup plus petite que dans le cas que nous avons examiné, parce que la transmission de la chaleur n'aurait lieu que par rayonnement. Dans le cas dont il s'agit, en désignant par R la vitesse du refroidissement due au rayonnement, la vitesse totale étant toujours représentée par K : pour une seule enveloppe on aurait

$$SR(t - t') = S'K t'; \quad \text{d'où } t' = \frac{SRt}{S'K + SR}, \quad \text{et } V = \frac{SS'KRt}{S'K + SR}. \quad (12)$$

Pour deux enveloppes on aurait

$$\left. \begin{aligned} SR(t - t') &= KS''t'' \\ S'R(t' - t'') &= KS''t'' \end{aligned} \right\}; \quad \text{d'où } t'' = \frac{SS'Rt}{KS''(S+S') + RSS'}; \quad \text{et } V = \frac{SS'S''KRt}{KS''(S+S') + RSS'}. \quad (13)$$

Pour trois enveloppes on aurait

$$V = \frac{SS'S''S'''KRt}{KS'''(SS'' + S'S'' + SS') + RSS'S''}. \quad (14)$$

Et pour un nombre quelconque n d'enveloppes, en désignant par $S^{(n)}$ la dernière enveloppe, par Σ la somme des produits de toutes les surfaces $S, S', S'' \dots S^{(n-1)}$, $n-1$ à $n-1$, on aurait

$$V = \frac{SS'S'' \dots S^{(n)} \cdot KRt}{KS^{(n)}\Sigma + R \cdot SS'S'' \dots S^{(n-1)}}. \quad (15)$$

Mais si les enveloppes sont très-rapprochées, chacune d'elles différera peu de celle qui précède et de celle qui suit; et si elles sont très-nombreuses, les termes dont Σ se compose ne différeront pas sensiblement les uns des autres; alors on aura

$$\Sigma = nS'S''S''' \dots S^{(n-1)}; \quad \text{et } SS'S'' \dots S^{(n-1)} = S'S''S''' \dots S^{(n)};$$

et la formule précédente se réduira à

$$V = \frac{SKRt}{Kn + R}; \quad \text{et à } V = \frac{SRt}{n}. \quad (16)$$

Car nK est alors très-grand par rapport à R . Ainsi dans ce cas, la vitesse du refroidissement est en raison inverse du nombre des enveloppes.

Cette formule est la même que celle à laquelle on aurait été conduit si on avait supposé toutes les surfaces égales. On aurait pu prévoir d'avance qu'il devait en être ainsi ; car la transmission de la chaleur d'une enveloppe à la suivante, étant la même pour toutes, les excès de température doivent être en raison inverse de l'étendue des enveloppes, et le décroissement progressif de la différence des températures des enveloppes compense l'accroissement de leurs surfaces.

Si les enveloppes étaient très-rapprochées et en métal poli, pour des températures peu élevées, on aurait sensiblement $R = 0,2K$; et pour 1, 2, 3, 4 et 5 enveloppes, les vitesses du refroidissement seraient

1; 0,54; 0,37; 0,28; 0,23.

1826. *Influence des enveloppes ouvertes à la partie supérieure et à la partie inférieure.* Les enveloppes dont il est question, ralentissent le refroidissement dû au rayonnement, mais elles accélèrent celui qui provient du contact de l'air, en augmentant la vitesse de sa circulation. Pour reconnaître l'influence de ces enveloppes sur le refroidissement total, j'ai observé dans les mêmes circonstances le refroidissement d'un vase noirci, quand il était nu, et successivement environné de 1, 2, 3 et 4 cylindres de tôle ouverts par les deux bouts, ayant des diamètres croissants de $0^m,01$. Ces cylindres étaient suspendus de manière que l'air pût facilement y pénétrer. Pour un même abaissement du thermomètre du vase et la même température extérieure, il a fallu $13',3''$; $19',57''$; $16',46''$; $15',44''$; et $15',40''$. Avec un cylindre de fer-blanc dont le diamètre excédait celui du vase de $0^m,03$, la durée du refroidissement a été de $17',44''$.

Il résulte de là, que pour des corps ayant un grand pouvoir émissif, des enveloppes cylindriques de même hauteur, ouvertes par les deux bouts, ralentissent le refroidissement. Mais il n'en serait plus ainsi, si la vitesse de l'air, dans les espaces annulaires formés par le corps et les enveloppes, était augmentée par le prolongement des enveloppes, ou par toute autre cause; la vitesse du refroidissement pourrait non-seulement dépasser celle du corps nu, mais elle pourrait augmenter indéfiniment avec la vitesse de circulation de l'air.

1827. *Transmission de la chaleur à travers les corps mauvais conducteurs.* En désignant par C la quantité d'unités de chaleur qui traverserait dans une heure une plaque homogène, ayant 1 mètre carré





de surface, dont l'épaisseur serait égale à 1 mètre, et dont les deux faces seraient maintenues à des températures constantes qui différencieraient de 1°; par V la quantité de chaleur qui traverserait une plaque ayant une surface égale à S , une épaisseur e , et dont les faces seraient maintenues à des températures constantes t et t' , on sait qu'on a (699)

$$V = SC \cdot \frac{t - t'}{e}. \quad (17)$$

L'exactitude de cette relation a été constatée par l'expérience (702).

1828. Si l'une des faces de la plaque étant maintenue à une température constante, l'autre était exposée à l'air, la température de cette face serait inconnue; mais on pourrait déterminer la quantité de chaleur transmise de la manière suivante. Représentons par K la quantité de chaleur que perdrait par heure par mètre carré, et pour une différence de température de 1°, la surface exposée à l'air; si l'excès de la température de cette surface sur celle de l'air est peu considérable, sa perte pour l'excès t' sera KSt' , et on aura

$$KSt' = \frac{CS(t - t')}{e}; \quad \text{d'où} \quad t' = \frac{Ct}{Ke + C}; \quad (18)$$

et

$$V = \frac{CKSt}{Ke + C}. \quad (19)$$

1829. Cette dernière formule est relative à un corps compris entre deux surfaces planes égales et parallèles, en supposant qu'il n'y ait pas de chaleur transmise latéralement. Mais elle est également applicable à un corps homogène renfermé entre deux surfaces cylindriques, concentriques, et en général à une enveloppe ayant partout la même épaisseur. En effet, considérons un corps terminé par deux surfaces planes, égales et parallèles, latéralement par des plans perpendiculaires aux premiers, et supposons que la transmission de la chaleur n'ait lieu que par les deux premières faces. Si on conçoit le corps divisé en une infinité de tranches parallèles à ces faces, comme les quantités de chaleur qui traversent chaque tranche à chaque instant sont égales entre elles, il s'ensuit que la différence des températures des surfaces de chaque tranche sera constante, et que la température décroîtra uniformément dans l'épaisseur de la plaque. Supposons maintenant que le corps ait la forme



d'un cylindre creux, et que son épaisseur soit divisée en tranches annulaires d'égale épaisseur par des surfaces cylindriques, concentriques; la même quantité de chaleur devant encore traverser au même instant toutes les tranches, la différence des températures des surfaces des tranches devra décroître de l'intérieur à l'extérieur, et pour deux tranches quelconques ces différences seront en raison inverse de leurs surfaces intérieures. Par conséquent, en désignant par S et S' la surface intérieure et la surface extérieure du vase, et par t' la température extérieure d'une plaque plane de même nature et de même épaisseur que le vase ayant une surface égale à S et dont l'autre surface est maintenue à la même température que la surface intérieure du vase, la température de la surface extérieure du vase sera $t' \cdot S : S'$, et la perte de chaleur étant proportionnelle à la surface, sera $t'S$, c'est-à-dire, la même que celle d'une plaque plane de même épaisseur ayant une surface égale à celle du cylindre qui forme l'intérieur du vase. Ce résultat peut d'ailleurs se déduire de l'équation à laquelle nous avons été conduits (1825) pour le cas d'un grand nombre d'enveloppes concentriques, très-rapprochées, et entre lesquelles la transmission de la chaleur n'a lieu que par rayonnement, car ce cas est le même que celui qui nous occupe maintenant.

1830. Le principe que nous venons d'établir conduit à une méthode très-simple pour déterminer les constantes K et C de la formule (19). Il suffit pour cela d'observer le refroidissement de l'eau renfermée dans deux vases de même nature et d'inégale épaisseur. En désignant par t la durée du refroidissement en secondes de l'excès de température T à l'excès de température T' du liquide sur l'air, par p le poids de l'eau que contient le vase, et par S la surface intérieure du vase, la quantité A de chaleur qui passerait par heure, par mètre carré et pour une différence de température de 1° du liquide et de l'air, sera donnée par la formule

$$A = \frac{p(T - T') \cdot 2 \cdot 3600}{(T + T') \cdot t \cdot S} \dots \quad (20)$$

Si les températures T et T' différaient beaucoup, il faudrait employer la formule de l'article 1811. En désignant par A' la transmission du second vase dans les mêmes circonstances, on aura

$$A = \frac{CK}{Ke + C} \dots \quad (21) \quad A' = \frac{CK}{Ke' + C} \dots \quad (22)$$

d'où l'on tire

$$C = \frac{AA'(e-e')}{A'-A}, \dots \quad (23) \quad \text{et} \quad K = \frac{AA'(e-e')}{\Delta e - A'e'} \dots \quad (24)$$

1831. Il est important de remarquer, que pendant le refroidissement des vases, leur surface extérieure transmet la chaleur qui sort de l'eau et celle qui provient du refroidissement du vase. Mais cette dernière circonstance est sans influence; car à chaque instant on peut considérer la différence de température de deux éléments consécutifs du vase comme composée de deux parties, l'une qui produit la transmission de la chaleur qui provient de l'eau, l'autre qui conduit la chaleur qui provient du refroidissement des éléments qui précèdent, et par conséquent le refroidissement de l'eau est le même que si le vase conservait la même température.

1832. Si la constante K relative à la surface d'un vase était connue, une seule observation du refroidissement du vase suffirait pour déterminer C , dont la valeur serait donnée par la formule

$$C = \frac{AKe}{K-A} \dots \quad (25)$$

Cette dernière formule conduit à un mode d'expérience beaucoup plus commode que le premier, parce qu'il n'exige qu'un seul vase. Il consiste à observer le refroidissement d'un vase, d'abord lorsque sa surface est nue, et ensuite lorsqu'elle est recouverte d'une enveloppe mince, par exemple de papier ou d'une feuille d'étain, pour laquelle on connaît la valeur de K ; la seconde expérience donne immédiatement la valeur de C , et de la première on déduit ensuite la valeur de K qui convient à la surface du vase.

1833. J'ai fait un grand nombre d'expériences pour vérifier l'exactitude de ces formules, en observant les quantités de chaleur A , A' et A'' transmises à travers trois vases de même nature et de différentes épaisseurs; la transmission de l'un des vases déduite des valeurs de K et de C , obtenues au moyen des expériences faites sur les deux autres, s'est toujours trouvée d'accord avec la transmission observée, à moins de 3 ou 4 centièmes de sa valeur totale. J'ai fait aussi des expériences sur un même vase couvert successivement de différentes enveloppes minces pour lesquelles je connaissais la valeur de K , et toujours j'ai obtenu sensiblement les mêmes valeurs pour C .



1834. Mais ces expériences exigent de nombreuses précautions, sans lesquelles on n'obtiendrait que des résultats très-inexacts.

Les vases doivent être remplis d'eau à une température beaucoup plus élevée que celle à laquelle on observe le refroidissement, afin que lors des observations, tous les points du vase aient la température qui leur convient. Lorsque les vases ont une grande épaisseur, il faut même les remplir plusieurs fois d'eau bouillante, et n'observer le refroidissement que longtemps après.

Le thermomètre qui plonge dans le vase doit avoir un réservoir d'une hauteur égale à celle de l'eau dans le vase; car, malgré les mouvements qui se produisent dans la masse liquide pendant le refroidissement, toujours les couches supérieures sont à une température plus élevée que les autres. Le refroidissement doit être très-lent, et par conséquent le volume d'eau considérable; dans toutes mes expériences il n'a jamais été moindre de 300 grammes, et il a souvent dépassé 1 kilogramme. Il faut aussi que les degrés du thermomètre soient assez étendus pour qu'on puisse estimer $\frac{1}{20}$ de degré.

On doit observer le refroidissement pour des excès de température sensiblement égaux, afin qu'on puisse regarder les valeurs de K dans les deux expériences comme égales. Enfin, il faut abriter par un écran le vase et le thermomètre plongé dans l'air, afin d'éviter l'influence du voisinage de l'observateur.

1835. Malgré ces précautions, ce mode d'expériences présente encore plusieurs causes d'erreur. Il est difficile de bien apprécier la température de l'air qui environne l'appareil de refroidissement; et la vitesse du refroidissement est modifiée par les courants d'air et la présence de l'observateur, de sorte que deux expériences faites dans des circonstances en apparence identiques donnent des résultats qui diffèrent souvent de près de 0,1. En outre, la valeur de la constante K change un peu avec l'excès de la température de la surface extérieure sur celle de l'air, et cette différence varie nécessairement avec les épaisseurs des vases, même quand la différence de température de l'eau et de l'air est constante.

On évite les premières causes d'erreur, en plaçant le corps qui se refroidit sous une cloche à double enveloppe, dont l'intervalle est rempli d'eau à la température ordinaire, et qui est percée au sommet d'une ouverture à travers laquelle passe la tige du thermomètre. La surface inté-

rière de la cloche doit être couverte de papier dont le pouvoir émissif diffère peu de celui des enduits dont sont revêtus les murs des appartements. L'appareil doit être disposé de manière que l'air intérieur ne se renouvelle pas, et que l'on puisse agiter de temps en temps l'eau que contient l'enveloppe, dont un thermomètre très-sensible donne à chaque instant la température.

Quant à la dernière cause d'erreur, la variation de la valeur de K , on ne peut pas l'éviter, mais on peut la calculer et corriger les résultats obtenus. Cependant, comme en général la variation dont il s'agit est très-faible, on peut la négliger.

1836. Les valeurs des constantes K et C étant nécessaires dans un grand nombre de circonstances, je les ai déterminées pour les corps dont on se sert habituellement.

1837. Pour la pierre à bâtir, j'ai employé des vases tournés, parfaitement cylindriques, dont les épaisseurs étaient de $0^m,019$; $0^m,0385$; $0^m,058$; la hauteur à peu près de $0^m,20$, et le diamètre intérieur de $0^m,10$. Ils avaient été peints à l'huile à l'intérieur et fermés avec du liège; ils reposaient sur des lames épaisses de liège, et étaient couverts par des plaques de liège et de ouate qui interceptaient toute transmission de chaleur par les bouts. Pour le bois, j'ai employé des vases de mêmes dimensions, mais fermés en dessus et en dessous par des calottes hémisphériques. Pour quelques corps, je me suis servi d'un seul vase, en observant le refroidissement quand la surface était nue et couverte d'une enveloppe mince dont la transmission m'était connue. Pour les briques, j'ai employé un vase de fer-blanc rectangulaire, couvert de briques réunies par de la terre, et on a séché la masse en remplissant, souvent et pendant un grand nombre de jours, le vase d'eau bouillante. Pour le plâtre, j'ai recouvert deux vases de fer-blanc, chacun d'une enveloppe d'épaisseur différente de cette matière, et leur refroidissement n'a été observé que quand le plâtre a été parfaitement desséché, par la méthode employée pour les revêtements de briques. Enfin la transmission de la chaleur à travers les corps en poudre ou en filaments a été déterminée en plaçant ces matières entre le vase plein d'eau et une enveloppe concentrique en tôle ou en fer-blanc, pour lesquels les valeurs de la constante K étaient connues. La plupart de ces expériences ont été faites sur des vases placés dans une enceinte à une température constante; et pour quelques-unes seulement j'ai corrigé les



résultats de l'erreur provenant de l'inexactitude de la loi de Newton relative au refroidissement. Mais il est important de remarquer que par la méthode indiquée d'abord, on arrive à des résultats assez approchés pour la pratique, attendu que les différences qu'on rencontre dans la constitution physique des corps, occasionnent dans leur conductibilité des variations plus grandes que les erreurs qu'on peut commettre.

1838. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus.

Pierre de liais, employée ordinairement à Paris, dans les constructions.....	$K = 9. C = 0,8$
Briques ordinaires.....	$K = 9. C = 0,68$
Plâtre ordinaire de construction.....	$K = 8. C = 0,73$
Bois de sapin.....	$K = 8. C = 0,17$
Bois de chêne.....	$K = 8. C = 0,32$
Bois d'acacia.....	$K = 8. C = 0,26$
Liège.....	$K = 7. C = 0,093$
Paille hachée.....	$C = 0,07$
Son.....	$C = 0,100$
Poussier de charbon de bois.....	$C = 0,35$
Poussier de coke.....	$C = 0,44$
Terre employée dans les constructions de fourneaux, parfaitement sèche.....	$C = 0,27$
Coton très-divisé.....	$C = 0,035$
Coton fortement comprimé.....	$C = 0,170$
Laine très-divisée.....	$C = 0,063$
Laine fortement comprimée.....	$C = 0,136$

Toutes ces matières sont supposées sèches. Lorsqu'elles sont humides, la valeur de C est plus grande, et augmente suivant une loi très-rapide avec la quantité d'eau qu'elles renferment.

1839. Reprenons maintenant la formule qui représente la transmission de la chaleur par mètre carré de surface.

$$V = \frac{CKt}{Ke + C}$$

Lorsque le corps aura une grande faculté conductrice, et que Ke sera très-petit par rapport à C , la vitesse de la transmission se trouvera réduite à Kt , et sera par conséquent indépendante de la nature et de l'épaisseur des corps; c'est ce qui arrive pour tous les métaux. Considérons, par exemple, le plomb qui est le plus mauvais conducteur de tous les métaux; on a, pour ce métal (703), $C = 13,8$, et en prenant pour la valeur de K le chiffre 9, qui est celui qui correspond aux corps ternes, pour des valeurs de e comprises entre $0^m,001$ et $0^m,02$, les vitesses varieront

dans le rapport des nombres 13,98 à 13,809, ou de 1,012 à 1. Pour le fer on aurait $C = 28,82$; et dans les mêmes limites d'épaisseur, les quantités de chaleur transmises varieraient dans le rapport de 1,006 à 1. On voit, d'après cela, que la méthode que nous avons employée pour déterminer la conductibilité des corps mauvais conducteurs, ne pourrait pas servir pour déterminer celle des métaux, à moins qu'on n'employât des vases d'une très-grande épaisseur, parce que, dans le cas contraire, les valeurs de A et de A' différeraient très-peu l'une de l'autre, et que la plus légère erreur sur l'estimation des températures en produirait une très-grande sur la valeur de C .

1840. Si maintenant nous supposons C très-petit, et l'épaisseur e assez grande pour que Ke soit très-grand par rapport à C , la valeur de V se réduira à $Ct:e$; elle sera par conséquent indépendante de la conductibilité de la surface, et en raison inverse de l'épaisseur. Mais comme la valeur de K n'est jamais inférieure à 4, il faudrait, même pour les corps qui conduisent le plus mal la chaleur, que l'épaisseur fût très-considérable pour que C fût très-petit par rapport à Ke . Par exemple, pour le coton cardé dans une enveloppe formée d'un métal poli et pour $e = 0^m,50$, on aurait $Ke = 2$, et $C = 0,05$.

1841. En substituant les différentes valeurs de K et de C dans la formule (19), on obtiendra des valeurs de V , qui seront suffisamment exactes, tant que l'excès de température de la surface extérieure du corps sur celle de l'air environnant ne dépassera pas 20 à 30°; mais pour des températures plus élevées, on approchera beaucoup plus de la réalité en se servant de la formule

$$V = \frac{mKCS}{mKe + C} \cdot t. \quad \dots \quad (26)$$

m étant égal à $1 + 0,0051t'$ pour les corps ayant le brillant des métaux polis, et à $1 + 0,0066t'$ pour les corps ternes ou couverts d'une enveloppe vitreuse ou de peinture, t' étant la température de la surface extérieure.

1842. *Influence des enveloppes formées de corps mauvais conducteurs, et séparées en plusieurs parties par des intervalles pleins d'air.* Considérons deux enveloppes de même nature, ayant chacune une épaisseur égale à e , et désignons par t , t' , t'' , et t''' , les excès des températures des surfaces successives, sur celle de l'air, et par S la surface intérieure. D'après ce que nous avons vu précédemment, la quantité de chaleur

transmise sera la même que si toutes les surfaces étaient égales à S ; alors, en conservant les notations déjà employées, les quantités de chaleur transmises à travers la première enveloppe, à travers l'intervalle qui sépare la première de la seconde, à travers la seconde, et par la surface libre, seront

$$\frac{SC(t-t')}{e}; \quad SK(t'-t''); \quad \frac{SC(t''-t''')}{e}; \quad \text{et} \quad SKt''.$$

Et comme toutes ces quantités sont égales entre elles, on trouve

$$V = \frac{KSCt}{2(Ke + C)}. \quad (27)$$

S'il y avait n enveloppes égales, la vitesse du refroidissement serait

$$V = \frac{SCKt}{n(Ke + C)}. \quad (28)$$

Or, pour une muraille continue ayant une épaisseur égale à ne , on a

$$V = \frac{SCKt}{Kne + C}.$$

Ainsi le rapport des vitesses de transmission de la chaleur à travers la première et la seconde muraille est égal à

$$Kne + C : n(Ke + C).$$

Pour une muraille de 1 mètre d'épaisseur, en pierre, pour laquelle on a $K = 9$, et $C = 0,90$, et qui serait composée de 1, 2, 3, 4, 5 10, parties égales entre elles, la transmission de la chaleur sera représentée par les nombres

$$1; 0,91; 0,84; 0,78; 0,73; \dots 0,55.$$

On voit d'après cela que les vides laissés dans les murailles diminuent la transmission de la chaleur beaucoup moins qu'on ne le supposait.

Le décroissement sera évidemment d'autant plus rapide que C sera plus grand, et surtout que les intervalles seront plus petits, parce qu'alors l'air s'y mouvra plus difficilement.

1843. *Refroidissement d'un liquide contenu dans un vase métallique, plongé dans un liquide qui n'éprouve d'autres mouvements que ceux qui résultent de son échauffement.* Dans le cas que nous considérons maintenant, la nature et l'épaisseur du vase sont sans influence. D'après l'expérience, la loi du refroidissement varie beaucoup plus rapidement que





dans l'air, par l'excès de la température du liquide intérieur sur celle du liquide extérieur. Pour des différences de 10 et de 26°, elles sont dans le rapport de 20 à 93. En désignant par V la quantité de chaleur transmise par mètre carré, par heure et pour une différence de température t , les expériences satisfont assez exactement à la formule

$$V = 43t(1 + 0,105t). \quad \dots \quad (29)$$

Mais comme la température du vase n'a pas dépassé 40°, il ne faudrait pas appliquer la formule à une température plus élevée. Elle s'éloignerait surtout beaucoup de la réalité si le liquide environnant était porté à l'ébullition, parce que le renouvellement du liquide en contact avec la surface du vase, s'effectuerait bien plus rapidement par la formation de la vapeur que par les mouvements qui proviennent des variations de densité.

§ 2. — DISPOSITIONS PROPRES A RETARDER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.

1844. Lorsque les corps sont placés dans l'air, ils se refroidissent en communiquant la chaleur aux corps avec lesquels ils sont en contact, par le rayonnement de leurs surfaces, et par le contact et le renouvellement de l'air.

1845. Pour diminuer la transmission directe, il faut faire en sorte que les corps avec lesquels celui qui est échauffé se trouve en contact, soient autant que possible mauvais conducteurs; et il faut surtout éviter le contact des liquides qui, par leur grande capacité calorifique, par leur mobilité, et par leur évaporation, absorbent très-facilement la chaleur.

1846. Pour diminuer la perte de chaleur due au rayonnement, il faut employer des corps ayant un très-faible pouvoir émissif, tels que les métaux polis.

1847. Pour réduire la quantité de chaleur enlevée par le contact de l'air, qui, comme nous l'avons vu, est indépendant de l'état et de la nature de la surface des corps, il faudrait s'opposer au renouvellement de l'air qui environne le corps, en couvrant sa surface d'une enveloppe qui ne serait ouverte que par le bas.

1848. Mais, de tous les moyens qu'on peut employer, des enveloppes formées de matières conduisant mal la chaleur et renfermées dans des surfaces métalliques brillantes, sont les plus efficaces. Les enveloppes



multiples sont aussi très-avantageuses. Les nombres que nous avons donnés dans le paragraphe précédent feront facilement connaître, dans tous les cas qui peuvent se présenter, quelles sont les substances qu'il convient le mieux d'employer, et quelles seront les pertes de chaleur pour une différence donnée de température entre le corps et l'air extérieur.

1849. Supposons, par exemple, que de la vapeur destinée à une machine ou à un chauffage, soit conduite par un tuyau de fer ayant 1 mètre carré de surface, l'air environnant étant à 15°. La quantité de chaleur perdue par heure, sera égale à peu près à 1000 unités de chaleur. Si on environne le tuyau de bois de sapin ayant 0,02 d'épaisseur, la perte de chaleur sera réduite à $CKSt : (Ke + C)$; expression dans laquelle il faudra faire $S = 1$, $t = 85$, $e = 0,02$, $K = 8$, et $C = 0,17$; on trouve alors à peu près 346. Si le tuyau était placé dans un autre en fer-blanc, renfermant du coton cardé d'une épaisseur de 0,05, on aurait $C = 0,035$, $K = 4,60$, et on trouverait $V = 71$.

Pour les fourneaux en briques, en supposant la surface intérieure du foyer et des carnaux à une température moyenne de 500°, on a $C = 0,68$, $K = 9$; et les pertes de chaleur par mètre carré de surface intérieure, par heure, et pour des épaisseurs de briques de 0^m,10, 0^m,20, 0^m,30, 0^m,40, 0^m,50, seront de

1936; 1233; 905; 715; 590.

Ainsi on voit qu'il y a un très-grand avantage à donner une grande épaisseur aux maçonneries des fourneaux. Nous avons reconnu précédemment (1842) que les vides qu'on laisse entre les briques ne diminuent que fort peu le refroidissement.

1850. Toutes les dispositions dont nous venons de parler seraient applicables au cas où un corps, étant à une température inférieure à celle de l'air, on voudrait ralentir son échauffement. Nous parlerons des dispositions employées pour la conservation de la glace, lorsqu'il sera question des différents procédés dont on peut se servir pour obtenir de très-basses températures.

§ 3. — DISPOSITIONS PROPRES A ACCÉLÉRER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.

1851. Lorsque le corps est solide, ou liquide, mais contenu dans un



vase fermé, et qu'il doit être refroidi dans l'air, on augmente la vitesse du refroidissement en donnant à la surface du corps ou du vase un grand pouvoir émissif par un enduit terne. On augmente aussi le refroidissement du corps en accélérant le renouvellement de l'air à sa surface, par une cheminée placée au-dessus de lui, ou en produisant une vive agitation dans l'air qui l'entoure.

1852. Quand le corps peut être plongé dans l'eau, et qu'on peut disposer d'une masse assez grande de ce liquide, il y a un grand avantage, sous le rapport du temps, à effectuer son refroidissement dans l'eau; car, pour une différence de température de 20° , les vitesses du refroidissement dans l'air et dans l'eau, d'un vase plein d'eau dont la surface est terne, sont représentées (1813) et (1843) par les nombres 160 et 2666. Une vive agitation du liquide augmenterait encore de beaucoup la vitesse du refroidissement.

1853. Quand le corps est liquide, vaporisable à une température inférieure à celle de son ébullition, et qu'on ne craint pas d'en perdre une partie, le mode de refroidissement le plus puissant est l'évaporation; et les circonstances qui favorisent l'évaporation sont 1° une grande surface libre du liquide et 2° un renouvellement rapide de l'air en contact avec le liquide.

Après avoir posé les principes généraux qui doivent servir de guide dans tous les cas, nous examinerons quelques dispositions particulières.

1854. L'acide sulfurique, tel qu'il sort des chambres de plomb dans lesquelles il a été produit, est d'abord rapproché dans des chaudières de plomb, et on termine sa concentration dans de grands vases de platine, disposés de manière qu'on puisse recueillir et condenser les vapeurs qui se dégagent. Lorsque le liquide a acquis la densité convenable, il faut l'enlever rapidement, afin que les opérations puissent se succéder après de courtes interruptions, non-seulement pour éviter une perte de combustible, mais pour que l'intérêt du capital du vase de platine qui dépasse souvent 40,000 francs, se porte sur une plus grande masse de produits. Les fig. 5 et 6 (pl. 107) représentent une coupe verticale et une projection horizontale de l'appareil employé pour refroidir et enlever de l'alambic en platine, l'acide sulfurique après sa concentration. L'appareil de décantation se compose d'un tube A en platine, plongeant jusqu'au fond de la chaudière; ce tube est recourbé comme un siphon; à la partie supé-



rière il est garni de deux entonnoirs C et C' qui peuvent se fermer à volonté au moyen de bouchons coniques à tiges; au delà, la branche extérieure du siphon se divise en deux autres, qui se réunissent à leur extrémité en une seule terminée par un robinet en platine. La branche extérieure du siphon est placée dans une bêche pleine d'eau, alimentée d'eau froide d'une manière continue, par un tube qui débouche à sa partie inférieure, et dont l'eau chaude s'écoule aussi d'une manière continue, par un autre tube placé à la partie supérieure. Pour amorcer le siphon, on verse de l'acide sulfurique par l'entonnoir C', le robinet D étant fermé; l'air se dégage par l'entonnoir C. Lorsque le tube est rempli, on met sous le robinet D, les vases qui doivent recevoir l'acide; et après avoir mis en place les soupapes des entonnoirs C et C', on ouvre le robinet D, et en même temps les robinets d'admission de l'eau froide et de départ de l'eau chaude.

1855. Dans les brasseries, il est important d'accélérer autant que possible le refroidissement du moût, afin de déterminer promptement la fermentation, car un refroidissement trop lent nuit à la qualité de la bière. Autrefois on se contentait de placer le moût dans de grandes caisses d'une petite profondeur et d'une grande étendue. On accélérerait beaucoup le refroidissement, si par un moyen quelconque on favorisait le renouvellement de l'air en contact avec la bière; par exemple, en plaçant à la surface du liquide une roue à ailes planes, disposées comme celles d'un ventilateur à force centrifuge, dont l'axe serait vertical, et tournerait avec une grande vitesse. D'après une expérience faite en Angleterre, dans une bêche où le liquide avait 0^m,135 de profondeur, 30 mètres carrés de surface, le refroidissement de 4000 litres de moût durait 10 heures; et en établissant à la surface de la bière une roue à quatre ailes de 2 mètres de diamètre, dont les arêtes inférieures des ailes étaient à 0,027 de la surface du liquide, et qui faisait 120 tours par minute, le refroidissement a eu lieu en 2 heures. Maintenant, dans les grands établissements, on emploie l'un des deux appareils que nous allons décrire.

1856. Le premier, dont les figures 7 et 8 (pl. 107) sont deux coupes, l'une dans le sens de la longueur, l'autre transversale, est formé de trois tuyaux en cuivre concentriques. Le tuyau intérieur est plein d'air; dans l'intervalle de ce tuyau et de celui qui l'enveloppe circule de l'eau

froide, et l'intervalle du second et du troisième est parcouru en sens contraire par la bière; enfin un tube qui a toute la longueur des grands tuyaux, verse de l'eau froide sur la surface extérieure de la dernière enveloppe. Cet appareil est compliqué, d'un prix élevé et très-difficile à nettoyer.

1857. Une autre disposition, qui paraît plus avantageuse que la précédente, est représentée dans les deux figures 9 et 10 (pl. 107), dont l'une est une coupe longitudinale, et l'autre une élévation par le bout. L'appareil est composé de trois lames de cuivre rectangulaires, parallèles, repliées alternativement de haut en bas et de bas en haut, formant deux canaux ayant une surface commune et fermés latéralement. La bière circule dans le canal supérieur, l'eau parcourt en sens contraire le canal inférieur, et des injections d'eau froide ont lieu sur toutes les parties de la surface extérieure du canal, par des tubes garnis de têtes d'arrosoir. Enfin on a ménagé des regards dans les parties culminantes du conduit supérieur, et des orifices dans toutes les parties inférieures, pour enlever de temps en temps les dépôts formés par la bière.

1858. Il est évident, que dans les deux appareils que nous venons de décrire, l'eau marchant en sens contraire du moût, si on n'emploie qu'un volume d'eau égal à celui du moût et si le circuit a une étendue suffisante, il y aura échange complet de température entre les deux liquides, et l'eau qui a servi au refroidissement pourra être employée utilement à la préparation d'une nouvelle décoction.

1859. On voit dans la figure 1^{re} (pl. 108) un appareil, construit sur une petite échelle, au moyen duquel on peut obtenir un échange complet de température de deux liquides, quand les surfaces de contact ont une étendue suffisante relativement aux volumes des liquides qui sont mis en contact, et qu'on néglige le refroidissement dû au contact de l'air. Cet appareil se compose de deux tuyaux concentriques repliés plusieurs fois; le liquide chaud arrive dans le tube intérieur par l'entonnoir A et s'écoule par le tuyau A'; le liquide froid sort de l'entonnoir B, remonte dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes et s'écoule par le tube B'.

1860. Le refroidissement de l'eau de condensation des machines à vapeur est indispensable quand on ne peut pas disposer d'une quantité d'eau froide suffisante, et qu'on est obligé de faire servir constamment la



même eau, ou quand l'eau froide est prise à une grande profondeur et que les pompes consomment trop de travail.

1861. On peut refroidir l'eau de condensation d'une machine à vapeur, et utiliser la chaleur qu'elle renferme, en effectuant son refroidissement par un courant d'air qu'on fait passer dans des séchoirs ou dans des ateliers, ou en la faisant circuler dans des conduits placés dans des ateliers.

1862. Mais quand on n'a pas l'emploi de la chaleur de l'eau de condensation, la meilleure méthode consiste à favoriser le refroidissement par l'évaporation. Les figures 2, 3 et 4 (pl. 108) représentent une coupe verticale, la projection horizontale, et une coupe suivant xx' (fig. 2) d'une disposition assez simple, qui produirait un refroidissement très-rapide. L'eau chaude arrive par le tube A dans la bêche B, soutenue à une certaine hauteur par un bâtis en bois; elle s'écoule par un grand nombre d'orifices très-petits percés dans le fond de cette bêche, et tombe sur des fagots d'épines qui la divisent et donnent accès à l'air qui s'écoule par la cheminée D; l'eau, après avoir traversé les fagots, tombe dans la bêche C, où elle est prise par une pompe qui la remonte dans la bêche B.

1863. Les figures 5 et 6 représentent une coupe verticale et le plan d'un appareil disposé d'une autre manière. La bêche supérieure est garnie d'un grand nombre de tubes métalliques, fixés sur son fond, qui s'élèvent à une certaine hauteur, et se prolongent au-dessous de quelques centimètres; à la partie inférieure des tubes, sont fixés des tuyaux en toile, maintenus ouverts par des anneaux métalliques qui se trouvent au bas de chacun d'eux. De nombreux orifices percés dans le fond de la bêche B et autour des cylindres, permettent au liquide de s'écouler sur la surface des tuyaux de toile pour tomber dans la bêche C; les tuyaux forment alors des cheminées dans lesquelles l'air échauffé par l'eau chaude se meut rapidement et produit une évaporation rapide.

1864. Dans les figures 7, 8, 9 et 10, on voit un appareil disposé encore d'une autre manière. Le fond de la bêche supérieure est percé d'un grand nombre de trous circulaires dans lesquels sont placés des cordes d'un diamètre peu différent; ces cordes passent dans deux trous voisins, comme l'indiquent les figures 9 et 10; elles sont soutenues par leur milieu, et servent de conduits à l'eau qui s'écoule de la bêche supérieure