



PRINCIPES

DE

L'ART DE CHAUFFER

ET D'AÉRER

LES ÉDIFICES PUBLICS,

LES MAISONS D'HABITATION,

LES MANUFACTURES, LES HOPITAUX, LES SERRES, etc.,

ET DE CONSTRUIRE LES FOYERS, LES CHAUDIÈRES, LES APPAREILS
POUR LA VAPEUR, LES GRILLES, LES ÉTUVES,

DÉMONTRÉS PAR LE CALCUL ET APPLIQUÉS A LA PRATIQUE;

Avec des Remarques sur la nature de la Chaleur et de la Lumière, et
plusieurs Tables utiles dans la Pratique;

PAR THOMAS TREDGOLD,

Ingénieur, Membre de l'Institution des Ingénieurs civils, Auteur des *Principes
élémentaires de Charpente*, d'un *Essai sur la Fonte*, etc.;

TRADUIT DE L'ANGLAIS SUR LA DEUXIÈME ÉDITION,

PAR T. DUVERNE,

Ancien Officier de la Marine Royale, Chevalier de l'Ordre de Saint-Louis.

PARIS,

BACHELIER (SUCCESSEUR DE M^{me} V^e COURCIER),

LIBRAIRE POUR LES SCIENCES,

QUAI DES AUGUSTINS, n^o 55.

1825



PRÉFACE DU TRADUCTEUR.

L'ACCUEIL qu'a reçu en Angleterre l'ouvrage de M. Tredgold dont nous publions la traduction, est une juste récompense du zèle désintéressé avec lequel cet habile ingénieur cherche à simplifier et à rendre populaires les procédés des arts qui tendent à combiner, dans la construction et la distribution des édifices publics et des maisons particulières, la solidité et la sûreté avec la commodité et l'économie. Cet auteur, déjà si avantageusement connu par les Traités qu'il a publiés sur les élémens de l'art de la charpente, et sur la force du fer de fonte, a fait paraître ses PRINCIPES SUR LE CHAUFFAGE ET LA VENTILATION au mois de mars 1824, et dès le mois d'octobre de la même année, la première édition se trouvant épuisée, la seconde a été livrée au public : succès aussi rare que flatteur pour un ouvrage de cette nature. C'est sur cette seconde édition que notre traduction a été faite; elle comprend en conséquence tout ce que l'auteur a ajouté à son premier travail.

On a beaucoup écrit, particulièrement en France, sur l'art de produire et de distribuer la chaleur, mais ce sujet a été, en général, traité plutôt sous les rapports de l'économie et de l'agrément, que sous ceux qui intéressent la santé des hommes; et si, dans des cas particuliers, pour ce qui concerne les hôpitaux et les théâtres, par exemple, on a fait sentir l'importance du renouvellement de l'air,



PRÉFACE DU TRADUCTEUR.

si même des moyens ingénieux, et jusqu'à un certain point efficaces, ont été proposés pour opérer ce renouvellement, l'application n'en avait pas été jusqu'à présent dirigée par des règles positives et mathématiquement déduites des principes de la Physique et des analyses de la Chimie. Les architectes livrés à leur intelligence et à leur jugement, devaient plus au hasard qu'au calcul le succès des méthodes qu'ils pouvaient employer. Cette branche si négligée et pourtant si essentielle de l'art des constructions a été traitée avec habileté par M. Tredgold, et il l'a soumise à des règles de pratique d'une exécution facile, et propre en même temps à remplir le but si désirable d'assurer la salubrité des lieux où les hommes se trouvent réunis. Quand nous n'aurions pas eu d'autre motif pour nous engager à traduire cet ouvrage que la grande utilité de cette partie du travail de l'auteur, celui-là nous aurait paru suffisant. Mais M. Tredgold est entré dans des détails étendus sur le chauffage au moyen de la vapeur, et il a donné, pour son exécution, des règles et des instructions qu'il nous a paru utile de faire connaître. Le chauffage à la vapeur est à peine connu en France, où l'on ne cite guère qu'une ou deux filatures qui en fassent usage. En Angleterre, au contraire, ce mode est déjà fort usité, et l'on y a reconnu qu'il offre à la fois sûreté, salubrité et économie. On l'a adopté pour des édifices publics et pour des maisons particulières, pour des manufactures et pour des églises, pour des hôpitaux et pour des théâtres. La culture même s'en est emparée, et tandis qu'en France les serres du Jardin du Roi se chauffent toutes encore avec des conduits à fumée, en Angleterre, de simples jardiniers, non-seulement chauffent à la vapeur les serres où ils élèvent



des plantes d'agrément et celles où ils font mûrir des fruits, mais ils ont aussi substitué l'emploi de cet agent à celui du fumier et du tan; et cette substitution a été trouvée très avantageuse, ce qui peut facilement se concevoir, la chaleur de la vapeur pouvant toujours se régler suivant la volonté de celui qui l'emploie, tandis que celle des fumiers et du tan dépend de circonstances auxquelles l'homme ne commande point, et dont il ne peut que modifier l'effet.

Peut être s'écoulera-t-il beaucoup de temps encore avant l'adoption en France de cette méthode nouvelle, mais déjà commune de l'autre côté de la Manche. Ici les particuliers sont plus retenus qu'en Angleterre, par la crainte des dépenses qu'entraînent tous les essais de perfectionnement; parce que nous sommes moins en état de faire les avances nécessaires, et moins assurés, quand nous travaillons pour le profit, de retirer le prix des peines que nous avons prises. Mais le gouvernement n'est pas retenu par ces considérations. C'est à lui qu'il appartiendrait de naturaliser ces méthodes d'une utilité qu'il est impossible de contester. Un premier essai de chauffage et de ventilation pourrait être fait dans un hôpital, et nous ne doutons pas que le succès qu'on obtiendrait n'engageât bientôt à se servir du même moyen pour tous les autres. La Bibliothèque du Roi, ce dépôt si riche et si précieux, n'a jamais été chauffée, dans la trop juste crainte de la voir détruire par un incendie. Avec la vapeur, on pourrait la chauffer en tout ou partiellement avec la plus entière sûreté; et alors, ceux qui ont besoin d'y faire des recherches, pourraient s'y livrer en hiver, sans être exposés au froid rigoureux qu'on y doit éprouver quelquefois.



Si cet ouvrage, qui donne les moyens de calculer les dépenses et de diriger l'exécution des améliorations de la nature de celles que nous nous bornons à indiquer, peut contribuer à hâter le moment où elles seront entreprises, nous aurons rempli le principal objet que nous nous sommes proposé, celui de faire un travail utile.

Aux Tables qui terminent l'ouvrage, on en a ajouté une (Table A) où l'on donne la comparaison des poids et des mesures d'Angleterre avec les anciens et les nouveaux poids et mesures de France. Elle sera très commode pour calculer, d'après nos mesures, les dimensions des appareils qu'on voudrait établir sur les principes de cet ouvrage.



PRÉFACE DE L'AUTEUR.

DANS le plan d'un cours d'études tracé pour mon propre usage, les principes pour tirer parti de la chaleur entraient comme objet d'une grande importance. Des circonstances particulières m'ayant mis dans la nécessité d'étendre plus loin des recherches qui d'abord ne devaient embrasser que les connaissances indispensables à un ingénieur, je trouvai, sur cette partie de la science, si peu de données propres à servir dans la pratique, que je me vis dans la nécessité de rassembler et de mettre en ordre les matériaux d'un nouvel aperçu sur ce sujet.

Ce que j'ai rassemblé a été peu à peu corrigé et augmenté, et c'est ce travail qui forme la base de cet ouvrage, du moins en tout ce qui s'y trouvait applicable. Mais, comme il est peu d'objets de pratique d'un intérêt plus grand et plus universel, j'ai pensé qu'il serait convenable de supprimer, autant que possible, les formules techniques; et lorsqu'il m'a paru difficile de le faire sans sacrifier les idées de généralité, ou sans renoncer à appuyer les règles sur le raisonnement dont elles sont la consé-



quence, je les ai renvoyées dans des notes où le lecteur pourra les consulter, si cela lui convient.

En traitant un sujet sur lequel il existe beaucoup de préjugés, il était nécessaire de faire connaître de la manière la plus détaillée les principes et les observations sur lesquels mes idées sont fondées et qui dirigent ma pratique. J'ai dû aussi exposer librement les opinions des autres, et je crois l'avoir fait avec impartialité.

Cet ouvrage est divisé en douze chapitres.

Le premier chapitre traite des avantages et des désavantages des différentes méthodes de distribuer la chaleur. Ces méthodes, en n'y comprenant pas celles qui vicient la qualité de l'air, se réduisent à quatre, savoir : 1°. Le chauffage à feu découvert; 2°. celui à la vapeur; 3°. celui au moyen de la fumée de certains poêles; 4°. enfin, celui pour lequel on emploie l'eau chauffée dans un appareil à surface d'une température limitée.

Le second chapitre a pour objet le combustible et ses effets dans la production de la chaleur. On y examine les qualités des diverses espèces de houille, leur composition, et la manière de tirer le meilleur parti de chaque sorte d'après la connaissance de ses parties constituantes. Les autres combustibles tels que le bois, la tourbe, les charbons de bois et de houille, sont également examinés, et les résultats sont tirés des expériences les plus exactes. On indique,



comme pour servir d'introduction à ce chapitre, les moyens de mesurer, dans différens cas, les effets d'un combustible.

Le troisième chapitre traite de l'effet de la vapeur pour la distribution de la chaleur, et de la quantité de combustible nécessaire pour produire dans une chambre une quantité déterminée de chaleur, etc. On y donne les lois du refroidissement dans une forme adaptée à la pratique. Les données pour l'application de ces lois ont été établies sur des expériences originales. Il en est de même des calculs de l'effet des différentes surfaces. On en a tiré pour la pratique des règles d'une application facile dans la détermination des proportions entre la surface des tuyaux à vapeur et la quantité de combustible nécessaire pour chauffer une surface donnée de tuyaux.

La ventilation et les causes de déperdition de la chaleur sont l'objet du quatrième chapitre. On y évalue la quantité de ventilation nécessaire pour conserver pur et propre à la respiration l'air des lieux habités, et l'on fait connaître les moyens de la procurer. On y recherche aussi ce qui concerne la ventilation et la perte de chaleur dans les serres chaudes, et ici on a l'espoir de détruire beaucoup d'idées erronées sur les circonstances qui occasionnent une plus ou moins grande déperdition de chaleur. Enfin, on y considère la ventilation des infirmeries et des hôpitaux,



et l'on fait voir les causes qui s'opposent à l'efficacité des moyens qu'on emploie communément.

On traite, dans le cinquième chapitre, de la construction et des proportions des chaudières à vapeur, ainsi que de leurs fourneaux et de tout l'appareil de ces machines. On y explique les diverses circonstances qui tendent à diminuer la consommation du combustible, à réduire la quantité de fumée, à rendre enfin tout ce qui concerne la partie mécanique simple, sûr et capable de produire tout l'effet qu'on se propose.

Le sixième chapitre est consacré à la description de l'appareil destiné à distribuer la chaleur; on y considère la forme, les proportions, la surface, l'assemblage des tuyaux et des autres vaisseaux à vapeur, ainsi que la manière de retenir la chaleur dans les tuyaux principaux et dans ceux d'embranchement, etc.

Dans le septième chapitre, les principes développés dans les chapitres précédens sont appliqués à des exemples pratiques de chauffage et de ventilation des maisons d'habitation, des églises, des écoles, des salles où l'on fait des cours publics, des théâtres, des filatures de coton et des ateliers.

Le huitième chapitre est consacré à l'application pratique des mêmes principes pour les hôpitaux ainsi que pour les maisons qui exigent une température égale, etc.



Le neuvième chapitre traite de la construction des diverses espèces de serres destinées à la culture ou à la conservation des plantes. On y donne les proportions des tuyaux à vapeur, de la chaleur et de la ventilation qui conviennent à ces établissemens.

Le dixième chapitre a pour objet le détail de la construction et des proportions des grilles à brûler la houille, des cheminées ordinaires, et des moyens de ventilation qui conviennent aux chambres chauffées par cette méthode.

Dans le onzième chapitre on explique comment on peut faire sécher au moyen de la vapeur. On donne la construction des séchoirs, et l'on fait voir les avantages qu'ils offrent, soit employés en grand dans les manufactures, soit en petit pour l'usage domestique. On décrit, comme exemple de cette dernière espèce, un cabinet propre à servir de séchoir pour un ménage.

Enfin, dans le douzième chapitre, je donne un aperçu de mes idées particulières sur la nature de la chaleur.

Pour faciliter l'application des principes contenus dans cet ouvrage, j'y ai joint neuf tables nouvelles avec des notes explicatives. Le nombre des tables est augmenté dans cette édition, et les anciennes s'y trouvent augmentées et corrigées avec soin.

Je me flatte que le lecteur s'apercevra que je n'ai rien



épargné pour me mettre en état de lui offrir un ouvrage utile sur un sujet qui a long-temps fixé toute mon attention, et dans la partie pratique duquel j'ai acquis beaucoup d'expérience.



TABLE DES CHAPITRES.

	Pages.
CHAPITRE I ^{er} . Coup d'œil général sur les avantages et les désavantages des différents moyens de distribuer la chaleur,	1
CHAP. II. Du combustible et de sa puissance pour produire la chaleur, la vapeur, etc.,	31
CHAP. III. De l'effet de la vapeur dans la distribution de la chaleur, et de la dépense en combustible pour produire un effet déterminé,	69
CHAP. IV. De la ventilation, et des causes du refroidissement,	97
CHAP. V. Des chaudières; construction des fourneaux; appareil qui se rapporte aux chaudières,	148
CHAP. VI. De l'appareil pour distribuer la chaleur,	195
CHAP. VII. Chauffage et ventilation des maisons d'habitation, des églises, des tribunaux, des collèges, des théâtres, des filatures de coton, des ateliers, etc.,	230



	Pages.
CHAP. VIII. Chauffage et Ventilation des hôpitaux, des prisons, des maisons de température égale, etc.,	261
CHAP. IX. Des serres chaudes et des diverses autres constructions destinées à la culture et à la conservation des plantes ,	283
CHAP. X. De la construction des grilles et des foyers découverts ,	325
CHAP. XI. De l'art de sécher par la vapeur ,	345
CHAP. XII. Recherches sur la nature de la chaleur et de la lumière,	373



PRINCIPES

DE L'ART

DE CHAUFFER ET D'AÉRER

LES ÉDIFICES PUBLICS,

LES MAISONS D'HABITATION, ETC.

CHAPITRE PREMIER.

Coup d'œil général sur les avantages et les dés-avantages des différens moyens de distribuer la chaleur.

« Il est certain que de tous les agens de la
» nature, la chaleur est le plus puissant, soit
» dans les opérations de la nature elle-même,
» soit dans les ouvrages de l'art. »

BACON.

1. Un des arts les plus précieux que la bonté divine ait mis à notre portée, est celui de produire et de distribuer la chaleur. Sans lui la condition de l'homme sur la terre ne serait guère



supérieure à celle des brutes. Partout il ajoute à nos commodités, mais il acquiert un surcroît d'utilité dans un climat aussi froid et aussi variable que celui de la Grande-Bretagne. Aussi l'art d'employer la chaleur a-t-il été étudié avec soin, traité avec talent, et pratiqué par des hommes habiles. Cependant il semble qu'il reste encore un champ assez vaste ouvert à de nouvelles et utiles recherches, et il est permis de croire qu'il est possible de combiner un égal degré de sûreté, de propreté et d'agrément, avec plus de salubrité et d'économie.

Il est à peu près inutile de remarquer qu'une chaleur modérée est tout ce qui est nécessaire, tout ce qu'on doit rechercher dans les appartemens, et que toutes les fois qu'on y entretient une température plus élevée, on y introduit une cause directe d'affaiblissement et de langueur.

Malheureusement on a reconnu, pour certaines manufactures, la nécessité d'un degré de chaleur supérieur à celui qui peut entretenir la santé ou même ne pas lui être contraire, et les effets qui en résultent sur celle des ouvriers ne sont que trop visibles; peut-être sont-ils matériellement augmentés par la nécessité où se trouvent les ouvriers d'être alternativement exposés à la tempé-



rature des climats les plus chauds, et à celle des hivers rigoureux de ce pays. Je me croirais heureux si quelques-unes de mes recherches pouvaient servir à améliorer leur condition. Ils offrent une preuve si frappante des mauvais effets des chambres trop chaudes, que leur exemple devrait servir à corriger la disposition qu'on a trop généralement à les préférer.

2. Il doit paraître évident que l'effet de la chaleur dans les lieux habités, doit être tel qu'il ne produise aucune altération chimique dans les corps réchauffés. Or, il n'existe que deux modes d'employer la chaleur de manière à remplir cette condition : ou bien la source qui fournit la chaleur doit être d'une température limitée, ou elle doit être tellement placée qu'elle puisse chasser immédiatement toute substance sur laquelle elle est capable de produire une altération.

On a complètement démontré qu'une chaleur sèche, dont la température ne s'élève pas au-dessus de 212° (80° R), ne peut altérer aucune espèce de matière animale ou végétale, ni vicier d'une manière sensible la qualité de l'air. On peut donc, dans le premier mode, employer une surface d'une chaleur limitée à 212° (80° Réaumur) pour chauffer un appartement. Si le degré de chaleur était plus élevé, on courrait le risque



de produire un *air brûlé* qui n'est ni sain ni agréable.

Le foyer d'une cheminée bien construite, offre un exemple du second mode, celui où toutes les matières nuisibles engendrées par la source de la chaleur, sont en même temps chassées par elle. Mais à raison du combustible à découvert qui entretient la chaleur dans cette méthode, elle est moins sûre que la première. Personne n'ignore les accidens qu'elle occasionne (1), et il est inutile que je m'y arrête.

3. Remarquons, avant de faire la comparaison des deux modes, qu'un corps chaud transmet la chaleur de deux manières différentes : 1°. par contact ; 2°. par rayonnement.

La chaleur rayonnante se répand dans l'air et les autres corps gazeux, avec une immense vitesse; elle les traverse sans augmenter matériellement leur température, mais elle chauffe d'une manière

(1) On a calculé que les incendies occasionnent chaque année à Londres, la mort de cinq personnes, et une perte en propriété évaluée à cent mille livres sterling (deux millions et demi de France). Le nombre moyen des incendies sérieux dans la même ville, est de trente-cinq par an.

(Napier's Ency. britan. vol. 5, p. 293.)



sensible les corps exposés à son action. C'est de la chaleur rayonnante que nous envoie le soleil ; c'est de la chaleur rayonnante que nous ressentons quand nous approchons d'un feu ordinaire. Elle chauffe les matières solides d'un appartement, et celles-ci communiquent lentement leur chaleur à l'air, de sorte que dans une chambre échauffée par un feu de cheminée ordinaire, on peut éprouver une chaleur agréable, et respirer en même temps un air comparativement frais (1).

Les corps à une basse température, quand,

(1) L'avantage de respirer un air frais est plus grand qu'on ne le suppose généralement. Il résulte des expériences de Crawford, de Lavoisier et d'autres chimistes, que la consommation d'oxygène est d'un douzième plus faible dans une atmosphère à 79° (21° R) que dans une atmosphère à 54° (10° R). Cette diminution est plus considérable que celle que pourrait causer la simple raréfaction de l'air, et on l'attribue à l'élévation de température, dont l'effet est de contrarier les changemens chimiques que le sang éprouve dans les vaisseaux des extrémités. (Doc. Murray's Chemistry, IV, p. 11.) Une température élevée augmente aussi la transpiration insensible, et cela à peu près en raison de la quantité de cette élévation, suivant les expériences de Berger et de La Roche (Encycl. Meth., Phys., art. Chaleur).



par exemple, elle ne s'élève pas au-dessus de 212° (80° R.), donnent très peu de chaleur rayonnante (1). Celle qu'ils communiquent résulte principalement du contact; elle s'étend au moyen de l'air qui, s'échauffant graduellement de cette manière, est dilaté, mis en mouvement, et transmet la chaleur qu'il a reçue aux corps placés dans l'appartement. Ceci nous fournit un nouveau moyen de distinguer les deux modes de distribuer la chaleur dont nous avons parlé à l'article second: dans le premier la chaleur se transmet par *l'air échauffé*, et dans le second par le rayonnement.

4. Une personne qui se tient dans l'inaction dans une chambre où l'on a communiqué la chaleur de *l'air échauffé*, n'éprouve point un sentiment agréable de chaleur si le thermomètre s'y trouve au-dessous de 62° (14° R.), quoique par un temps froid la même température incommode celui qui l'éprouve en sortant du grand air; et

(1) La quantité qu'ils en donnent dépend beaucoup de la nature du corps chaud. Ceci a été examiné avec soin par le professeur Leslie, dans ses Recherches expérimentales sur la nature de la chaleur, chap. 11. Il a employé, pour en mesurer l'intensité, l'instrument délicat connu sous le nom de thermomètre différentiel.



dans le fait, le passage d'une atmosphère à 20° (5 ou 6 degrés au-dessous de 0 R.), à une chaleur de 62° (14° R.) et au-dessus, ce qui doit souvent arriver, est trop considérable pour qu'on n'en soit point affecté. Il y aurait donc un avantage sensible à n'approcher d'une chambre chauffée à ce degré, qu'en traversant des salles et des passages où la température serait tenue plus basse, afin que le changement, se faisant graduellement, fût ainsi rendu moins dangereux (1). Lorsque, par suite de l'état de l'atmosphère, les vêtements ont contracté une certaine humidité, on éprouve un vif sentiment de froid en entrant dans une chambre remplie d'un air chaud. Ce sentiment est occasionné par la propriété qu'a l'air échauffé d'attirer puissamment l'humidité. Il l'absorbe en la réduisant en vapeur, et cette vapeur exige pour sa formation une grande quantité de chaleur à l'état que les chimistes désignent sous le nom de *calorique latent* (chaleur de vaporisation). Ceci

(1) Si, comme l'ont démontré Burke et Gilpin, une gradation de lumière est capable de relever un effet d'architecture, il est également vraisemblable qu'une gradation de chaleur, outre qu'elle est agréable à l'instant qu'on l'éprouve, peut prévenir le malaise et les maladies qui la suivent.



rend raison de ce qui semble n'être qu'un paradoxe, savoir qu'une personne peut se refroidir en entrant dans une chambre remplie d'air chaud. Le satyre de la fable ne fut pas plus étonné en voyant son hôte souffler, d'une même haleine, le chaud et le froid, que le sont bien des hommes en entendant cette assertion. Cependant il est très vrai, et il est facile de le concevoir, qu'une personne dont les vêtements sont mouillés, ou qui se trouve en état de transpiration, ne peut sans quelque danger entrer dans une chambre remplie d'un air chaud; et que plus l'air y est chaud et plus le danger est grand, parce qu'alors l'évaporation doit se faire plus promptement, et que par conséquent la sensation du froid doit être plus vive (1).

Par la même raison, lorsque l'air extérieur est

(1) Le professeur Leslie a donné dans le supplément à l'Encyclopédie britannique de Nappier, à l'article Froid, une dissertation sur l'art de produire du froid par l'évaporation, et sur l'application qu'on en peut faire pour obtenir de la glace.

Gay-Lussac a fait aussi des expériences intéressantes sur le degré de froid que produit l'évaporation dans des circonstances à peu près semblables à celles que nous avons considérées. (Journal des Sciences, vol. XV, p. 294.)



humide, le courant qui agit sur une partie quelconque du corps, expose sans doute plus à un refroidissement que ne le ferait un courant d'air sec beaucoup plus froid; et c'est la cause principale de la fréquence des rhumes et des toux dans les temps humides, maux dont sont surtout attaquées les personnes qui n'ont pas l'habitude d'être exposées à l'air extérieur. Lorsque le temps est extrêmement froid, l'atmosphère est rarement humide, et ne peut même guère l'être, attendu que l'air froid tient en dissolution une moins grande quantité de vapeur que l'air chaud. (Voir la note de la table VI, art. 221.) La chaleur spécifique de l'air est si petite qu'il attire très lentement la chaleur; mais la chaleur latente de la vapeur est très considérable. Il faut autant de chaleur pour former un pied cube de vapeur, qu'il en faudrait pour élever de 10° (4° R.) cent trente pieds cubes d'air.

L'absorption continuelle de l'humidité du corps humain par suite du séjour dans un bain d'air chaud, occasionne le mal de tête; les yeux sont fatigués et douloureux, toute la machine est dérangée. Si l'on sature d'humidité l'air de la chambre, ces sensations n'auront pas lieu, ou du moins elles seront beaucoup plus faibles. Cependant je ne prétends pas décider s'il est avantageux



sien. L'usage de l'air réchauffé a été adopté par nécessité ; les habitans de régions encore plus froides ont aussi été forcés d'avoir recours à des moyens encore plus économiques de se procurer de la chaleur ; mais heureusement pour nous , indépendamment de tant de moyens variés de jouissances, nous avons de plus l'avantage d'être abondamment pourvus de combustibles.

Celui qui fait usage de la chaleur rayonnante est, il est vrai, toujours inégalement chauffé ; et si l'introduction de l'air froid est mal entendue , on peut dire, à la lettre, qu'il brûlera d'un côté et sera gelé de l'autre. Mais le plus ordinairement l'inégalité de chaleur n'est pas assez grande pour ne pas laisser la facilité de se placer à une agréable température. Ce serait certainement s'exagérer l'idée du bien-être qu'on doit éprouver, que de supposer qu'on n'en peut jouir qu'autant que la chaleur est partout parfaitement égale (1). Il n'en est pas ainsi dans la nature : le soleil nous chauffe

(1) L'opinion qu'une égalité de chaleur est désirable , a été soutenue par M. Sylvestre. (Journal des Sciences , vol. XI , p. 231 , et Philosophie de l'économie domestique , pag. 53.) Il faudrait, dit-il, réunir les avantages de sa température et de son oxigène. Il oublie que l'air raréfié doit rendre la respiration plus laborieuse pour obtenir la



par chaleur rayonnante, et par conséquent il nous chauffe inégalement. Nous n'éprouvons jamais de chaleur fatigante ou nuisible tant que l'air n'est pas échauffé; et s'il y a quelque inconvénient à cette inégalité de chaleur, inconvénient qui alors, il faut en convenir, se renouvelle chaque fois que le soleil luit, j'avoue que je ne l'ai jamais éprouvé; la fraîcheur de l'air et la chaleur des rayons du soleil, quand elles se trouvent réunies, procurent au contraire les sensations les plus agréables. Les plantes aussi, dans l'état de nature, sont exposées à une inégalité de température, et ceux qui les ont cultivées avec le plus de succès, ont reconnu qu'une chaleur uniforme, lorsqu'on la leur applique artificiellement, n'est pas ce qui leur est le plus utile. En imitant la nature dans la culture des plantes, on a obtenu assez d'avantages pour prouver que c'est la meilleure méthode

même quantité d'oxygène dans un temps donné, et sans aucun autre avantage.

Un volume donné d'air à une température peu élevée, a dit un médecin, contient plus d'oxygène qu'un volume égal à un degré supérieur, d'où il résulte qu'on éprouve un plus grand rafraîchissement lorsqu'on respire un air froid et dense, que si l'on respirait dans une atmosphère chaude et raréfiée.



à suivre. (Voyez chapitre IX, où ce sujet est détaillé.)

La chaleur rayonnante, employée comme mode de chauffage, ne peut l'être que dans des espaces bornés, à moins qu'on ne la combine avec d'autres moyens; car un brasier trop ardent serait insupportable, et comme la chaleur diminue en raison du carré de la distance du corps chauffé, son étendue est très limitée. On ne peut employer en même temps plusieurs feux sans beaucoup de soins et d'inconvéniens, sans compter le danger de la fumée; et comme le feu doit non-seulement avoir une grande ardeur pour échauffer à une certaine distance, mais qu'il faut encore que le foyer soit très découvert, c'est, dans beaucoup de cas, une manière dangereuse d'obtenir de la chaleur. La poussière, la fumée et les cendres sont d'ailleurs des inconvéniens inséparables de ce mode de distribution de la chaleur.

La chaleur rayonnante n'étant pas propre à chauffer un vaste espace horizontal, nous allons examiner les autres méthodes.

6. Lorsqu'on ne peut pas employer la chaleur rayonnante, il paraît qu'il ne saurait y avoir d'autre manière de chauffer dont on puisse se servir avec avantage, que quelque'une de celles qui permettent de répandre la chaleur au moyen



de l'air ; mais il existe différentes méthodes pour chauffer l'air dont on veut se servir. Elles peuvent être divisées en deux classes distinctes. La première division comprend les méthodes dans lesquelles on chauffe l'air de l'endroit même qu'on veut réchauffer ; la seconde renferme celles où l'air est chauffé dans un local séparé, et placé au-dessous du niveau de celui qu'on veut échauffer. La combinaison des deux principes est préférable à l'application de l'un ou de l'autre séparément, parce que l'air qu'on a échauffé jusqu'à une température qui surpasse de beaucoup celle qui est nécessaire dans une chambre, semble perdre sa fraîcheur, son ressort, et devenir fade. Que ces effets soient dus à ce que son état d'électricité se trouve altéré par son contact avec un métal porté à une haute température, ou qu'ils tiennent à quelque autre cause, c'est ce qu'il est difficile de vérifier ; mais lorsqu'il n'y a pas nécessité d'exposer l'air à une haute température, il est prudent de l'éviter. Cependant on ne peut réussir à chauffer une chambre au moyen d'air échauffé dans un autre endroit, sans porter la température à un degré assez élevé pour compenser la perte de chaleur qui aura lieu dans la chambre qu'on veut chauffer. Ce degré doit varier suivant la capacité de la chambre, et en raison de la quantité d'air qu'on y introduit en

de l'air ; mais il existe différentes méthodes pour chauffer l'air dont on veut se servir. Elles peuvent être divisées en deux classes distinctes. La première division comprend les méthodes dans lesquelles on chauffe l'air de l'endroit même qu'on veut réchauffer ; la seconde renferme celles où l'air est chauffé dans un local séparé, et placé au-dessous du niveau de celui qu'on veut échauffer. La combinaison des deux principes est préférable à l'application de l'un ou de l'autre séparément, parce que l'air qu'on a échauffé jusqu'à une température qui surpasse de beaucoup celle qui est nécessaire dans une chambre, semble perdre sa fraîcheur, son ressort, et devenir fade. Que ces effets soient dus à ce que son état d'électricité se trouve altéré par son contact avec un métal porté à une haute température, ou qu'ils tiennent à quelque autre cause, c'est ce qu'il est difficile de vérifier ; mais lorsqu'il n'y a pas nécessité d'exposer l'air à une haute température, il est prudent de l'éviter. Cependant on ne peut réussir à chauffer une chambre au moyen d'air échauffé dans un autre endroit, sans porter la température à un degré assez élevé pour compenser la perte de chaleur qui aura lieu dans la chambre qu'on veut chauffer. Ce degré doit varier suivant la capacité de la chambre, et en raison de la quantité d'air qu'on y introduit en



un temps donné. J'ai eu quelques occasions d'observer la température de l'air introduit, et j'ai trouvé qu'elle variait de 100° à 130° (30 à 45 R.).

Nous allons maintenant considérer les méthodes de distribuer la chaleur de manière que la surface qui la fournit soit d'une température limitée.

7. La vapeur est un moyen de conduire la chaleur qui, lorsqu'on l'emploie à une basse pression, ne peut jamais élever la température de la surface qui la contient, au-dessus de celle de l'eau bouillante (80° R.); et lorsque cette surface est d'une matière convenable, elle ne produit aucun effet sensible sur l'air ; on peut la conduire dans toutes les parties d'un bâtiment, avec la plus grande facilité, et elle offre une entière sûreté (1).

(1) Le colonel Will-Cook a le premier (en 1745) donné l'idée d'employer la vapeur comme moyen de distribuer la chaleur. (Trans. phil., vol. XLIII, p. 370.) On a imaginé depuis plusieurs manières d'appliquer ce moyen, et les auteurs ont presque tous pris des brevets de leurs inventions. Le premier privilège a été accordé, en 1791, à John Hoyle, d'Halifax, pour sa méthode de communiquer la chaleur aux serres, aux églises, etc. Cette méthode consistait à conduire la vapeur dans des tuyaux qui circulaient autour de la place qu'il voulait chauffer ou qui la traversaient. Les tuyaux étaient d'abord élevés à leur plus grande hauteur, et ensuite conduits par



L'eau chaude peut aussi être employée, dans quelques circonstances, pour conduire la chaleur, mais jamais avec plus d'avantage que la vapeur,

une pente douce à une citerne où la vapeur était condensée. L'eau nécessaire à l'entretien de la chaudière était suppléée au moyen d'un robinet. (Répert. des Arts, t. I, p. 300 et suiv., anciennes séries.) Cette méthode diffère à peine du projet du col. Cook, connu 46 ans plus tôt. En 1793, un privilège fut accordé à Joseph Green; le moyen d'application était différent. Ce moyen a été adopté avec de très légers changemens de forme par un grand nombre de nouveaux auteurs de projets. Sa méthode consistait à faire passer de l'air frais dans un serpentín ou tuyau plongé dans l'eau chaude ou dans la vapeur, ce qui conservait la pureté de l'air. Quand la chaleur doit être conduite à une grande distance, j'enferme, dit-il, les tuyaux par lesquels l'air chaud doit passer dans de grands tuyaux où la vapeur s'élève de la chaudière. (Rép. des Arts, v. I, p. 21, anc. séries.) L'idée du col. Cook fut négligée, sans doute parce qu'il promettait trop. Ce serait inutilement qu'on essaierait de chauffer une longue suite d'appartemens en ménageant pour cela la chaleur d'un feu de cuisine; une aussi petite quantité est tout-à-fait incapable de produire un pareil effet; mais présenté de nouveau avec moins de prétention, le moyen qu'offre la vapeur pour distribuer la chaleur, a été trouvé à la fois convenable et économique.

même dans ces cas particuliers (1). Dans tout appareil à l'eau chaude, c'est toujours la vapeur qui distribue la chaleur; car il est impossible d'employer une force de chaleur assez grande pour obliger l'eau à circuler dans des tuyaux par un changement de densité, sans la convertir en vapeur, comme il est aisé de le démontrer par les principes de l'hydraulique.

Mais si l'on combine les deux moyens, il en résultera un meilleur système pour distribuer la chaleur, que si l'on n'employait que la vapeur seule. La réunion de ces deux modes a été proposée par M. Knight (2), mais il paraît qu'elle avait été déjà mise en pratique.

8. L'air peut servir comme moyen de distribuer la chaleur, quand la surface qui la lui fournit, se trouve de toutes parts à une telle distance du foyer de combustion, qu'elle ne puisse être portée au-dessus d'une température limitée.

C'est sur ce principe que M. Strutt a fait con-

(1) M. Weston a proposé de chauffer les couches et les poêles à ananas avec de l'eau chaude (Rép. des Arts, v. XIII, p. 238 et 214, anc. sér.); et M. Bosc cite un essai fait au jardin du Muséum, pour chauffer une serre par ce procédé. (Encyc. méth., art. Serre.)

(2) Transactions de la Société d'Agriculture de Londres, vol. II, p. 324.

struire, en 1792, le poêle qu'il nomme *cockle*, qui chauffe ses manufactures de coton, et qu'on a depuis chauffé l'infirmerie générale du comté de Derby. (1) En théorie le poêle de M. Strutt est une application simple et élégante des principes pour obtenir le plus grand effet du combustible; mais dans des mains moins habiles, cette application n'aurait eu aucun succès, du moins quant à l'économie. Dans la pratique le *cockle* exige la construction d'un bâtiment particulier, autrement c'est une lourde masse pour laquelle il est difficile de trouver une place, surtout si l'on veut conserver une apparence supportable à des parties qui doivent être faites pour l'ornement autant que pour l'utilité. La place du foyer doit être beaucoup plus basse que l'espace à chauffer, et presque directement au-dessous. L'air doit être en entier chauffé dans une place séparée de celle qu'on veut réchauffer, ce qui occasionne une perte de chaleur sans procurer une ventilation suffisante,

(1) Philosophie de l'économie domestique, p. 22. L'invention du *cockle* est ancienne, mais n'avait jamais auparavant été appliquée habilement. John Pepper obtint en 1796 un privilège pour l'appliquer à la dessiccation de la drèche, et il donne au *cockle* le nom de réflecteur. (Rép. des Arts, v. XV, p. 209.)



et la ventilation ne peut pas être établie dans le point convenable. (Voy. chap. IV, art. 62.)

Le principe qui défend de mettre l'air en contact avec toute substance portée à une chaleur supérieure à celle de l'eau bouillante, exclut une multitude d'inventions confondues sous le nom de poêle, et ce serait perdre son temps que de les examiner. Les foyers sont en général construits avec des matériaux qui conduisent la chaleur avec une très grande rapidité, et le combustible y est si promptement privé de sa chaleur, que la combustion n'est jamais parfaite; il en résulte naturellement une plus grande consommation en charbon.

9. Mais il y a encore un autre moyen de distribuer la chaleur, lequel a l'avantage d'empêcher l'air d'être en contact avec une surface portée à une température de plus de 212° (80° R.); il consiste à renfermer le combustible dans un massif d'une épaisseur convenable, et construit avec des matériaux qui soient faibles conducteurs de la chaleur. La brique est ordinairement employée à cet effet; les conduits des serres chaudes ont toujours été faits de cette manière. Est-ce par suite de raisonnement, ou à raison de convenance? il est difficile de le décider. L'étendue à laquelle la chaleur peut être conduite par cette méthode, est très limitée; mais si les matériaux étaient



d'une excellente qualité, ce serait, sans aucune comparaison, le moyen le plus sûr et le plus simple de chauffer l'air dans un petit espace. Les briques communes ne sont pas bonnes, parce qu'elles contiennent une matière sulfureuse qui se sublime à une température peu élevée; elles sont aussi sujettes à s'ouvrir dans les joints, et même à être brisées par la dilatation de l'air dans les conduits (1). Les gaz dangereux et la vapeur du combustible, s'échappant par les fentes et les ouvertures ainsi produites, se mêlent avec l'air qu'on veut chauffer. Dans les endroits qui le sont de cette manière, il est aisé de reconnaître, à l'odeur particulière qui s'y répand, l'altération que l'air éprouve. Il ne serait pas difficile de remédier à ce défaut. Une caisse de fer construite de sorte qu'une dilatation irrégulière de l'air ne pût pas la rompre, qui serait impénétrable à l'air, et qu'on entourerait d'un lit de briques assez épais et assez étendu pour limiter la température de la surface à 212°

(1) Dans un poêle de cette espèce établi pour chauffer une salle d'assemblée des Quakers d'York, on a construit une double muraille d'une certaine étendue, dont les deux parties sont en contact, mais de manière qu'aucun des joints ne répond à l'autre. (Voy. Observations d'Alexandre sur les maisons de réunion, p. 29.)



AVANTAGES DE LA VAPEUR.

(80° R.), formerait un excellent poêle; isolé de manière à n'éprouver aucune perte de chaleur, et ayant une étendue de conduits assez grande pour tirer partie de tout l'effet du combustible, il serait d'une utilité très réelle.

Les diverses formes de poêles, dits poêles suédois, ne sont que des applications variées de ce principe. On y emploie, au lieu d'une caisse de métal, une caisse de tuiles vernissées; mais on n'y met pas toujours un soin très scrupuleux à limiter la température de la surface qui doit chauffer l'air. Quand Guyton Morveau examina les poêles suédois dans le dessein de les introduire en France (1), il s'écarta tellement de ses modèles, qu'il fit chauffer une portion de l'air par des feuilles de fer en contact avec le combustible, et, de cette manière, il les rendit sujets au pire des inconvéniens qu'on reproche aux poêles allemands, celui de produire de l'air brûlé.

10. Nous venons d'examiner les moyens qui ont été ou qui peuvent être employés pour répandre de la chaleur, et, en les comparant, on peut voir que la vapeur réunit tous les avantages des meilleurs, et qu'elle n'a pas les inconvéniens

(1) Rép. des Arts, vol. XVI, p. 255, anc. séries.)



des autres, si l'on en fait usage sur une échelle considérable. Elle a été trouvée également bonne dans la pratique, étant, suivant les expressions de M. Brande (1), sûre, saine et économique; et le docteur Ure remarque que les ouvriers qui travaillent dans des séchoirs échauffés par la vapeur, jouissent d'une très bonne santé, tandis que ceux qui étaient auparavant employés au même ouvrage dans des salles chauffées avec des poêles, devenaient bientôt maigres et valétudinaires (2). On a aussi reconnu que la vapeur procure aux plantes une chaleur extrêmement favorable à leur développement. On peut, par ce moyen, remplir à volonté une serre de vapeur, et si on le fait dans un moment convenable, les plantes sont couvertes d'une rosée semblable à la rosée naturelle, et également bienfaisante. Dans l'usage ordinaire où la vapeur est conduite par les tuyaux dans la serre, on ne peut pas couvrir les plantes de rosée, sans que l'humidité dégoutte en abondance de toutes les parties de la serre; et alors on a besoin, pendant quelque temps, d'un excès de chaleur pour empêcher le refroidissement qui serait la consé-

(1) Nappier, Supp. à l'Encyc. br., art. Chimie, p. 9.

(2) Dict. de Chimie, art. Calorique.



AVANTAGES DE LA VAPEUR.

quence de l'évaporation d'une si grande humidité. Nous devons au docteur Wells la connaissance des principes sur lesquels se règle la formation de la rosée (1); et leur simple application nous met en état d'imiter le procédé que suit la nature pour répandre la rosée sur les plantes. Dans un article sur les serres chaudes et les poêles, M. Neill s'exprime ainsi : « De toutes les améliorations récentes dans cette branche du jardinage, la plus importante est l'usage de la vapeur pour communiquer la chaleur artificielle, au lieu d'employer, comme ci-devant, le passage de la fumée et de l'air échauffé dans des tuyaux (2). » L'opinion de plusieurs autres auteurs distingués qui ont écrit sur le jardinage, est également favorable (3). La vapeur est employée très en grand par MM. Loddiges, à Hackney, et je n'ai vu nulle part des plantes de serre chaude dans un plus grand état de vigueur et de perfection. Il y a déjà cinq ans (en 1824)

(1) Essai sur la rosée.

(2) Nappier, Supp. à l'Encyc. br., art. Hortie., p. 660.

(3) Transactions de la Société d'horticult. de Londres, vol. II, p. 320. Wakefield détaille une méthode pour hâter la végétation au moyen de la vapeur. Transactions de la Société des Arts, vol. XVIII, p. 393. Journal d'un voyage d'horticulture en Hollande, etc. p. 4 et 507, 1 v. 8°, 1821.



qu'ils emploient la vapeur avec succès. Dans leur grande serre qui a près de cent pieds de long, sur soixante de large et quarante de hauteur, les plus magnifiques plantes des climats intertropicaux, atteignent presque leur grandeur naturelle. Dans un temps où leur établissement en serres était un peu moins considérable qu'aujourd'hui, ils publièrent une description de leur méthode de chauffer par la vapeur (1), dans laquelle ils remarquent que « la vapeur ne vicie pas l'air, comme cela arrive inévitablement en chauffant par la fumée, ce qui le rend impropre à la végétation : la vapeur au contraire donne une chaleur régulière, et qui convient à toutes les plantes ; elle est aussi beaucoup plus agréable et plus saine pour les hommes que toute autre chaleur artificielle. » Ils terminent cette description par des remarques sur les avantages de la culture des plantes des tropiques, mêlées d'expressions d'admiration et d'une religieuse reconnaissance que leur magnifique collection des ouvrages étonnans du créateur est si bien faite pour inspirer.

11. On prétend communément que le chauffage par la vapeur, est plus économique que celui par

(1) Sur le chauffage des serres par la vapeur, pag. 6, 1818.



AVANTAGES DE LA VAPEUR.

la fumée. Je ne sais pas comment la comparaison a été faite par d'autres, mais il faut être novice dans l'art pour n'être pas en état de produire à peu près le même effet par l'une ou l'autre méthode, toutes choses étant égales d'ailleurs (1). Je sais que, dans les deux modes, il est facile de mettre assez de maladresse pour laisser perdre une moitié de la chaleur qu'on veut employer, et qu'en choisissant les exemples de comparaison, on peut à volonté faire paraître plus économique l'une ou l'autre des deux méthodes. Il ne convient qu'à un méprisable charlatan de n'avoir qu'un seul moyen pour toutes les circonstances; l'homme véritablement instruit sait, dans chaque cas particulier, employer la méthode la plus convenable pour produire l'effet demandé. Depuis l'invention des machines à vapeur, la construction des foyers pour les chaudières est devenue un objet si important, qu'on l'a plus généralement et plus soigneusement étudiée que la construction des fourneaux et des conduits à fumée; c'est ce qui peut rendre raison des résultats de quelques expériences

(1) M. Atkinson m'a communiqué quelques-unes de ses expériences: en les comparant avec les miennes sur la vapeur, je trouve très peu de différence, mais ses fourneaux et ses conduits à fuméesont d'une construction très supérieure.



comparatives qui ont fait paraître le chauffage par la vapeur plus économique.

Un avantage important de l'appareil à la vapeur, et qui le distingue de toute autre méthode de distribuer la chaleur, c'est qu'il peut s'étendre en tous sens, à une très grande distance de la chaudière. On peut le conduire en haut, en bas, horizontalement, avec une égale facilité. La perte de chaleur est peu considérable à un point éloigné, de sorte qu'un seul feu suffit pour un immense établissement, et on peut l'établir là où la fumée est le moins capable de nuire, et où l'aspect de la cheminée est le moins désagréable, ce qui est intéressant dans les jardins d'agrément. Un grand inconvénient des tuyaux à fumée, c'est le grand nombre de cheminées qu'ils exigent. La distance de la chaudière à la serre la plus éloignée, dans l'établissement de MM. Loddiges, est d'environ 800 pieds, et il paraît qu'on aurait pu la porter encore plus loin. Il est donc évident que les plus grandes manufactures, et les plus vastes établissements de serres, peuvent être chauffés d'un même point (Voir pl. IX).

Mais partout où la machine à vapeur est employée, il faut qu'elle soit conduite par une personne également capable et soigneuse ; car, quoique parfaitement sûre en de pareilles mains, elle



AVANTAGES DES CONDUITS A FUMÉE.

est beaucoup trop compliquée pour être confiée à des ouvriers ignorans et paresseux. L'appareil doit être toujours en bon état, et quoique pour l'y entretenir il suffise d'une légère attention, il ne veut point être négligé. Le combustible qu'on emploie doit aussi être plus souvent renouvelé que dans les fourneaux ordinaires.

12. Je pense donc que, dans un établissement de serres chaudes, où la nécessité de plusieurs feux peut être réduite à l'entretien d'un seul, le chauffage à la vapeur est préférable, en supposant qu'il soit conduit avec les précautions nécessaires; mais dans les autres cas, les conduits à fumée sont plus convenables. La manière de construire et d'employer ces conduits, apporte une différence considérable dans le degré de chaleur qu'ils sont capables de transmettre. Les meilleurs que j'aie vus sont ceux exécutés sous la direction de M. Atkinson; ils produisent beaucoup d'effet, et sont remarquables par leur propreté et leur fini. Il faut un soin très grand pour rendre ces conduits propres à donner à une serre une chaleur uniforme, et c'est un défaut très grave, dans une serre chaude, d'y voir les progrès de la végétation différer suivant qu'elle a lieu dans une partie ou dans une autre de la longueur de la serre. Les matériaux doivent en être choisis avec beaucoup



et il faut prendre les plus grandes précautions pour empêcher la vapeur et les gaz que produit le combustible de s'échapper dans la serre. Dès que la fumée est parvenue à une assez grande distance du foyer pour que sa température se trouve au-dessous de 80° (21° R.), il est avantageux d'employer des tuyaux de fonte pour la conduire; ils donnent plus de chaleur, et cela dans cette partie du conduit qui en a le plus besoin, étant la plus éloignée du foyer (1). Une cheminée élevée produit une grande différence dans la quantité d'effets qu'on peut obtenir des conduits à fumée, parce qu'il faut alors un plus grand tirage pour faire circuler la fumée dans une étendue considérable de conduits horizontaux. Si la cheminée est basse, le seul moyen de procurer le degré de *tirage* nécessaire, est de porter la fumée à une plus haute température. (On trouvera au chap. V,

(1) Par la méthode ordinaire d'employer des conducteurs lents dans toute la longueur du conduit, une partie de la chaleur se perd, et la fumée s'échappe à une haute température. Cet effet des conducteurs lents a été très bien démontré dans l'expérience XIII, des Recherches sur la nature de la chaleur (p. 38) du professeur Leslie. M. Knight y a aussi fait allusion dans les Transactions de la Société d'horticulture de Londres, vol. II, p. 325.



MESURES D'EFFET DES COMBUSTIBLES.

spéculations auxquelles certaines personnes aiment à se livrer, semblables à ces hommes qui essayèrent de trouver le mouvement perpétuel dans un siècle où les lois immuables de la mécanique n'étaient pas aussi bien connues, ou bien encore à ceux qui, dans l'enfance de la chimie, tentèrent de convertir en or les plus vils métaux.

Nous pouvons considérer la nature et l'effet du combustible, soit employé dans son état naturel, soit préparé artificiellement. La houille, le bois, la tourbe, etc., appartiennent à la première classe : dans la seconde sont compris le coke ou charbon de houille, le charbon de bois, les briquettes préparées, etc.

14. Dans tous les cas où il est nécessaire de se procurer, en peu de temps, un feu très ardent, ou de le soutenir avec une grande énergie, on ne peut se dispenser d'employer le combustible dans son état naturel ; mais une chaleur modérée se soutient plus aisément, et exige moins de soins, si l'on se sert de combustible préparé ; c'est aussi le moyen le plus économique d'obtenir une chaleur lente et régulière. Ainsi, c'est le but qu'on se propose qui doit, en général, déterminer dans le choix du combustible qu'il convient d'employer. Dans un appareil à vapeur, on doit chercher à porter, le plus promptement possible,



l'eau en état d'ébullition ; mais dès qu'elle y est arrivée, il est très économique d'entretenir un degré régulier de chaleur avec un combustible qui brûle lentement, afin de fournir à la dépense en vapeur. A cet effet on peut employer avec grand avantage le coke, ou bien un mélange de houille et de poussière de houille ; mais on n'a pas partout la facilité de se procurer ces espèces de combustibles.

15. Quelque espèce de combustible que l'on juge le plus convenable pour l'usage, il est très essentiel qu'il soit le plus sec possible ; autrement une grande partie de la chaleur qu'il produit se perd en réduisant en vapeur l'eau dont il est chargé, vapeur qui s'échappe par la cheminée sans aucune utilité. Le comte de Rumford est, je crois, le premier qui ait observé la différence d'effet qu'on obtient en employant du combustible mouillé (1). Il est d'autant plus nécessaire d'arrêter sur ce fait l'attention de mes lecteurs, qu'il arrive très souvent que l'on place sans nécessité le combustible dans des endroits humides ou exposés aux injures de l'air.

16. Afin de comparer les effets des diverses espèces de combustible, il est bon d'adopter un

(1) Essais, vol. II, p. 88.



terme de comparaison qui puisse en même temps abréger les calculs, et les rendre plus clairs et plus intelligibles. Sans donc m'arrêter aux mesures que d'autres ont employées, j'en emploierai une qui m'est propre, et dont j'ai reconnu l'utilité dans les recherches actuelles, et dans d'autres analogues.

Je prends pour mesure de l'effet d'un combustible la quantité en livres avoir du poids qui peut élever la température d'un pied cube d'eau, d'un degré du thermomètre de Fahrenheit (1).

17. Et comme le terme de l'eau bouillante, ou 212° (80 R.) est à 180 au-dessus du point de la glace, la quantité de combustible qui élèverait d'un degré la température d'un pied cube d'eau, étant multipliée par 180, donnera le nombre qui exprime celle qu'il faudrait employer pour porter à l'ébullition un pied cube d'eau pris au point de congélation, ou à 32° (0° R.

(1) Cette règle peut également servir en employant la graduation du thermomètre de Réaumur. La quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré à ce thermomètre la température d'un pied cube d'eau, étant multipliée par 80, donnera celle qu'il faudrait employer pour porter à l'ébullition un pied cube d'eau pris au point de congélation. (Note du traducteur.)



même, en prenant la différence entre 212° (80° R.) et la température de l'eau qui entretient la chaudière, et en multipliant la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la chaleur d'un pied cube d'eau par cette différence, on aura la quantité de combustible qui fera bouillir l'eau. Lorsque l'eau est à une température moyenne ou à 52° (9° R.), la différence est 160° , et il ne faut que les sept huitièmes du combustible nécessaire pour porter à l'ébullition de l'eau au terme de la glace.

18. On connaîtra la quantité de combustible nécessaire pour réduire en vapeur un pied cube d'eau bouillante, en multipliant la chaleur latente de la vapeur par la quantité de combustible qui peut élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau. Le docteur Ure a déterminé, par des expériences exactes, la chaleur latente de la vapeur; elle est de 967° (1); donc si l'on multiplie par 967 la quantité de combustible qu'il faut pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau, on aura la quantité nécessaire pour convertir l'eau bouillante en vapeur (2).

(1) Magasin philosoph., v. LIII, p. 194. Les expériences de M. Watt lui ont donné 960° pour la chaleur latente. (Phil. mécan. de Robison, p. 8, Note de M. Watt.)

(2) On appliquera cette règle à la graduation du ther-



MESURES D'EFFET DES COMBUSTIBLES.

Mais si l'on a besoin de savoir combien il faudrait de combustible pour réduire en vapeur un pied cube d'eau à une température moyenne, à 52° (9° R.) par exemple, on ajoutera 160, différence de 212 à 52, à 967, et en multipliant par la somme 1127 la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau, on obtiendra pour produit la quantité de livres de combustible qui produirait l'effet demandé. Si l'on divise 1127 par 160, le quotient est 7 à peu près; donc, 7 fois la quantité de combustible nécessaire pour porter l'eau d'une température moyenne au terme de l'ébullition, peut convertir cette même quantité d'eau en vapeur (1).

momètre de Réaumur, en multipliant par 429,76; nombre correspondant sur ce thermomètre aux 967° de celui de Fahrenheit, la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré (Réaumur) la température d'un pied cube d'eau. (Note du trad.)

(1) Pour ramener cette règle au thermomètre de Réaumur, il faut ajouter 71 à 429,76; la somme, en négligeant les décimales, est 500. C'est par ce nombre qu'il faut multiplier la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau, lorsqu'on veut calculer le combustible qu'il faut employer pour réduire en vapeur cette quantité d'eau prise à la tempéra-



19. Dans la plupart des expériences sur le combustible, on a constaté le nombre de livres de glace que peut fondre une quantité donnée de combustible. Lorsque ces expériences sont faites avec précision, elles donnent un moyen plus sûr que tout autre d'évaluer exactement la quantité de chaleur qu'un poids connu de combustible peut produire. Or, 62 livres et demie de glace répondent à un pied cube d'eau, et suivant les expériences du docteur Black, la chaleur latente de l'eau est de 140° (48° R.); donc, 140 fois la quantité de combustible qui élèverait d'un degré la température d'un pied cube d'eau, fondrait 62 livres et demie de glace.

20. La chaleur nécessaire pour élever la température d'un pied cube d'eau étant connue, il sera facile de déterminer celle qui élèverait d'un degré la température de tout autre corps dont la chaleur spécifique sera donnée. Un ou deux exemples suffiront pour éclaircir ceci.

ture moyenne, ou à 9° R. Si l'on divise 500 par 71, le quotient 7 montre qu'il faut 7 fois autant de combustible pour réduire en vapeur une quantité donnée d'eau prise à une température moyenne, qu'il en faudrait pour la porter au terme de l'ébullition.

(Note du traducteur.)



MESURES D'EFFET DES COMBUSTIBLES.

Si l'on voulait déterminer la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'air, alors la chaleur spécifique de l'eau étant 1, celle d'un volume égal d'air sera 0,00035 (Voy. art. 217, table II). Multipliant donc par 0,00035 la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la chaleur d'un pied cube d'eau, on aura pour produit la quantité de combustible qui élèverait d'un degré la température d'un pied cube d'air; 20 fois cette quantité l'élèverait de 20 degrés; 30 fois de 30 degrés; et il en serait de même pour toute autre température.

Et la même quantité de combustible élèverait la température de tout autre gaz d'un même nombre de degrés qu'elle élèverait celle de l'air ordinaire, parce que la chaleur spécifique de volumes égaux des différens gaz, est presque égale sous la même pression. (Voy. art. 17).

21. Si l'on voulait connaître la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la chaleur d'un pied cube de fer; dans ce cas, comme la chaleur spécifique du fer est égale à 0,95 (art. 218), celle de l'eau étant l'unité, on multipliera par 0,95 la quantité de combustible nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau, et le produit sera la quantité né-



pour augmenter d'un degré la chaleur d'un pied cube de fer.

A l'aide de ces simples calculs, nous pourrons comparer les résultats de nombreuses expériences, et les ramener à une même base; et nous serons en état de reconnaître les avantages plus ou moins grands qu'offrent les divers modes d'appliquer la chaleur, et de nous fixer sur les meilleurs moyens d'employer le combustible.

De la Houille.

22. Il existe une très grande différence entre les diverses houilles, à laquelle les principaux consommateurs de cet article dispendieux font peut-être trop peu d'attention. Ce sujet n'a même pas, jusqu'à présent, été étudié avec beaucoup de soin, si ce n'est en ce qui se rapporte à la production du gaz; et les faits établis par les recherches qui ont eu lieu pour ce cas particulier, n'offrent pas une grande utilité pour les autres usages de ce combustible. Cependant le docteur Thomson a récemment publié un excellent écrit sur la composition des différentes espèces de houille (1). Il y range les

(1) Messieurs Conybeare et Philip, dans leur travail sur la Géologie de l'Angleterre et du pays de Galles (liv. III,



espèces sur lesquelles il a fait des expériences, en quatre classes, savoir :

- | | |
|--|---|
| 1 Houille qui s'agglutine
(Caking coal) | 3 Houille cerise ou char-
bon doux (cherry coal) |
| 2 Houille qui s'éclate (Splint
coal) | 4 Houille grossière (can-
nel coal). |

Il est vraisemblable que les variétés les plus importantes, qui entrent dans la consommation en Angleterre, peuvent être comprises dans ces quatre divisions (1); et même, dans le sujet qui nous occupe, la dernière peut être omise. Je suivrai l'ordre du docteur Thomson, et à l'aide de ses recherches, de celles de Kirwan et autres, j'essaierai de traiter ce sujet d'une manière abrégée, mais utile.

p. 233), ont donné un aperçu général des relations géologiques entre les grands bancs de houille de la Grande-Bretagne. Voyez aussi la Géographie Physique de Desmarests, tom. III, p. 368. Plusieurs de ces bancs ont été décrits en particulier; ceux du Derbyshire l'ont été avec beaucoup de soin et de détails par M. Farey. (Derbyshire, Repert., vol. I, p. 161.)

(1) Sir Thomson's *Annals of Philosophy*, vol. XIV, p. 81, vol. IV, p. 337 et 410. — Kirwan, sur la composition des houilles, *Rép. des Arts*, vol. XIII, vieilles sér. — *Géologie de l'Angleterre et du pays de Galles*, p. 380.



La houille qui s'agglutine (Caking-coal), dite aussi houille liante, etc., se tire en grande abondance des mines étendues des comtés de Northumberland et de Durham, et se vend à Londres sous le nom de charbon de New-Castle (1). Les différens lits donnent des charbons qui diffèrent considérablement en qualité. On en trouve aussi à Whiteheaven, dans le Cumberland, à Wigan, dans le comté de Lancastre, à Swansea, dans le pays de Galles, à Leitrim, en Irlande; quelques couches dans les mines du comté de Derby, dans celle des environs de Glasgow, et de quelques endroits en Écosse, en fournissent également.

La houille liante est noire, douce au toucher, et se casse facilement. Les fragmens approchent plus ou moins de la forme cubique; elle est fragile, et salit les doigts. Sa pesanteur spécifique est, suivant le docteur Thomson, de 1,269. Les variétés, essayées par Kirwan, ont donné à peu

(1) Les états de la douane portent à 1,321,905 chaldrons (environ un million et cent mille voies), la quantité de houille apportée de Londres en 1820, indépendamment de celle qui y a été amenée du comté de Stafford, par le grand canal de jonction. (Supp. to Enc. brit., vol. V, p. 288.)



HOUILLES.

le même résultat. Quand on la chauffe elle se brise en petits morceaux, et, si l'on élève la chaleur à un certain degré, les morceaux s'agglutinent et forment une masse solide. C'est de cette dernière propriété qu'elle a tiré son nom (*Caking-coal*). Elle s'allume aisément, et jette en brûlant une flamme d'un jaune vif. Elle veut être souvent remuée et brisée, surtout lorsqu'elle s'agglutine avec force; mais ses diverses variétés diffèrent beaucoup, quant à cette propriété. Parmi celles qu'on tire de New-Castle, celle dite de Wall's-End donne un feu brillant et agréable, brûle vite et s'agglutine peu; celle de Tanfield-Moor, au contraire, prend beaucoup de cohésion, brûle lentement, donne une grande chaleur, et se soutient long-temps; les autres variétés tiennent le milieu entre celles-ci. La houille de White-Haven brûle d'abord avec une flamme fort claire, et se soutient long-temps; mais elle finit par s'agglutiner. Celle de Wigan brûle plus vite et adhère moins; celle de Swansea brûle lentement et s'agglutine. La houille de Leitrim ne prend qu'une légère cohésion.

Le *Caking-coal* répand une grande quantité de chaleur, et si on y fait attention, il brûle long-temps: aussi est-il en général préféré, quand on peut s'en procurer à un prix raisonnable.



ant les expériences du docteur Thomson, 100 livres de cette houille, traitée dans des vaisseaux clos, donnent 774 livres de coke; si on le préparait à l'air libre, sa quantité serait moins considérable. Selon le même Auteur, le *Caking-coal* contient 1 et demi pour cent de matière terreuse.

Il résulte des essais de M. Watt, qu'un boisseau de houille de New-Castle peut réduire en vapeur de 8 à 12 pieds cubes d'eau prise à la température moyenne de l'atmosphère; et qu'un boisseau de houille de Swansea produit le même effet (1). Le poids moyen d'un boisseau de charbon étant de 84 livres, avoir du poids, si l'on prend 10 pieds cubes comme l'effet moyen d'un boisseau, on trouvera que 0,0075 livres de houille seront la quantité nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau.

Ainsi deux livres de houille porteraient un pied cube d'eau de la température moyenne à l'ébullition (art 17). Et 8, 4 livres de houille réduiraient en vapeur un pied cube d'eau pris à la même température (art. 18). Une livre et 5 centièmes du même combustible foudraient 62,5 livres de

(1) Robison's Mechanic phil., vol. II, p. 145 et 147.
(Notes.)



place (art. 19). Enfin, pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'air, il faudrait 0,0000262 livres de houille.

En comparant à d'autres expériences celles qui précèdent, on verra que celles-ci peuvent être appliquées avec confiance. Le docteur Black établit que 7,9 liv. de la meilleure houille de New-Castle peuvent convertir un pied cube d'eau en vapeur capable de supporter la pression moyenne de l'atmosphère (1). D'après quelques essais de MM. Parkes, il paraît qu'au moyen de leur méthode perfectionnée, pour la construction des chaudières, ils ont obtenu avec 7,45 livres de houille la conversion en vapeur d'un pied cube d'eau prise à une température moyenne, mais seulement dans le cas où ils ont réussi à produire le plus grand effet; mais, en général, il a fallu 8,15 livres de houille pour arriver au même résultat (2), ce qui fait seulement un quart de livre de moins que le poids indiqué comme terme moyen dans les expériences de M. Watt. Smeaton, en prenant un terme moyen entre plusieurs expériences, assure qu'il faut 11,4 liv. de houille pour produire le

(1) Lectures sur la Chimie.

(2) Journal périodique des Sciences, vol. XIII, p. 61.



effet (1); mais il ne désigne pas l'espèce s'est servi. Hassenfratz a trouvé que le résultat moyen de diverses expériences était que 0,65 livres de houille pouvaient fondre 62 livres et demi de glace; et le plus qu'il ait employé, pour fondre cette quantité, a été 0,81 livres (2). J'ai vérifié moi-même que lorsque la partie en briques, où est placée la chaudière, est déjà échauffée, un peu moins d'une livre de charbon de Wall'send porte à l'ébullition un pied cube d'eau pris à la température de 52° (9° R.), mais que, pour produire cet effet avec du charbon de qualité inférieure, il fallait plus de combustible, plus de temps et d'attention (3).

(1) Cycl. de Rées, art. Machines à vapeur.

(2) Dict. de Physique, tom. II, p. 475.

(3) Il est on ne peut plus utile de rapporter à une mesure commune le résultat des expériences: on évite ainsi, dans beaucoup de cas, la nécessité de faire des essais comparatifs, et, dans d'autres, d'en faire qui induisent en erreur. Par exemple, on a prétendu récemment, dans une brochure, que 34 gallons d'eau (5,55 pieds cubes) exigeaient l'emploi de 126 livres de houille pour les réduire en vapeur. Cependant on peut s'assurer, par ce qu'on a établi, que 46,6 livres doivent suffire pour cette évaporation. Il y a donc une différence matérielle dans l'avantage apparent du procédé annoncé dans la brochure.

24. La houille à feuillets, charbon dur (*Splint-coal*). Les meilleures variétés de cette espèce sont regardées comme égales, pour la qualité, dans beaucoup de cas, à la houille liante dont nous venons de nous occuper. On la tire des environs de Glasgow, du comté d'Ayr, en Écosse, et de différentes mines d'Angleterre (1). Les houilles connues sous les noms de culm-coal, de houille grossière, de houille de pierre, paraissent être des variétés inférieures de cette espèce.

La couleur du *Splint-coal* est noire avec des teintes brunes. Il se casse moins facilement que le *Caking-coal*, et sa cassure offre comme des esquilles, ce qui, probablement, lui a fait donner le nom qui le désigne. Les morceaux présentent ordinairement la forme d'un coin; sa pesanteur spécifique est variable, et est, suivant le docteur Thomson, de 1,290; et selon Kirwan, de 1,426.

Il faut une plus grande chaleur pour l'enflammer que pour le *Caking-coal*, et, par conséquent, il convient moins pour de petits feux; mais une forte quantité donne un feu ardent et durable. Il produit moins de flamme et moins de fumée que

(1) Doct. Thomson's *Annals of philosophy*, XIV, 83. — Kirwan, *Rep. Arts*, XII, 216. anc. series. *Ont lines of geology.*, p. 380.



uille de New-Castle, et ne s'agglutine pas
elle.

Le docteur Thomson a trouvé que 1000 livres de cette houille donnaient 647 livres de coke, en le préparant dans des vaisseaux clos, et qu'elle contient 9 et demi pour cent de matière terreuse.

Suivant Smeaton, le meilleur Splint-coal d'Écosse équivaut à la houille de New-Castle, pour l'usage des machines à vapeur (1). C'est ce qu'on devait attendre, en considérant les parties constituantes de ces deux espèces de charbon, telles que les font connaître les expériences du docteur Thomson; et l'on peut, sans erreur sensible, regarder, comme le même, l'effet que l'une et l'autre espèce peut produire.

La houille dite *Culm-coal* varie dans sa qualité; comparée à la meilleure de New-Castle, il paraît que la proportion nécessaire, pour produire le même effet que cette dernière, est comme 2 et demi est à 1 (2), de sorte qu'il faudrait 0,0196 de *Culm-coal* pour élever d'un degré la chaleur du pied cube d'eau, et 22 livres pour convertir en

(1) Reports, vol. II, p. 361.

(2) Brunton's Compendium of Mechanics, p. 100.



eur la même quantité d'eau, prise à la température moyenne.

25. La houille-cerise, ou houille douce, *Cherry-coal*, suivant le docteur Thomson. Cette espèce constitue en grande partie les couches supérieures des mines de Glasgow; elle abonde dans le comté de Fife. Cet auteur regarde la houille du comté de Stafford comme étant de même espèce, et celle d'Edimbourg, comme intermédiaire entre la houille douce et le *Splint-coal*.

La houille cerise est d'une couleur noire veloutée, avec une légère teinte de gris. Elle a le même degré de dureté à peu près que le *Caking-coal*, et se brise aussi facilement, de sorte qu'on en perd une grande quantité en la tirant de la mine; et comme elle ne se lie point en brûlant, le petit charbon ne peut se vendre que pour l'usage des fourneaux. Dans les mines situées au nord et au nord-ouest de Birmingham, la perte s'élève à près des deux tiers de ce que chaque couche contient en houille (1). Les pertes dans les opérations domestiques que regrettait tant le comte de Rumford, ne sont qu'une bagatelle si on les compare à une aussi vaste destruction d'un objet aussi précieux. Êtes-vous manufacturier?

(1) Doct. Thomson's annals of phil., vol. VIII, p. 169.



autour de vous, et voyez ce qui produit la puissance qui vous met en état d'entrer en concurrence avec les autres nations. Êtes-vous philosophe? considérez que cette substance qui se perd ajouterait à l'aisance de plusieurs millions de nos semblables; considérez les dangers de son extraction, le grand nombre d'individus qui périssent par les explosions, et la misère qu'entraînent ces catastrophes. Assurément on devrait aviser aux moyens de tirer parti de cette portion si considérable, qu'on a jusqu'à présent laissé perdre.

La houille douce est plus fragile que la houille de New-Castle (caking-coal). Sa cassure est rectangulaire, et sa pesanteur spécifique est, suivant le docteur Thomson, de 1,265.

Cette houille s'allume promptement, brûle en donnant une flamme jaune brillante, et jette beaucoup de chaleur. La flamme se soutient jusqu'à ce que presque tout le charbon soit consumé. Sa combustion est plus rapide que celle des charbons des deux premières divisions; sa cendre est blanche. En général, son usage est moins économique que celui des autres espèces. On la distingue aisément du caking-coal, n'ayant pas comme celle-ci la propriété de s'agglutiner et de devenir douce quand on la brûle; elle fait aussi un feu plus agréable, et qu'on n'a pas besoin de re-



ier. Elle exige beaucoup de soin et de ménage-
 ment dans un foyer découvert, même pour brûler
 les petits morceaux qu'on a tirés des plus gros,
 en cassant ceux-ci pour les réduire à la grosseur
 qui convient à la grille du foyer. Voilà pourquoi
 on mêle souvent les petits fragmens avec de la
 terre glaise, et on en fait des balles qui, lors-
 qu'elles sont bien sèches, et qu'on les emploie
 avec d'autres combustibles, sont excellentes pour
 un feu découvert, et donnent une chaleur très
 durable.

Selon les expériences du docteur Thomson, 1000 livres de *cherry-coal*, préparées en vais-
 seaux clos, produisent 522 livres de *coke*. Cette
 houille contient un dixième de son poids de ma-
 tière terreuse. La comparaison de quelques expé-
 riences indirectes donne, pour sa capacité de
 produire la chaleur, d'un quart à un tiers de
 moins que la houille de New-Castle, ce qui s'ac-
 corde avec le calcul de M. Watt, d'après lequel
 un quintal de bonne houille de Wednesbury
 produit un effet égal à celui d'un boisseau de
 charbon de New-Castle (1).

(1) Notes to Robison's *Mechan. philos.*, v. II, p. 145
 et 147.



n'est que très nouvellement que les parties constituantes de la houille ont été déterminées de manière à éclairer les phénomènes de la combustion, et à mettre en état d'en juger les effets dans la production de la chaleur. Les expériences montrent les élémens qui constituent la houille, sans avoir égard aux parties qui peuvent être regardées comme s'y trouvant mêlées accidentellement.

Tableau des parties constituantes de la houille (1).

ESPECES.	CARBONE.	HYDROG.	AZOTE.	OXIG.	U'acids
Houille de New-Castle.	75,28	4,18	15,96	4,58	Thomson.
Houille dite splint-coal.	75,00	6,25	6,25	12,50	Id.
La même.	70,90	4,30	point	24,80	doct. Ure.
Houille cerise.	74,45	12,40	10,22	2,93	Thomson.
Houille dite cannel-coal.	64,73	21,56	13,72	point	Id.
La même.	72,22	3,93	2,80	21,05	doct. Ure.

(1) Doctor Thomson's Annals of Philosophy, for august 1819, vol. XIV, p. 95.

Et doct. Ure, Journal périodique des Sciences, v. XIV, p. 390.



Les expériences du docteur Thomson s'accordent très bien avec les faits connus relativement aux diverses espèces de houille; mais il paraît que le docteur Ure n'a pas opéré sur un véritable échantillon de *cannel-coal*, autrement il aurait obtenu une plus grande quantité d'hydrogène; ou bien peut-être s'est-il trompé en plaçant dans la colonne de l'hydrogène la quantité qui devait être portée à celle de l'oxygène, et réciproquement. Le docteur Thomson fait, à l'occasion de ses propres essais, la remarque suivante: « Ces expériences, quelque imparfaites qu'elles soient, peuvent être d'une utilité très réelle pour guider les manufacturiers dans le choix de la houille, d'après l'objet particulier qu'ils se proposent; elles prouvent que la bonté d'une espèce de houille ne dépend pas autant de la quantité de carbone qu'elle contient, que de la proportion qui y existe entre le carbone et l'hydrogène. Si l'on a pour objet la conversion de la houille en coke, ou si l'on a besoin de se procurer un feu ardent et d'une longue durée, il faut choisir les espèces qui contiennent la plus grande proportion de carbone, et la plus petite d'hydrogène. Si, au contraire, on veut se procurer du gaz, il faut choisir les espèces qui contiennent la plus grande



d'hydrogène comparée à celle du car-

On peut aussi remarquer que l'azote étant incombustible, et exigeant une grande chaleur pour se convertir en gaz, l'effet du combustible sera d'autant plus grand qu'il entrera moins d'azote dans sa composition. Si l'on connaissait un moyen de le forcer à rester dans l'état solide, alors il serait nul quant à la production de la chaleur; peut-être la vraie cause qui empêche l'azote de produire de la chaleur, lorsqu'il se combine avec de nouveaux corps, tient-elle à ce qu'il donne naissance à des composés gazeux qui demandent autant de chaleur que les corps dont ils résultent.

Quand un combustible contient de l'oxygène, cet oxygène entraîne autant de chaleur qu'il en faut pour donner une forme gazeuse aux combinaisons dans lesquelles il entre, à moins qu'il n'arrive que cette combinaison forme un gaz qui se condense; car dans ce dernier cas son effet serait neutralisé. Il paraît donc qu'il n'est pas avantageux qu'un combustible contienne soit de l'oxygène, soit de l'azote.

(1) *Annals of Philosophy*, vol. XIV, p. 95.



HOUILLES.

Un combustible qui contient de l'hydrogène, it perdre une grande partie de son effet toutes les fois que cet hydrogène s'en échappe à l'état de gaz; car le calorique latent du gaz hydrogène est plus considérable que celui d'aucun autre gaz. Quand le gaz se consume, on économise environ un tiers de la chaleur, en supposant que le produit s'échappe à l'état de vapeur; et, si cette vapeur peut être condensée de manière à tirer parti de sa chaleur, alors on obtient le plus grand effet possible de cette espèce de combustible (1). Lorsque le combustible qu'on emploie contient peu d'hydrogène, il est plus économique d'abandonner au hasard sa consommation, du moins dans le cas où il faudrait ajouter un appareil

(1) Si le calorique latent des corps gazeux a été déterminé avec précision pour chaque gaz simple, et pour les gaz composés, on peut calculer d'avance avec plus de certitude l'effet d'un combustible. Il est aisé de voir que le plus haut degré de chaleur sera produit par la combustion d'un corps dans son état gazeux. Sir Humphrey Davy a fait quelques expériences pour déterminer la proportion de chaleur que produit la combustion des corps gazeux dans les mêmes circonstances. L'effet était mesuré par la chaleur communiquée à de l'huile d'olive dans un temps donné, l'huile étant d'abord portée à 212° (80° R.), afin de prévenir l'effet du calorique latent de la vapeur produite pendant la combustion.



is pour en obtenir la chaleur. Au reste, très évident que la houille produira rarement plus d'effet que le coke qui en provient. Seulement, quand on l'emploie dans son état naturel, la quantité de gaz léger qu'elle donne rend la fumée plus légère, accélère son déplacement, et augmente le tirage; en même temps la quantité de flamme est plus grande, et, si le courant d'air est dirigé de manière à porter la flamme sur la surface qu'on veut chauffer, on obtient plus promptement l'effet du combustible. Il est évident que si le combustible contient de l'eau, il perdra de son effet en proportion de ce qu'il faut de chaleur pour convertir cette eau en vapeur.

Ces remarques donneront au lecteur une idée assez exacte de l'avantage qu'offrent certaines es-

Le gaz oléfiant a élevé la température de

l'huile de.....	58°.	(25° R.)
Le gaz hydrogène.....	26	(11,77 R.)
Le gaz hydrogène sulfuré.....	20	(9° R.)
Le gaz de la houille.....	14	(6°2 R.)
Le gaz acide carbonique.....	6	(2,71 R.)

(Nouvelles recherches sur la flamme, Transact. phil. , 1817), ou Magasin philos. , vol. L, p. 7. Si le calorique latent de la vapeur formée avait produit son effet, l'hydrogène aurait été placé au haut de l'échelle, comme il l'est dans les expériences de M. Dalton.



es de houille, et elles feront voir que ceux-là entendent mal ce qui a rapport à cet objet, qui supposent que la manière d'opérer dont on a obtenu du succès avec une espèce doit réussir avec toutes les autres.

Du Bois.

27. Dans les lieux où le bois est employé comme combustible, on a éprouvé que son effet, pour produire la chaleur, dépend considérablement de son état de sécheresse. Le comte de Rumford a démontré, par plusieurs expériences, que l'effet du bois sec est bien supérieur à celui du bois vert (1). Le bois vert contient un tiers environ de son poids d'eau. Ainsi, la diminution d'effet peut être évaluée par les principes établis à la fin de l'article précédent. L'espèce de bois est aussi une cause de différence. D'après les expériences du comte de Rumford, le tilleul est celui de tous les bois qui donne une plus grande chaleur; on s'en convaincra en examinant le tableau que nous donnons un peu plus loin. Le bois à brûler nécessite un bien plus grand espace pour son emploi que le foyer où l'on consume du

(1) Essais on heat-, vol. II, p. 88.



Il est avantageux de le couper en bûches et courtes, surtout quand on a besoin d'un feu vif.

En se servant de ses chaudières perfectionnées, le comte de Rumford a fait bouillir 20,1 livres d'eau à la température de la glace, avec une livre de bois de pin bien sec (1); ce qui est la même chose que d'élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau avec 0,0172 livres; donc, 3,1 livres feraient bouillir un pied cube d'eau prise au point de la congélation, et 2 livres un quart suffiraient pour pousser à l'ébullition la même quantité d'eau prise à la température moyenne. Enfin, 19 livres un quart du même bois sec réduiraient en vapeur un pied cube d'eau prise à cette dernière température; la même quantité de pin vert produirait un effet d'un septième moins considérable. Le pied cube de pin pèse, quand il est sec, environ 34 livres (1).

Le hêtre donne beaucoup moins de chaleur que le pin; le comte de Rumford a employé 1 livre de ce bois sec, pour porter à l'ébullition 14,33 livres d'eau prise au point de congélation; c'est 0,0242 livres pour élever d'un degré la température

(1) Essays on heat, etc., vol. II, p. 88.



Un pied cube d'eau ; il faudrait donc 4,36 livres de bois pour faire bouillir un pied cube d'eau prise au point de la glace, et près de 3,9 livres, si l'eau était prise à la température moyenne. De sorte que 27 livres seraient nécessaires pour réduire en vapeur un pied cube d'eau mise dans la chaudière à la température moyenne. Le pied cube de hêtre sec pèse environ 44 livres.

Le chêne, suivant Hassenfratz (1), donne un peu plus de chaleur que le pin, puisque 18 livres de ce bois peuvent réduire en vapeur un pied cube d'eau. Mais la quantité nécessaire dépend beaucoup de la qualité du bois ; et peut-être approcherait-on davantage de la quantité moyenne nécessaire pour produire cet effet, en la portant de 25 à 30 livres.

D'après Fossombroni, le bois produit assez de chaleur dans sa combustion, pour évaporer le double de son poids d'eau, ou pour préparer les deux tiers de son poids de sel (2). Le comte de Rumford a obtenu, dans ses expériences, environ un tiers d'effet de plus avec le bois ; ce qui doit, sans doute, être attribué à sa plus grande habileté.

(1) Traité de l'art du charpentier, p. 166.

(2) Docteur Young's Nat. Philos., vol. II, p. 411.



résultat moyen d'un grand nombre d'autres expériences faites par Hassenfratz, sur la chaleur développée par la combustion de différentes espèces de bois, a été 40 livres de glace fondue par une livre de bois, ce qui équivaut à 62 livres et demie de glace fondue avec 1,56 livres de bois. Il a essayé 28 espèces de bois vert ou sec. Son plus faible résultat a été 32 livres de glace; et le plus élevé 49 livres fondues avec une livre de bois (1). Mais il ne faudrait pas calculer d'après ces expériences; car, ou bien on a porté sur la glace une plus grande partie de la chaleur émanée du bois, que celle qu'on aurait pu faire agir sur une chaudière; ou bien l'effet du bois a été aidé par d'autres causes. Il est bien connu qu'il est plus nuisible qu'utile de laisser en contact, avec une chaudière, la fumée d'un fourneau, quand elle n'a pas une chaleur au moins égale à celle de l'eau bouillante; et cependant cette même fumée pourrait fondre de la glace avec laquelle on la tiendrait en contact aussi long-temps que possible. Ainsi, les expériences sur la fusion de la glace ne peuvent être appliquées à la détermination de l'effet du combustible dans la pro-

(1) Dict. de Phys., art. *Combustion*, Encycl. méthod.



de la vapeur. Si les expériences sur la glace font connaître la quantité entière de chaleur produite par une quantité donnée de combustible, il s'ensuivra qu'on ne peut évaluer son effet utile pour la production de la vapeur, qu'à la moitié au plus de la quantité réelle de chaleur dégagée. Quoiqu'il en soit, les expériences sur la quantité de glace fondue par une quantité donnée de combustible sont utiles pour la comparaison des effets des différentes espèces.

28. La Table suivante contient les résultats d'expériences faites par le comte de Rumford sur la chaleur qui se dégage pendant la combustion de différentes espèces de bois (1). J'y ai ajouté deux colonnes, afin de montrer l'effet de cette chaleur, pour faire bouillir l'eau et pour produire de la vapeur, en supposant que l'effet utile ne soit que la moitié de celui produit pour la fonte de la glace.

(1) Doctor Thomson's System of Chemistry, vol. I, p. 149, 5^e édit.



ESPÈCES de bois.	ÉTAT dans lequel ils ont été essayés.	LIVRES de combustible pour fondre un pied cube de glace.	LIVRES pour faire bouillir 1 pied cube d'eau prise à 9° F.	LIVRES nécessaires pour réduire en vapeur 1 pied cube.
Tilleul...	Bois de menuisier, sec, de 4 ans....	1,35	3,10	22,7
Idem....	Très sec.....	1,18	2,70	19,4
Hêtre...	De menuisier, sec de 4 à 5 ans.....	1,38	3,16	22,6
Orme...	Idem.....	1,54	3,52	25,5
Chêne...	Bois à brûler en co- peaux.....	1,83	4,20	30,0
Frêne...	Bois sec de menui- sier.....	1,53	3,50	25,2
Érable.	Bois vieux coupé, très sec.....	1,30	3	21,4
Cormier.	Idem.....	1,31	3	21,5
Cerisier	Bois sec de menui- sier.....	1,40	3,20	23,0
Sapin...	Idem.....	1,54	3,52	25,5
Peuplier.	Idem.....	1,35	3,10	22,0
Chêne..	Contenant 19 et de- mi pour cent d'eau, combustion non parfaite.	1,78	4,10	29,2

Il est nécessaire de remarquer que l'âge des arbres doit apporter une grande différence dans les résultats des expériences faites sur les mêmes espèces de bois. Si l'on compare les nombres de la dernière colonne de la Table précédente avec ceux déduits des expériences du comte de Rumford,



rtées ci-devant (art. 27), on verra qu'elles sont à peu près d'accord ; et elles coïncident presque aussi avec les expériences d'Hassenfratz, sur la quantité de glace fondue par une quantité de bois donnée.

De la Tourbe.

29. La qualité de la tourbe varie selon les endroits où elle se forme ; elle dépend du plus ou du moins d'écoulement des eaux ; de la nature des plantes qui y croissent, de l'espèce et de la quantité d'alluvion déposée parmi les débris de matière végétale. La pesanteur spécifique de la tourbe varie beaucoup, et lorsqu'il ne s'y mêle pas de gravier, sa qualité, comme combustible, dépend, en grande partie, de sa densité. Elle est quelquefois assez pesante pour ne pas se soutenir sur l'eau, et assez compacte pour donner, en brûlant, presque autant de flamme que certains charbons. Le docteur Mac Culloch, dans un écrit fort intéressant sur ce sujet (1), a considéré les tour-

(1) Edimburgh, phil. Journal, vol. II, p. 40. Le docteur M. Culloch y donne la liste des plantes qui contribuent principalement à former les tourbes. Voyez aussi son ouvrage intitulé *Description of the Western Islands of Scotland*, v. I, p. 127.



ne pouvant être comprises dans les divisions suivantes, savoir : tourbe de montagne, tourbe de marais, tourbe de lacs, tourbe de forêt, et tourbe marine. De toutes ces espèces, la tourbe de montagne a le moins de valeur, étant d'un tissu lâche, et n'ayant pas une épaisseur moyenne de plus d'un pied.

La tourbe, en ne la considérant que comme combustible, peut être divisée en deux sortes. La première est compacte et pesante, d'une couleur noire tirant sur le brun, et n'offrant presque aucun vestige de son origine; c'est la meilleure espèce. Quand elle est allumée, elle conserve le feu très long-temps.

La seconde sorte est légère et spongieuse, de couleur brune, et ressemble à une masse de plantes mortes et de racines qui ont éprouvé très peu d'altération. Elle s'enflamme vite, et se consume promptement.

La tourbe répand en brûlant une odeur désagréable à ceux qui n'y sont pas accoutumés; elle donne une chaleur douce et agréable, mais n'est pas propre à fournir un bon combustible pour le service des chaudières à vapeur; elle convient beaucoup mieux aux conduits de chaleur. Elle varie dans ses qualités. Quelques espèces brûlent vite et donnent une flamme brillante; d'autres



TOURBES.

lent lentement, et, suivant Clément et Desormes (1), ne produisent que la cinquième partie de la chaleur qu'on obtiendrait d'un poids égal de charbon de bois, ce qui s'accorde à peu près avec la proportion établie par Blavier et Miché. Il faudrait donc environ 53,6 livres de bonne tourbe pour réduire en vapeur un pied cube d'eau prise à la température moyenne; c'est-à-dire qu'elle peut réduire en vapeur 7,6 de son poids d'eau. Les opérations et la dépense, pour extraire et sécher la tourbe, sont considérables; et ce travail doit se faire dans une saison qui est en général peu commode; car c'est le temps où les travaux de la campagne exigent le plus de bras. On pourrait abrégé ce travail en soumettant la tourbe à la presse, pour en extraire l'humidité, ainsi que l'a proposé le docteur Lind. Cette opération la rendrait plus compacte et plus durable au feu. On y emploierait avec avantage la presse dite de Bramah. On l'abrégérait encore, en employant une chaleur artificielle, et en faisant servir à cet effet une certaine quantité de tourbe pour en rendre une beaucoup plus grande portion propre à servir de combustible. Ce dernier

(1) Dictionnaire de Physique, t. II, p. 475.



pourrait être mis en usage pendant l'hiver (v. chap. XI). Le poids de la tourbe varie de 44 livres à 70 livres le pied cube. Les variétés compactes donnent environ 40 pour cent de charbon ; les autres en rendent à proportion de leur densité.

Charbons préparés.

30. *Charbon de bois.* — La chaleur lente et régulière que répand un combustible, préalablement converti en charbon, est très avantageuse lorsqu'un appareil à vapeur n'est pas uni à la chaudière d'une machine à vapeur, parce qu'elle exige moins d'attention. Les expériences sur cette classe de combustibles sont très discordantes, et je suis obligé de choisir entre elles.

M. Dalton, en chauffant de l'eau, a obtenu un résultat équivalent à une livre de charbon pour fondre 40 livres de glace. Mais les expériences de M. Crawford ont donné 69 livres de glace fondue par une livre de charbon (1). Suivant Lavoisier, une livre peut fondre 95 livres et demie de glace ; et, d'après Clément et Desormes, elle en fond 95 livres. Hassenfratz a fait un grand nom-

(1) Doctor Thomson's chemistry, vol. I, p. 148.



CHARBONS PRÉPARÉS.

d'expériences dont le résultat moyen lui a donné 92 livres de glace fondue par une livre de charbon. Son plus fort résultat a été 96 livres; et son plus bas 74 livres (1). Mais, puisque les expériences par la fusion de la glace donnent environ le double de la quantité réelle (art. 27) qui peut produire un effet, on peut prendre 47 livres, comme étant la mesure de l'effet produit par une livre de charbon. Alors, il faut 0,0095 livres de charbon de bois, pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'eau; 1,52 livres pour porter à l'ébullition un pied cube d'eau prise à la température moyenne, et 10,64 livres pour convertir cette même quantité en vapeur. C'est environ six fois son poids d'eau à cette température que le charbon peut réduire en vapeur.

31. *Coke* ou charbon de houille. — Suivant Lavoisier, la proportion de la houille à la houille carbonisée est de 605 à 522 (2) pour produire le même effet. Alors, 0,0069 livres de houille carbonisée peuvent élever d'un degré la chaleur d'un

(1) Dictionnaire de Physique, art. Combustion. Encyc. méthodique.

(2) Idem. La table de Kirwan, citée par Lavoisier, est certainement inexacte tant en poids qu'en mesures.



e d'eau; 1,1 livre fera bouillir un pied cube d'eau prise à la température moyenne, et 7,7 livres convertiront en vapeur un pied cube d'eau prise à la température moyenne.

32. Il faut, selon Blavier et Miché (1), 1666 parties de tourbe carbonisée, pour produire le même effet que 740 parties de charbon de bois. Donc, si l'on multiplie par 2,16 la quantité de ce dernier charbon nécessaire pour produire un effet donné, on aura pour produit la quantité de tourbe équivalente. D'où l'on doit conclure qu'avec 23 livres de charbon de tourbe, on peut réduire en vapeur un pied cube d'eau prise à la température moyenne; ou que ce charbon peut vaporiser à peu près trois fois son poids d'eau. La tourbe carbonisée par distillation est très supérieure à celle qui l'est par étouffement.

33. On a réuni, dans la première table, à la fin de ce Traité, le résultat des expériences précédentes, afin d'offrir le moyen le plus prompt de les consulter dans la pratique, et de les comparer lorsqu'il s'agira de s'assurer de la dépense relative de différentes sortes de combustible. En terminant cet examen, on trouvera que le plus

(1) Dict. de Physique, art. Combustion. Encyc. méthodique.



CHARBONS PRÉPARÉS.

Un effet que l'on puisse espérer, en employant un combustible, sera moindre que le double de la quantité que nous avons établie comme mesure d'effet, et que même on ne peut y atteindre, sans prendre toutes les précautions qu'exigent les expériences physiques, ce qui est impraticable en grand, et tout-à-fait incompatible avec les appareils simples qu'on est dans le cas d'employer, et le peu d'attention qu'on est dans le cas de donner à cet objet, dans la pratique habituelle. Mais il ne fallait rien moins que ces recherches pour arrêter ce débordement de charlatanisme qui annonce des effets 4 et 6 fois et même jusqu'à 10 fois plus élevés. J'ai, de préférence, établi mes preuves sur les expériences des autres; les qualités des combustibles sont si variables qu'il eût été difficile de donner quelque chose de nouveau et d'utile en même temps, à moins que les expériences n'eussent été accompagnées de l'analyse chimique de chaque substance qu'on y aurait soumise.



CHAPITRE III.

De l'effet de la vapeur dans la distribution de la chaleur, et de la dépense en combustible pour produire un effet déterminé.

« La vraie manière de perfectionner
» les arts consiste moins à en décrire
» les procédés avec exactitude, qu'à
» ramener leurs opérations à des prin-
» cipes généraux. »

CHAFFAL.

34. Le principal objet de ce chapitre est de déterminer la quantité de vapeur nécessaire pour échauffer un volume donné d'air, et l'étendue en surface que doivent avoir les vaisseaux ou les tuyaux à vapeur, pour produire en un temps donné un degré de chaleur désiré.

Les règles usuelles adoptées par les écrivains qui se sont occupés de la pratique sont très er-



OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

les; elles le sont même à un tel point qu'elles ne sont applicables qu'à des cas exactement semblables. Il faut faire varier six, huit, et jusqu'à dix fois, le rapport entre la chaleur et l'espace, avant de trouver celui qui convient à un édifice différent de celui auquel ce rapport a d'abord été appliqué; et jusqu'à ce jour, on n'a eu d'autre moyen de proportionner la chaleur à la nature de l'espace à chauffer, qu'en faisant des essais, ce qui ne peut donner aucune règle lorsque les cas ne sont pas entièrement semblables.

Jusqu'ici la quantité de chaleur a été réglée sur le nombre de pieds cubes de l'espace à réchauffer; un pied carré de surface de tuyau à vapeur doit chauffer, dit-on, environ 200 pieds cubes d'espace; ou bien un pied cube de chaudière doit en chauffer 2000 pieds (1). Le poêle d'une des filatures de M. Strutt chauffe, dit-on, 266247 pieds cubes d'espace à 60° (12° R.) quand la température extérieure est à 35° ($+1^{\circ}$ R.), et consomme 184 livres de charbon en douze heures, quand le feu est continué nuit et jour (2). Ces

(1) Buchanan's Essays on Heating Buildings by Steam; 1810, p. 160 et 162.

(2) Sylvester's Philosophy of domestic Economy, p. 15.



s sont données pour des fabriques de coton; mais elles sont tout-à-fait inutiles dans tous les cas où un degré de ventilation différent est nécessaire, comme dans les hôpitaux; dans ceux où l'on a besoin d'une grande étendue de vitrage, comme dans les serres (1); et même dans les cas particuliers pour lesquels elles sont données, elles ne nous procurent aucun moyen de connaître le degré de ventilation qu'on peut obtenir en les suivant.

La théorie a, dans ce cas, été très habilement traitée, et le Public est depuis long-temps déjà à portée d'en profiter; il ne s'agit plus que d'en appliquer les principes: si je réussis à le faire d'une manière simple et claire à la fois, je serai utile, je l'espère, à ceux qui, par état, sont chargés de régler ce qui concerne la chaleur des édifices, et je les mettrai à portée d'agir d'après des principes certains, et du plus grand avantage pour le Public.

35. Il existe, dans toutes les circonstances,

(1) Cette règle erronée influe sur l'art de dresser les plans des serres; car la première chose que l'on fait, c'est de réduire l'étendue de l'espace à chauffer, dans l'idée où l'on est que la consommation du combustible est proportionnée à la quantité d'air que contient la serre.



OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

causes directes de perte de chaleur : la première est le refroidissement qu'éprouvent les vitrages et les autres surfaces extérieures d'un édifice, par l'effet de l'air extérieur; la seconde est la quantité de chaleur qui doit être entraînée par l'air vicié qu'on est obligé de chasser par la ventilation, celle qui se perd par les fentes, etc. L'une et l'autre de ces causes doit dépendre de la nature de l'édifice, ou de l'objet auquel il est destiné. On trouvera dans le chapitre suivant le calcul de la perte totale de chaleur qui a lieu dans différentes circonstances. Mais elle peut toujours être mesurée par une certaine quantité d'air pris à la température extérieure, et réchauffé au degré de la température intérieure; ainsi, le combustible ou la surface de conduit à vapeur suffisant pour chauffer cette quantité d'air, entretiendra dans l'intérieur la chaleur demandée.

36. Nous aurons encore à déterminer la quantité de combustible qui échauffera, dans le premier cas, les murs, et élèvera la température de toute la masse d'air d'une chambre à un degré donné; mais ceci est de peu d'importance, et, pour arriver à des résultats très exacts, il faudrait nous livrer à des recherches beaucoup plus compliquées que celles que nous nous sommes proposées dans cet ouvrage. Mais comme l'effet



équivalent à celui de porter une certaine quantité d'air au degré de température déterminé, nous le considérerons comme un cas particulier dans nos recherches générales.

Je vais établir les principes sur lesquels je me fonderai dans mon travail ; mais je dois faire remarquer que ces principes sont généraux , c'est-à-dire que ce qui concerne les tuyaux à vapeur est également vrai de toute autre surface renfermant tout autre fluide échauffé, quand il refroidit dans le même milieu. Par exemple, de l'air échauffé, renfermé par une surface de verre dans une serre chaude, perd la chaleur suivant les mêmes lois qu'un tuyau contenant de la vapeur. Mais les lois générales sont plus aisément étudiées dans leur application à un cas particulier, parce que l'esprit ne les conçoit le plus souvent bien clairement que lorsqu'elles sont appliquées; et, en conséquence, quand on les rapporte à un cas particulier d'un sujet que l'on traite, ce sujet se présente au lecteur sous une forme plus simple, et il n'est pas obligé de chercher autour de lui quelque chose qui le lui fasse comprendre.

Lois du refroidissement.

37. Lorsque les tuyaux ou les autres vaisseaux à vapeur sont peu épais, et qu'on les remplit de



LOIS DU REFROIDISSEMENT.

ur, l'effet de la chaleur reste constamment le même, si ces tuyaux sont partout de même épaisseur, et si l'excès de chaleur est aussi le même; c'est-à-dire que, dans cette supposition, la perte de chaleur est égale dans des temps égaux.

38. Mais, les tuyaux ou les autres vaisseaux restant les mêmes, si la température de l'air à chauffer, ou si la surface qui perd de la chaleur diffère dans des temps différens, la chaleur qui se perdra dans un temps donné sera en raison directe de l'excès de température de la surface du corps qui éprouve cette perte (1), dans un milieu ga-

(1) Cette loi de refroidissement est simple et presque exacte. Elle a été découverte par Newton (Transactions philosoph. 1701). Le docteur Martine la croyait erronée; mais Krafft et Richemann l'ont trouvée juste pour les températures peu élevées (Thomson's chemistry, vol. I, p. 58, and Young's nat. phil., vol. II, p. 404). Des expériences semblables ont été faites depuis par le professeur Leslie (Inquiry, chap. XIV,) par Dalton et autres. Tous prouvent assez bien que cette loi peut être considérée comme exacte quand la différence de température ne s'écarte pas de 180° (66° R.). Mais Dulong et Petit ont fait nouvellement, avec beaucoup de soin, une série d'expériences sur les lois du refroidissement, desquelles il semble résulter que cette loi devient inexacte quand la



dans tout fluide qui est tenu en mouvement.

39. De même, si la substance employée pour former les tuyaux ou autres vaisseaux varie, la quantité de chaleur qui se perdra variera aussi, ainsi que le prouvent les expériences du professeur Leslie, et celles de Dulong et Petit (1).

40. Il est encore évident que la quantité de chaleur perdue dans un temps donné est en raison

différence de température est plus considérable. Cependant, après avoir examiné avec une grande attention le mémoire qu'ils ont publié, il ne m'a pas paru qu'ils aient évité toutes les causes d'erreur qui se rencontrent en traitant un sujet aussi délicat. En effet, il ne semble pas qu'il soit possible, avec un appareil compliqué, d'obtenir la mesure du refroidissement indépendante de l'effet de la puissance conductrice de cet appareil, effet qui doit être considérable lorsque la température du corps échauffé excède de beaucoup celle des corps environnans (Thomson's annals of philos. XIII). Mais leurs recherches prouvent aussi que la loi de Newton est suffisamment exacte pour la pratique. Si la chaleur se perdait dans un fluide ou dans un milieu gazeux autre que l'air, il y aurait une différence d'effet; il paraît, d'après les expériences de Sir H. Davy, que les corps se refroidissent plus vite dans l'hydrogène que dans les autres gaz. (Researches on flam. Phil. Trans. 1817.)

(1) Annals of phil. XIII, 177.



LOIS DU REPROIDISSEMENT.

e de la surface, quand les tuyaux sont de formes semblables, mais non pas autrement, parce que l'action de la vapeur n'est pas égale sur toutes les parties de la surface d'un tuyau, la partie supérieure étant toujours plus chaude que l'inférieure; et la même différence a lieu, mais à un moindre degré, pour tout autre fluide renfermé. Cependant nous pouvons, avec une exactitude suffisante pour notre objet, regarder l'effet comme proportionnel à la surface. Il résulte de quelques observations faites par moi sur la chaleur de la partie inférieure des tuyaux à vapeur, que cette chaleur est d'environ 180° (66° R.); de sorte que la chaleur moyenne ne peut pas être de plus de 200° (75° R.), quand la température de la vapeur produite est de 220° (83° R.), ou de deux livres et demie par pouce carré au-dessus de la pression atmosphérique.

41. On désigne en général par l'unité la chaleur spécifique de l'eau; ainsi nous pouvons exprimer l'effet produit par un tuyau à vapeur par le nombre de degrés dont une portion déterminée de la surface de ce tuyau élèverait la température d'un pied cube d'eau; alors la quantité en pieds cubes de tout autre corps, qui serait élevée au même degré de chaleur, serait en raison inverse de sa chaleur spécifique, ou serait le dé-



leur de la fraction qui en exprimerait la chaleur spécifique. Il faudrait donc, pour élever d'un degré la température de 2850 pieds cubes d'air, une surface égale à celle qui élèverait d'une même quantité la chaleur d'un pied cube d'eau. (V. art. 20.)

Expériences sur le refroidissement, ou de l'effet des surfaces sur la perte de la chaleur.

42. Je n'ai pas dû, en faisant des expériences sur le refroidissement, employer la vapeur, parce qu'elle n'est pas propre à donner une mesure d'effet très exacte. Je me suis donc servi de l'eau chaude; et le moyen que j'ai employé est simple et facile à répéter. Il consiste à remplir d'eau chaude un cylindre, et à observer le temps de son refroidissement, de manière à avoir deux mesures d'effet : la première, donnée directement par l'observation, et l'autre déduite des lois du refroidissement.

Les cylindres dont je me suis servi étaient en tôle, en fer-blanc ou de verre, et choisis aussi semblables qu'il m'a été possible de les trouver (Voyez fig. 15, planche IV). Le même couvercle servait à tous; il était en étain, et recouvert d'environ un pouce d'épaisseur de bandes alternatives



EXPÉRIENCES SUR LE REFROIDISSEMENT.

nelle et de coton, afin de pouvoir regarder comme insensible la perte de la chaleur dans cette partie. Un trou percé dans le couvercle laissait passer la tige nue d'un thermomètre T qui, au point même de sortie, répondait au 150° (52° et demi, R.). La boule du thermomètre se trouvait alors à moitié de la hauteur du cylindre, comme on peut le voir en A, à environ un quart de pouce du côté du cylindre. La graduation du thermomètre était exécutée sur la tige même, et les cylindres étaient suspendus par des cordons de coton d'un tissu peu serré, afin de prévenir toute déperdition de chaleur. Il est évident que si l'on observe le nombre des degrés du thermomètre qui indique le refroidissement pendant une minute, on aura pour mesure de la déperdition de chaleur ce même nombre de degrés (1). Afin de bien faire ces observations directes, après avoir

(1) Si c est le nombre de pouces cubes d'eau employés dans les expériences, et n le nombre de degrés refroidis dans une minute, alors $\frac{cn}{1728}$ sera égal à l'effet e' , tel qu'il est employé dans la note suivante. De même, si b représente la surface en pouces, on aura

$$s' = \frac{b}{144}, \text{ ou } \frac{e'}{s'} = \frac{cn}{12b}.$$



d'eau bouillante un cylindre, et y avoir le couvercle, j'attendais que le thermomètre fût descendu à 181° ($66^{\circ},2$, R.), et alors je comptais les secondes jusqu'à ce qu'il fût tombé à 180 et à 179° ($65,8$ et $65^{\circ},33$ R.). J'observais aussi le temps que le thermomètre mettait à descendre à 150° ($52^{\circ},5$ R.); enfin je tenais compte de la chaleur spécifique du cylindre, en ajoutant la quantité d'eau qui lui est égale au nombre des pouces cubes de l'eau.

1^{re} Expérience. — Je me suis servi d'un cylindre en fer-blanc très légèrement terni, dont la surface était de 79 pouces carrés. J'y ai ajouté 62,28 pouces cubes d'eau, quantité équivalente à la chaleur spécifique du cylindre. La température de la chambre n'a pas varié d'un quart de degré ($0,11$ R.) de la température de 55° et demi ($10,44^{\circ}$ R.) pendant l'expérience. Le refroidissement du 181° au 179° (de $65^{\circ},8$ à $65^{\circ},33$) s'est fait en 158 secondes; d'où l'on peut conclure que la perte de la chaleur est de $0^{\circ},76$ ($0,33$ à $0,34$ R.) par minute. Quand l'excès de température est de

$$180 - 55,5 = 124^{\circ},5 \text{ (} 55^{\circ},36 \text{ R.)}$$

de 180 à 150° (de $65,8$ à $52^{\circ},5$ R.), le refroidissement s'est fait en 46 minutes, d'où l'on con-



EXPÉRIENCES SUR LE REFROIDISSEMENT.

que la perte par minute est de $0^{\circ},759$ ($0,337^{\circ}$ R.). Quand l'excès de chaleur est de $124^{\circ},5$ ($55^{\circ},35$ R.) (1), les deux modes d'observation donnent à très peu près le même résultat, et le nombre constant qu'on en déduit est de $0^{\circ},0004$, (2).

(1) Soit D la différence de température au commencement de l'observation, d la différence à la fin d'un nombre t de minutes, et mD la perte de chaleur pendant la première minute. Alors on a $D(1 - m)^t = d$ (Playfair's outlines of nat. phil., vol. I, art. 313.), ou $1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{t}} = m$. Il est donc facile de calculer, à l'aide des logarithmes, la valeur de mD . Dans l'observation qui nous occupe

$$D = 124^{\circ},5;$$

$$d = 150 - 55,5 = 94,5,$$

et $t = 46'$; ce qui donne $m = 0,0061$,

et $mD = 0,75945$.

(2) Soit T la température du corps qui perd de la chaleur, et t la température du milieu environnant. Soit encore s la quantité de surface, et e le nombre de degrés auquel on élèverait la température d'un pied cube d'eau avec une quantité de chaleur égale à celle qui se perd, et employons les mêmes lettres, mais accentuées, pour dési-



de autre expérience, j'ai eu pour nombre

gner les mêmes choses dans les expériences. Alors, la quantité de chaleur perdue dans une minute étant en raison directe de la surface et de la différence de température, on aura $s' (T' - t') : e' :: s (T - t) : e$.

Donc $e = \frac{e' s (T - t)}{s' (T' - t')}$. Et puisque nous avons (note pr.)

$\frac{e'}{s'} = \frac{cn}{12b}$, nous aurons ici $e = \frac{cns (T - t)}{12b (T' - t')}$. Lorsque

le corps qui se refroidit est contenu dans un vase de fer-blanc, légèrement terni ou comme il le serait après quelque temps d'usage, alors $0,00041s (T - t) = e$, c'est-à-dire égale le nombre de degrés de l'échelle de Fahrenheit, dont serait élevée en une minute la température d'un pied cube d'eau.

Si le corps qui perd de la chaleur est contenu dans un vase de verre, alors l'expérience donne

$$0,000644 s (T - t) = e,$$

ou égale le nombre de degrés de l'échelle de Fahrenheit, dont la température d'un pied cube d'eau serait élevée en une minute.

Si le corps qui se refroidit est contenu dans un vaisseau de fer $0,000738 s (T - t) = e$, ou le nombre de degrés Fahrenheit, dont la température d'un pied cube d'eau serait élevée en une minute.

Les mêmes formules peuvent servir pour déterminer la perte de chaleur dans une chambre entretenue à une température plus élevée que l'air extérieur. Dans ce cas e exprime le nombre de degrés auxquels seront élevés 2850 pieds cubes d'air.



nt à peu près 0,00043. Le terme moyen entre trois expériences est 0,00041 (0,0009225 si l'on calcule sur l'échelle de Réaumur).

2^{me} Expérience. — Je me suis servi d'un cylindre de verre dont la surface était de 71 pouces carrés. Et la quantité d'eau ajoutée à la quantité équivalente à la chaleur spécifique du cylindre a été de 61,2 pouces cubes. La température de la chaleur, pendant l'expérience, était de 56° et demi (environ 11° R.). Le refroidissement de 181 à 179° (65,8 à 65°,3) s'est fait en 109 secondes, ce qui porte la perte à 1°,1 par minute (0°,48 R.), quand l'excès de température est

$$180 - 56 \frac{1}{2} = 123,5 \text{ (} 40°,66 \text{ R.)}$$

Le temps que l'eau a mis à se refroidir, de 180 à 150° (de 15°,3 R.) a été de 31 minutes et demie, ce qui donne 1°,075 par minute de perte de chaleur, lorsque l'excès de température est de 123°,5. Le résultat des deux méthodes est donc encore ici d'accord.

Le nombre constant, calculé d'après cette expérience, est de 0,000644; une seconde expérience a donné 0,000615, et une troisième 0,00066. Comme le nombre 0,000644 ne s'éloigne pas de la moyenne entre ces trois données, et que l'ex-



qui l'a donné a été faite dans une chambre dont la température est restée très uniforme, nous le prendrons pour servir de base aux règles.

3^{me} *Expérience.* — J'ai employé, pour cette expérience, un cylindre en tôle, dont la superficie était noire, comme est celle des feuilles de tôle qui sortent de la main de l'ouvrier. L'étendue, en surface, était de 76,7 pouces carrés, et la quantité d'eau, ajoutée à une quantité équivalente à la chaleur spécifique du cylindre, a été de 61,7 pouces cubes. Le thermomètre s'est tenu dans la chambre, pendant l'expérience, à 57° (11° R. environ).

De 180 à 179° (65°,8 — 65°,33 R.) le refroidissement s'est fait en 101 secondes; ce qui donne à peu près 1°,2 (0°,53 R.) de perte de chaleur par minute, quand l'excès de température est de $180^\circ - 57 = 123^\circ$ (54,66 R.).

De 180 à 150° (13°,3 R.) le refroidissement s'est fait en 29 minutes; ainsi la perte de chaleur est de 1°,18 par minute (0°,49 R.), quand l'excès de température est de 123° (54,66 R.). Le nombre constant, déduit de cette opération, est 0,000656. Je ne pus répéter cette expérience que plusieurs jours après celui où je l'avais faite, et, en examinant mon cylindre, je m'aperçus que le noir de la surface en était détaché; ayant achevé



EXPÉRIENCES SUR LE REFROIDISSEMENT.¹

enlever en frottant, la surface du cylindre se trouva d'un brun de rouille. Dans cet état, le milieu entre deux expériences me donna 0,000738 pour nombre constant ; et comme la surface était alors bien plus semblable à celle des tuyaux en fonte qu'avant d'être dépolie, j'ai pris pour nombre constant des règles 0,000738 (0,001650 pour l'échelle de Réaumur).

L'effet comparatif des différentes surfaces est, d'après les expériences précédentes,

Fer-blanc,	100
Verre,	155
Tôle noire et polie,	156
Tôle brune rouillée.....	180

A l'aide de ces données, il est facile de calculer la quantité de surface de tuyaux à vapeur, etc., pour entretenir une chambre à une température donnée, lorsqu'on aura évalué d'avance le degré de ventilation et la perte de chaleur, ainsi qu'on l'indique dans le chapitre où l'on traite ces sujets (Voyez chap. IV).

43. Pour faire ce calcul, il faut connaître quel est le degré le plus bas où puisse descendre la



ture de l'air extérieur, ou de l'air qui doit fournir la ventilation. Dans le climat de Londres, on peut prendre 30° (1 au-dessous de 0° R.) pendant le jour; mais, pour la nuit, il faut supposer que le plus grand froid fait descendre à 0° (-14° R.) le thermomètre de Fahrenheit. Il est très rare qu'on en éprouve dans ce pays un plus rigoureux. Il faut aussi connaître la température à laquelle on veut entretenir la chambre, ou la place qu'on veut échauffer, dans la supposition d'un froid aussi considérable, et la quantité d'air qu'il faudra élever de la température extérieure à celle de la chambre, pour remplacer la perte de chaleur en entretenant la ventilation (Voyez art. 68 — 70). On a observé que la température moyenne de la surface du tuyau qui contient la vapeur, est, sous la pression ordinaire, de 200° ($74^{\circ},66$ R.), (art. 40.)

44. Règle. — Multipliez les pieds cubes d'air qu'il faut échauffer, par minute, pour remplacer la ventilation et la perte de chaleur, par la différence entre la température à laquelle la chambre doit être entretenue, et celle de l'air extérieur, en degrés du thermomètre de Fahrenheit; et divisez le produit par 2,1 fois la différence entre 200 et la température de la chambre; le quotient donnera la quantité de surface de tuyau



ÉTENDUE DES TUYAUX A VAPEUR.

qui suffira pour maintenir la chambre à la température demandée (1).

Cette règle est applicable à tous les cas où, pour chauffer au moyen de la vapeur, on emploie des tuyaux de fer; on en trouvera des exemples

(1) Nous avons établi (art. 42, note) que, si 2850 pieds cubés d'air sont élevés d'un nombre de degrés e dans une minute, on trouvera, en nommant a le nombre constant, $as (T - t) = e$. Or, dans l'exemple présent t doit être la température de la chambre et e la différence entre cette température et celle de l'air extérieur; donc $e = t - t'$. t' étant la température de l'air extérieur. D'où l'on conclura $as (T - t) = t - t'$. Et $s = \frac{t - t'}{a (T - t)}$.

Si l'on représente par A le nombre de pieds cubés d'air à chauffer par minute, pour remplacer la perte de chaleur, on aura $s = \frac{A (t - t')}{2850 a (T - t)}$, s étant la quantité de pieds carrés en surface de tuyaux qui chaufferait la quantité A de pieds cubés d'air, de manière à en élever la température au nombre $t - t'$ de degrés du thermomètre de Fahrenheit.

Quand les tuyaux sont en fonte, $a = 000738$, et l'on a $s = \frac{A (t - t')}{2,1 (T - t)}$. Par la règle établie dans le texte, $T = 200$, donc $s = \frac{A (t - t')}{2,1 (200 - t)}$, ce qui donne le même résultat que la règle.



Chapitres où l'on s'occupe spécialement des emplacements qu'on a coutume de réchauffer avec la vapeur.

45. Nous avons maintenant à chercher quelle quantité de combustible est nécessaire pour chauffer une surface donnée de tuyau. Nous pourrions ainsi connaître la consommation, dans le cas où l'on a besoin du maximum d'effet. Nous serons encore en état d'évaluer la consommation moyenne pendant la durée d'une saison, mais avec moins de précision, attendu que celle-ci dépend de l'état du temps. Dans ce dernier cas, il faudrait déduire la moyenne température d'observations faites seulement pour la saison où l'on a besoin de chaleur artificielle, et la durée moyenne de cette saison serait déterminée par une suite d'observations continuées pendant plusieurs années. Je donnerai, pour un petit nombre de cas, des calculs de ce genre : je choisirai pour exemples ceux où la connaissance préalable de la consommation à faire me paraît de quelque utilité ; car, quoique ces calculs ne puissent pas être rigoureux pour une année en général, ils pourront être regardés comme assez exacts, étant pris pour le terme moyen entre plusieurs années. Peut-être plusieurs de mes lecteurs se trouveront-ils en état de calculer d'après une connaissance plus précise



DÉPENSE EN COMBUSTIBLE.

température moyenne et du temps où la chaleur artificielle est nécessaire. J'ai puisé mes notions particulières dans les tables météorologiques.

46. Si l'eau condensée rentre dans la chaudière sans perte de chaleur, la même quantité de combustible nécessaire pour porter à l'ébullition un pied cube d'eau prise à la température moyenne, suffira pour chauffer 26 pieds de surface de tuyau de fonte pendant une heure, lorsqu'on devra entretenir la température de la chambre à 66° (12° R.) (1), et supposant que l'eau qui entretient la chaudière y entre à 52° (9° R.), alors (art. 19) $7 \times 26 = 182$ pieds de surface de tuyau à vapeur condenseront un pied cube d'eau par heure.

(1) Dans une note précédente, nous avons trouvé que le rapport entre la surface d'un tuyau à vapeur et la perte de chaleur était exprimé par $0,000738 s (T - t) = e$. Si l'on fait $e = 160$, on aura $0,000738 s (T - t) = 160$. Dans ce cas, s est la surface en tuyaux qui élèverait de 160° la température d'un pied cube d'eau, ou qui le porterait à l'ébullition, si l'eau était prise à la température moyenne. Mais nous avons pris T , chaleur moyenne de la surface des tuyaux, de 200° , et nous avons supposé une heure pour le temps; dans ce cas, l'équation devient $s = \frac{3610}{200 - t}$. s étant la surface des tuyaux et t la température de la chambre. Si $t = 60$, on aura $s = 26$.

On calculera de même pour toute autre température.



si la chambre doit être entretenue à 80° de chaleur (21° R.), la même quantité de combustible chauffera 30 pieds de surface de tuyaux à vapeur pendant une heure, et 210 pieds de tuyau condenseront, dans le même temps, un pied cube d'eau, si celle qui entretient la chaudière est à 52° (9° R.).

48. Enfin si l'on veut entretenir à 100° (30° R.) la chaleur de la pièce, la même quantité de combustible suffira pour 36 pieds de surface de tuyau pendant une heure, et 252 pieds de tuyau condenseront un pied cube d'eau dans le même temps.

49. Nous avons vu (art. 23) que la quantité de charbon nécessaire pour produire cet effet, était 1, 2 liv. : mais 1, 2 liv., est la soixante et dixième partie du boisseau ; donc un boisseau de charbon de Newcastle suffira, par heure, pour fournir à 1820 pieds de surface de tuyau la chaleur nécessaire pour entretenir à 60° (12° R.) la température d'une chambre.

La même quantité fournira assez de chaleur à 2100 pieds, pour l'entretenir à 80° (21° R.) à 2520 pieds, pour l'entretenir à 100° (30° R.)

Lorsque l'eau condensée ne peut pas rentrer dans la chaudière, on perd environ $\frac{1}{12}$ de chaleur ; alors il faut réduire d'un $\frac{1}{12}$ la quantité de sur-



DÉPENSE EN COMBUSTIBLE.

qui peut être chauffée avec la même quantité de charbon.

Il faudra, dans ce cas, augmenter la quantité de combustible, en raison de la perte plus grande de chaleur de la chaudière; et si l'on n'a pris aucune précaution pour prévenir cette perte à la surface, il faudra mesurer cette surface, et en tenir compte en diminution de la quantité déterminée ci-dessus de surface de tuyau à vapeur. Mais si la chaudière est établie dans un endroit découvert et exposé à un air plus froid que celui du local échauffé par les tuyaux, il faudra faire un calcul séparé pour la perte de chaleur de la chaudière. Dans des cas semblables, la perte de chaleur à la chaudière se trouvera souvent égale à l'effet des tuyaux auxquels elle fournit la vapeur, et la proportion sera d'autant plus grande que la chaudière sera plus petite; il ne faut donc pas s'étonner en voyant l'énorme quantité de combustible employé inutilement dans plusieurs circonstances où l'on a fait usage de la vapeur. *Une chaudière de 70 pieds carrés de surface, placée dans un endroit non couvert, et au 32° du thermomètre de Fahrenheit (0 de R.), doit consommer, en pure perte, un boisseau de charbon en 24 heures.*

50. Quand la surface des tuyaux est propor-



de manière à produire l'effet demandé (art. 44), l'article 49 donne un moyen facile de connaître la quantité de combustible nécessaire pour entretenir la vapeur. Il ne faut que réduire en pieds carrés la quantité de surface des tuyaux, et diviser par 1820 ce nombre de pieds; alors on aura la quantité de boisseaux ou de parties de boisseau nécessaires pour la consommation d'une heure, lorsque la température de l'endroit à chauffer doit être entretenue à 60° (12° R.). Le nombre de pieds carrés de la surface des tuyaux étant divisé par 2100, le quotient sera la quantité de boisseaux nécessaire par heure pour entretenir la température à 80° (21° R.). Enfin le diviseur sera 2520 si la température doit être maintenue à 100° (30° R.)

Exemple. Une chambre est entretenue à 100° de chaleur par 580 pieds de tuyaux à vapeur; on demande combien il faut de charbon de Newcastle pour entretenir la chaleur de la chambre pendant dix heures? On divisera 580 par 2520, le quotient 0, 23 indiquera la consommation par heure. Ainsi pour 10 heures on trouvera que cette consommation devra être de deux boisseaux et trois dixièmes.

51. Il est nécessaire de connaître la quantité d'eau qui sera condensée dans un temps donné, pour pouvoir régler la quantité à fournir à la chau-



DÉPENSE EN COMBUSTIBLE.

....., particulièrement lorsque l'eau condensée n'est pas reconduite dans la chaudière. Or, j'ai fait voir (art. 46, 47 et 48) quelle quantité de surface de tuyau à vapeur peut, à différentes températures, condenser un pied cube d'eau. Si donc on connaît la surface entière, on n'a qu'à la diviser par le nombre qui exprime la quantité de surface nécessaire pour condenser un pied cube d'eau; le quotient donnera, en pieds cubes, la quantité d'eau nécessaire à l'entretien de la chaudière.

52. Pour évaluer la dépense en combustible pendant une saison, nous considérerons deux cas particuliers, et le calcul deviendra très facile en prenant pour base la quantité d'eau à réchauffer. Le premier cas est celui où le feu doit être constamment entretenu pendant toute la saison; le second celui où l'on n'en a besoin que pendant un certain nombre d'heures chaque jour.

53. Lorsque le feu doit être entretenu constamment pendant la saison, la quantité d'air à échauffer est égale à celle nécessaire pour remplacer la perte de chaleur, et pour fournir à la ventilation. On trouvera aux articles 68, 70, etc., la manière de déterminer cette quantité; elle y est évaluée en pieds cubes par minute: or, il y a 1440 minutes dans un jour; ainsi, en multipliant



ce nombre de pieds cubes, on aura pour produit la quantité d'air à réchauffer par 24 heures.

Si le local doit être entretenu à 56° (10 à 11° R.), le nombre de jours où l'on aura besoin d'une chaleur artificielle sera, une année dans l'autre, et dans les environs de Londres, de 220×1440 ou 316800 pieds cubes représentent donc la quantité d'air qu'il faudra réchauffer.

La température moyenne des 220 jours, dans le climat de Londres, est de 40° ($3^{\circ},55$ R.), par conséquent l'élévation moyenne de température à produire est $56 - 40 = 16$ degrés (7° R.); multipliant donc ce nombre 16 par 316800, nous aurons 5,068,800 fois la quantité d'air nécessaire pour entretenir la ventilation, et suppléer à la perte de chaleur pendant une minute, et dont il faut élever d'un degré la température pour toute la saison; mais, 0,00000262 liv. de charbon de Newcastle éleveront d'un degré (échelle de Fahrenheit) la température d'un pied cube d'eau (art. 23), et le boisseau de charbon pèse 84 livres. En faisant le calcul on trouvera que, dans ce cas, la consommation en boisseaux de charbon pendant une saison, peut être évaluée, sans erreur sensible, à la sixième partie de la quantité de pieds cubes d'air nécessaires pour entretenir la ventilation, et suppléer à la perte de chaleur pendant une mi-



(1), proportion qu'il est facile de retenir dans sa mémoire.

S'il est nécessaire d'entretenir la température à 60° (12° et demi R.), alors, dans le climat de Londres, le nombre moyen des jours où l'on aura besoin de chaleur artificielle, sera de 260, et le nombre de boisseaux de charbon qu'il faudra, sera égal à 0,21 fois la quantité de pieds cubes d'air nécessaires pour remplacer la perte de chaleur et fournir à la ventilation pendant une minute.

Ce calcul s'applique également aux serres chaudes (Voyez chap. IX).

54. Lorsqu'on n'a besoin d'employer le feu que pendant un certain nombre d'heures par jour, on est obligé de réchauffer, chaque matin, tout l'air de l'appartement ainsi que la chaudière, les tuyaux et les parties solides du local. On pourra

(1) Dans l'intérêt des lecteurs qui n'entendent pas l'algèbre, je me suis borné à donner les résultats dans l'exemple présent. Je vais ici le généraliser. Soit D le nombre de jours où la chaleur artificielle est employée, t la température moyenne pendant ce temps, t' la température à laquelle on doit entretenir l'endroit chauffé. Soit encore f la quantité en livres de combustible nécessaire pour élever d'un degré la température d'un pied cube d'air; A le nombre de pieds cubes d'air à chauffer par mi-



Il est maintenant déterminé la quantité de combustible, en comptant le nombre d'heures de plus qu'il faudrait entretenir le feu pour élever la température, et conserver le même degré de chaleur pendant le reste du jour; pour tout le reste, le calcul peut se faire de la même manière que dans le cas où le feu doit être entretenu jour et nuit.

Si h est le nombre d'heures pendant lesquelles la chaleur doit être continuée, et F la quantité de combustible à dépenser pendant la saison, on aura :

$$\text{ou } \frac{60 \Lambda h D (t - t') f}{84} = \frac{\Lambda h D f (t - t')}{1,4} = F$$

en boisseaux de charbon.

Si l'on se sert de charbon de Newcastle,

$$f = 0,00000262;$$

on a donc $0,0000187 \Lambda h D (t - t') = F$ en boisseaux.

Et si $h = 24$; $D = 220$; et $t - t' = 16$ comme dans le texte, on trouve

$$0,158 \Lambda = F \text{ en boisseaux ;}$$

ce qui donne, avec une exactitude suffisante, $\frac{\Lambda}{6} = F$ en boisseaux.

Art de chauffer.



DÉPENSE EN COMBUSTIBLE.

On pourrait dire que la chaleur moyenne du jour doit être un peu plus grande que celle du jour et de la nuit réunis; mais la différence n'est pas assez considérable pour y faire attention, dans des recherches où l'on n'a pour but qu'une évaluation approchée de la dépense en combustible qu'on aura à faire en une année.



CHAPITRE IV.

De la Ventilation, et des causes du Refroidissement.

« On n'y respire point un air fétide et corrompu,
» et qui n'arrive à nos poumons qu'après avoir
» déjà passé dans ceux d'une foule d'individus;
» véritable poison qui n'est propre qu'à por-
» ter dans le sang tous les désordres d'une fièvre
» ardente. L'air dont on y jouit est celui qu'une
» légère agitation fait flotter de colline en colline,
» transporte du vallon à la montagne, et qui se
» charge sans cesse, en circulant, des éléments les
» plus purs et les plus salutaires. »

ARMSTRONG.

55. Partout où l'on a besoin d'entretenir une chaleur artificielle, l'économie doit faire désirer qu'il ne s'échappe pas une plus grande quantité d'air échauffé que celle nécessaire pour conserver l'atmosphère dans un état de pureté



VENTILATION.

enable pour la respiration. Mais il est bien important de conserver un air pur et salubre, que d'empêcher une faible portion de chaleur de se perdre. La plupart des personnes qui se sont occupées du chauffage en spéculateurs, ont considéré l'économie du combustible comme tellement intéressante qu'elles ont rarement donné aux moyens de ventilation l'attention que cet objet mérite; et la santé, ce premier des biens pour l'homme, a trop souvent, je le crains, été légèrement sacrifiée pour épargner une dépense insignifiante en combustible.

N'ayant, quant à moi, aucun préjugé en faveur de quelque mode que ce soit d'employer la chaleur (1), je ne m'occupe de cet objet que dans l'intérêt de la vérité, et avec le désir de faire tout ce qui peut dépendre de moi pour l'avantage général. Et j'ose croire que mes recherches seront utiles à une portion très nombreuse de mes concitoyens, dont le bien-être est intimement lié avec le sujet qu'elles concernent. C'est une vé-

(1) Si je n'avais qu'une seule méthode, alors sans doute j'aurais un motif pour la faire paraître plus économique que les autres; je pourrais aussi ne pas m'occuper de la ventilation, ou voir avec plaisir qu'on la négligeât.



niversellement reconnue pour que j'aie cherché à la prouver par le raisonnement, qu'un air pur est nécessaire pour la conservation de la santé; mais il peut être utile d'examiner et d'apprécier l'effet des causes qui rendent l'air renfermé impur et incapable d'entretenir la vie. On a remarqué que « la salubrité de l'air dépend, en grande partie, de la quantité d'oxygène qu'il contient; et cette quantité paraît exister dans tous les endroits exposés à une atmosphère libre et à l'influence des vents. Mais la même uniformité de composition n'a pas lieu dans l'air renfermé des maisons d'habitation, des théâtres remplis par la foule, ou des hôpitaux (1). » Cependant, le Chimiste qui a écrit cette remarque n'a pas été en état de découvrir la plus petite différence entre l'air d'un hôpital et celui pris en lieu découvert. Le même fait a été constaté par d'autres Chimistes. Seguin a analysé l'air d'un hôpital, dont l'odeur était désagréable; mais il n'a pas obtenu d'autre résultat que celui que lui a donné l'air atmosphérique. Les recherches de Priestley, de Demarti, de Gay-Lussac, et autres, tendent toutes à prouver que la composition de l'air est partout essen-

(1) Philosophical Mag., vol. IV, p. 433.



VENTILATION.

ment la même (1). Si nous regardons ces expériences comme exactes, tout ce qu'elles prouvent, c'est qu'un poison mortel peut être répandu dans l'atmosphère sans que l'art du chimiste soit capable de le découvrir. Mais, si les analyses les plus délicates ne peuvent le reconnaître, nous avons les preuves les plus évidentes de son existence dans la pâleur, dans la faiblesse de ceux qui habitent les villes resserrées et populeuses; dans l'insalubrité de certains cantons; enfin, dans les altérations considérables qu'un changement de résidence produit souvent sur le tempérament d'individus qui n'y sont point accoutumés. Si la quantité d'oxygène ne varie pas, il faudrait trouver d'autres moyens qui nous missent en état de reconnaître en quoi consiste la différence: peut-être tient-elle à la présence de substances étrangères; il serait important de le vérifier. L'atmosphère, dans le voisinage de la mer, contient, dit-on, de l'acide muriatique. Ce sujet est trop intéressant pour qu'on l'abandonne; et si, quelque jour, quelqu'un entreprenait de le traiter, et apportait dans son travail la délicatesse d'ana-

(1) Doct. Murray's System of Chemistry, vol. II, p. 37.
Doctor Thomson's System of Chemistry, vol. III, p. 178.



à Wollaston, on pourrait s'attendre à des découvertes importantes.

De la Ventilation et de la perte de la Chaleur dans les édifices publics et les maisons d'habitation.

56. *Ventilation.* — Les physiologistes ont mis dans nos mains un moyen de mesurer la détérioration de l'air, dans les chambres habitées, avec beaucoup plus d'exactitude qu'avec le meilleur eudiomètre. Ils ont prouvé, par un grand nombre d'expériences sur la respiration, qu'un homme consomme environ 32 pouces cubes d'oxygène par minute, et que ce gaz est remplacé par un volume égal de gaz acide carbonique renvoyé par les poumons (1). Or, l'oxygène entre pour la cinquième partie, à peu près, dans la composition

(1) Le docteur Thomson, dans son *Système de Chimie*, vol. IV, p. 615, et le docteur Murray, dans son traité qui porte le même titre, vol. IV, p. 491, rapportent ces expériences. Il paraît, d'après celles du docteur Prout et du docteur Fyfe, que la quantité d'acide carbonique émis n'est pas la même aux différentes heures du jour, et que la manière de vivre y apporte aussi de la différence; la quantité est moins considérable pendant la nuit. (Thomson's *Annals*, vol. IV, p. 331.)



ir atmosphérique. Il s'ensuit que , par l'effet seul de la respiration d'un homme , près de 160 pouces cubes d'air par minute sont rendus impropres , soit à la combustion , soit à l'entretien de la vie animale. Mais l'homme respire 20 fois dans une minute , et chaque fois il aspire et il exhale 40 pouces cubes d'air ; donc , la quantité d'air vicié chaque minute par son passage dans les poumons est de 800 pouces cubes.

57. Dans le même temps , les poumons de l'homme renvoient une quantité considérable de vapeur. Les expériences qu'on a faites à cet égard ont donné des résultats qui diffèrent beaucoup entre eux : ce qu'il y a de mieux à faire est de prendre le plus élevé qui porte cette quantité à 6 grains par minute (1). Il ne peut pas être plus considérable , parce que 6 grains et demi satureraient 800 pieds cubes d'air à la température où il se trouve quand il est renvoyé par la respira-

(1) Les expériences de Hales ont donné pour résultat près de sept grains par minute ; celles du docteur Thomson six grains (Syst. of Chemistry , vol. IV , p. 621) ; celles du docteur Murray et d'Abernethy , trois grains (Murray's Chem. , vol. IV , p. 497) ; enfin , celles de Lavoisier et de Seguin un peu plus de sept grains. (Dict. de Chimie , art. *Transpiration*. Encyc. méthod.).



très vraisemblablement, il doit arriver rarement qu'il soit au-dessous de 6 grains. Si l'air que renvoient les poumons ne contenait pas ce mélange de vapeur, il ne s'élèverait pas en passant dans l'atmosphère. Et ici nous devons admirer un de ces moyens si simples, et si merveilleux en même temps, employés par la sagesse infinie du Créateur, pour empêcher que nous ne fussions obligés de respirer plusieurs fois le même air; car un mélange d'azote, de gaz acide carbonique et de vapeur à la température où elle est expulsée, est beaucoup plus léger que l'air ordinaire à la même température; aussi s'élève-t-il avec une telle vitesse, qu'il est entièrement éloigné de nous avant d'être étendu dans l'atmosphère.

58. Mais, comme tous les corps gazeux et les vapeurs se mêlent intimement lorsqu'on les laisse en contact, il en résulte qu'il est très important que la ventilation soit continuelle; que les gaz nuisibles soient chassés à mesure qu'ils sont produits; que la ventilation se fasse par la partie supérieure du lieu où elle est établie; enfin, que l'air frais ne soit point introduit par un endroit où il puisse être exposé à se mêler avec celui qui s'est élevé des poumons.

59. Il existe d'autres causes d'impureté qui doivent être prises en considération; il paraît



Un homme rend en vapeur, par la transpiration insensible, de 12 à 30 grains par minute (1); et l'on a aussi remarqué que l'air qui est resté quelque temps en contact avec la peau, se change en grande partie en gaz acide carbonique. On ne connaît pas bien encore la quantité d'air que ces causes rendent impropre à la respiration. On doit au moins chercher à renouveler autant d'air dans une chambre qu'en pourrait saturer l'humidité qui s'échappe par la transpiration, et dans une chambre chauffée à 60° (12°, 5 R.), en supposant que la vapeur donnée par la transpiration n'aïlle, tout au plus, qu'à 18 grains par minute, attendu que la plus grande partie du corps reste couverte, il faudra renouveler trois pieds cubes d'air par minute, pour chaque individu qui se trouvera dans la chambre (2).

60. L'air d'une chambre close est encore altéré

(1) Lavoisier et Seguin ont trouvé 15 grains par minute.

(2) Dans les endroits où il y a beaucoup de monde, la vapeur exhalée se condense souvent sur les murailles, etc. Dans un ouvrage récemment publié sur *la construction et la ventilation des maisons d'assemblée*, on a traité convenablement ce sujet, et l'on en a tiré une des principales raisons pour prouver la nécessité de la ventilation.



ces autres causes. Il est de la plus grande importance de tenir compte de l'effet des chandelles, des lampes, et des autres sortes de lumières. Il paraît que la combustion d'une seule chandelle peut rendre de 180 à 300 pouces cubes d'air impropre à la respiration; et nous ne pouvons pas demander moins d'un quart de pied cube d'air, par individu, pour ces causes d'impureté. Il faut d'ailleurs remarquer que la chaleur augmente l'exhalaison de chaque espèce de substance nuisible, de sorte que partout où l'on a besoin d'une température extraordinaire, il est essentiel de ménager une plus forte ventilation.

61. Il est évident pour celui qui fait attention aux différentes causes qui doivent nécessairement vicier l'air d'un appartement, ainsi que nous l'avons démontré, que, partout où l'on aura égard à la salubrité et à la propreté, la ventilation sera jugée indispensable. Nous avons donc à nous occuper maintenant de la manière de l'effectuer, de sa quantité, de la place où il convient d'introduire le nouvel air frais, enfin des issues qu'il faut ménager à l'air vicié.

La quantité de ventilation doit naturellement dépendre du nombre d'individus; et nous avons vu que pour chaque individu il fallait,



t. 56..... 800 pouces cubes
par minute.

par l'art. 59, 3 pieds cub. = 5184 pouces cub. *id.*

par l'art. 60, $\frac{1}{4}$ pieds cub. = 432 pouces cub. *id.*

C'est en tout, par personne, 6416 pouces cubes, ou très près de 4 pieds cubes par minute (1).

62. Toute cette quantité sera plus élevée en température que l'air environnant; le gaz pesant (le gaz acide carbonique) se trouvera tellement mêlé avec le gaz azote et la vapeur qui sont l'un et l'autre plus légers que l'air, que le mélange sera forcé de s'élever et d'occuper la partie supérieure du local échauffé; tandis que l'air introduit se mêlera à celui de la chambre et le rafraîchira, s'il n'a pas la facilité de s'échapper pendant que la température plus élevée lui donne le degré de légèreté convenable. On doit en conclure que c'est dans le plafond qu'il convient de placer l'issue pour l'air vicié. Pour faciliter l'ascension de cet air vers l'issue, la forme du plafond doit être telle qu'elle est représentée dans la figure 1, pl. A. Quand les plafonds sont en dôme, en voûte, ou qu'ils

(1) 6416 pouces cubes anglais égalent 5286 pouces cubes français, ou, 3,059 pieds cubes et 0,03589 mètres cubes. (Note du traducteur.)



une courbure, et que les tuyaux de ventilation montent des parties les plus élevées, ils favorisent beaucoup la ventilation, soit en ce qui a rapport à l'expulsion de l'air le plus vicié, soit en donnant une colonne plus haute d'air raréfié qui l'aide à s'élever. Mais il est nécessaire de ménager le moyen d'ouvrir et de fermer le passage, pour pouvoir régler à volonté la quantité de ventilation. C'est ce qu'il est aisé de faire, en plaçant un contre-poids à la pièce A qui sert à boucher l'ouverture. Ce contre-poids peut être mis en mouvement par une corde, ou bien par un fil d'archal qui porte sur deux poulies P P. La seule attention à avoir dans cet arrangement, est de placer le tout, ou au moins une partie du contre-poids en H, où l'on attache la corde qui fait mouvoir ce contre-poids (1).

63. La force de ventilation doit être évidemment proportionnée au plus grand nombre d'individus que le lieu où l'on en fait usage puisse être supposé contenir à la fois; et il est également clair qu'il vaut mieux à cet égard pécher par excès que par

(1) Cette méthode semble être à peu près la même que celle que les Romains employaient pour régler la température de leur *laconicum* ou étuve. (V. Vitruve, liv. V, chap. 10.)



VENTILATION DES ÉDIFICES PUBLICS.

Mais peut-être quelques exemples, en nombres ronds, donneront-ils une idée plus exacte encore de la quantité d'air qu'il convient de renouveler chaque minute dans une assemblée nombreuse. Nous avons trouvé (art. 61) qu'il fallait 4 pieds cubes par minute pour chaque individu. Lors donc qu'un local contient 200 personnes, 800 pieds cubes d'air doivent être changés chaque minute ; c'est un peu plus que ce qu'il en faudrait pour remplir une chambre de 9 pieds en carré sur 9 pieds de hauteur. Pour 400 personnes, il faut 1600 pieds cubes d'air frais par minute, pour empêcher l'air de se vicier ; et ainsi de suite à proportion. Quand on observe la manière dont s'effectue maintenant la ventilation des lieux où la foule se rassemble, on ne peut être surpris de voir qu'on y éprouve un sentiment de malaise et une odeur désagréable. Si, dans l'évaluation que nous avons faite des quantités d'air à renouveler, nous n'avons pas mis une très grande exactitude, en prenant les résultats les plus bas, nous ne pouvons pas non plus être assurés que la construction d'un ventilateur sera assez parfaite pour ne laisser échapper que l'air vicié ; tout compensé, il est probable que la pureté de l'air ne sera que simplement entretenue.

64. La saison où la ventilation est le plus difficile, est l'été. Mais, en faisant attention que,



est chaud, la différence de température ne doit pas passer 10 degrés, nous trouverons, en nous renfermant dans cette limite, la règle suivante pour avoir l'aire des tuyaux nécessaires pour l'établir.

Règle. — Multipliez par 4 le nombre d'individus qu'un local peut contenir, et divisez ce produit par 43 fois la racine carrée de la hauteur en pieds des tuyaux, vous aurez pour quotient l'aire du tuyau ou des tuyaux de ventilation, exprimée en pieds (1).

(1) L'aire du tuyau nécessaire pour pouvoir chasser l'air vicié, peut être ainsi déterminée. Soit h la hauteur en pieds depuis le pavé jusqu'au haut du tuyau; a l'aire de la section du tuyau exprimée en pieds; $t - x$ la différence entre la température de l'air de la chambre et celle de l'air extérieur, et B la quantité de pieds cubes d'air qui doit s'échapper du tuyau en une minute.

Maintenant, la force qui dans ce cas produit le mouvement est la différence entre le poids d'une colonne d'air extérieur et celui d'une colonne d'air intérieur, lorsque les bases et les hauteurs sont égales, c'est-à-dire qu'on a

$h \left(\frac{t - x}{450 + t} \right)$, et par les principes d'hydrodynamique,

$$60a \sqrt{\frac{64 \frac{1}{3} h (t - x)}{450 + t}} = B.$$



et la hauteur des tuyaux il faut entendre la hauteur depuis le pavé du local jusqu'à l'endroit où l'air s'échappe pour s'unir à celui de

Mais on suppose que l'ouverture est faite de manière à ce qu'il n'y ait aucune contraction dans le courant d'air : il est reconnu par l'expérience que, dans tous les cas, cette contraction diminue la quantité qui s'échappe d'environ les $\frac{3}{4}$ du tout. En conséquence nous aurons, en négligeant les fractions,

$$\frac{B}{300} \times \frac{\sqrt{450 + t}}{h(t - x)} = a.$$

C'est-à-dire que B pieds cubes d'air seront évacués par minute par un tuyau dont l'aire de section est égale à a pieds.

Quand la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur est de 5°, on a $\frac{B}{30\sqrt{h}} = a$. Si elle est de

10°, l'équation devient $\frac{B}{43\sqrt{h}} = a$. C'est la règle établie

dans le texte; et quand la différence de température est de 30° (13° R. environ), ce qui doit souvent avoir lieu, il est nécessaire d'avoir le moyen de réduire l'ouverture à

$\frac{B}{75\sqrt{h}} = a$. Si la différence était de 56°, on aurait alors

$\frac{B}{100\sqrt{h}} = a$. On calculerait de même pour toute autre différence de température.



ère ; et tous les tuyaux , quand il y en a plusieurs , doivent avoir la même élévation.

L'espace où l'on introduit l'air frais doit être près du pavé de la place à aérer , ou sous le pavé même , et à peu près de la même étendue ; car la différence dans le volume de l'air , dont la température est de 10 degrés plus froide , n'est que d'un quarante-huitième en moins.

Dans une chambre ainsi aérée , on ne peut avoir de feu de cheminée ; mais , lorsque nous nous occuperons des grilles (Chap. X) , nous aurons l'occasion d'examiner comment on peut combiner les deux moyens.

65. *Perte de chaleur.* — Il doit y avoir , pour chaque individu , 4 pieds cubes d'air par minute qui entraînent une quantité de chaleur égale à la différence entre la chaleur de l'air extérieur et celle de l'air intérieur. Il se perd aussi beaucoup de chaleur lorsqu'on ouvre et qu'on ferme les portes , et cette perte n'a aucun avantage pour la ventilation ; mais on peut négliger celle-ci , parce qu'elle n'est pas assez considérable pour être prise en considération (1). Les passages

(1) Si une issue dans une porte reste constamment ouverte , et qu'on nomme h sa hauteur ; si l'on suppose que



portes et les fenêtres fermées laissent à l'air, permettent qu'une quantité assez considérable entre ou s'échappe, sans servir à la ventilation; car la qualité de l'air n'est point améliorée quoiqu'on en laisse échapper, lorsque cela a lieu beaucoup au-dessous du niveau du plafond; et il paraît, d'après une des notes qui précèdent, que dans la saison la plus rigoureuse, temps pour lequel il convient d'évaluer la quantité de chaleur, il faut compter, terme moyen, 11 pieds par minute pour chaque porte ou fenêtre

le point pris dans la hauteur où l'air n'est point en mouvement, se trouve à la moitié de cette hauteur; alors nommant b la largeur, l'aire de l'espace par lequel l'air entre sera $= \frac{1}{2} hb$. Substituant cette valeur de a dans l'é-

quation $\frac{B}{300} \times \frac{\sqrt{450+t}}{h(t-x)} = a$, on aura

$$B = 150bh^{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{t-x}}{\sqrt{450+t}}$$

Ceci suppose que la vitesse est la même à tous les points de la hauteur; mais elle varie assez pour devenir nulle au milieu ou près du milieu de la hauteur: donc, d'après les principes sur les quantités variables, l'expression ci-dessus doit être divisée par le nombre qui exprime la hauteur.

Ce qui donne $B = 100bh^{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{t-x}}{\sqrt{450+t}}$. B exprimant la



communiqué avec l'air extérieur; les portes intérieures laissent bien entrer de l'air, mais, cet air étant plus chaud et n'équivalant en général qu'à celui nécessaire pour remplacer ce qui est porté au plafond par la ventilation, peut ne pas être pris en considération.

66. La matière solide des murs, des plafonds ou du sol d'une chambre, lorsqu'elle est, comme c'est l'usage, en bois, en plâtre ou autres conducteurs lents, n'enlève qu'une très petite quantité de chaleur dès que sa température a été portée

quantité de pieds cubes d'air introduits dans une minute, si $t - x = 60^\circ$, on a $B = 34bh^{\frac{1}{2}}$.

L'accès de l'air par les ouvertures que laissent les joints des portes et des fenêtres peut être facilement calculé par cette équation, où b peut représenter la somme des largeurs horizontales de ces ouvertures, prise en pieds. La largeur de ces ouvertures dans une porte bien faite ne doit être que $\frac{1}{200}$ de pied; mais elle est le plus souvent double de cette quantité, et dans ce cas, $B = 0,34h^{\frac{1}{2}}$. On voit ici que des portes élevées tendent à refroidir une chambre dans une proportion plus grande que celle qui résulte de leur augmentation de hauteur. La hauteur moyenne est d'environ sept pieds; en la mettant à huit pour tenir compte du dessous et du dessus, la quantité d'air qui entrera par minute, quand la différence de température sera de 60° , sera de $11 \frac{1}{2}$ pieds cubes. On peut évaluer à la même quantité l'air qui entre par les fenêtres.



le degré que l'air de la chambre. Mais le verre des fenêtres en laisse échapper une quantité considérable. Nous devons donc considérer l'effet qu'a l'air extérieur pour refroidir le verre.

Afin de déterminer la quantité de chaleur que le verre laisse échapper par minute, nous emploierons, comme moyen très commode, la mesure de la quantité d'air qui descend dans le même temps de la température de la chambre à celle de l'air extérieur. Les principes établis (art. 37 et 42, Chap. III) s'appliquent à ce sujet; et l'on peut conclure de ces principes, que la quantité d'air refroidi dans un temps donné est simplement proportionnelle à la surface du verre exposé à l'air extérieur, et qu'en conséquence elle sera la même, quel que soit le changement de température. Ce résultat est fondé sur ce que la quantité d'air qui s'échappe se mesure par la quantité d'air échauffé à la même température, comme l'excès de température de la surface qui perd de sa chaleur (1).

(1) On a vu (art. 42, note) que $0,000644 (T-t) s = E$, quand le verre forme la surface qui perd de la chaleur. Mais la chaleur de la surface du verre sera généralement moindre que la température moyenne de la chambre; et



Règle. — Si l'on multiplie par 1,5 la surface du vitrage, le produit sera égal au nombre de pieds cubes d'air par minute dont la température passera de la chaleur de la chambre au degré de refroidissement de l'air extérieur.

Il est facile de déduire, à l'aide de ces évaluations des diverses circonstances qui produisent le refroidissement, une règle générale d'une exactitude suffisante pour la pratique, et qu'on pourra limiter, suivant qu'on le jugera convenable, pour les cas particuliers.

68. *Règle.* — Dans les édifices publics, les maisons d'habitation, etc., la quantité de pieds cubes

dans les très grands froids, cette différence peut être prise pour $\frac{1}{3}$. Donc, quand $E = T - t$, on aura

$$\frac{5 \times 0,000644s}{6} = 1 \quad \text{et} \quad s = 1853.$$

Maintenant, comme cette quantité de surface doit faire tomber 2850 pieds cubes d'air de la température de la chambre à celle de l'air extérieur, on aura $1853 : 2850 :: 1 :$ un quatrième terme qui est $1 \frac{1}{2}$, à peu près. C'est-à-dire qu'un pied carré de vitrage refroidit un pied cube et demi d'air par minute, et le fait descendre de la température moyenne de la chambre à celle de l'air extérieur. C'est la règle donnée dans le texte.

d'air à chauffer par minute doit être égale à quatre fois le nombre des individus que peut réunir le local, ajouté à 11 fois le nombre des portes et des fenêtres extérieures, et à 1 fois et demie l'aire exprimée en pieds du vitrage exposé à l'air extérieur; la somme sera la quantité en pieds cubes qui devra servir pour calculer la quantité de surface de tuyau à vapeur (art. 44), ou la quantité de combustible (art. 53) (1).

Si les fenêtres étaient doubles et qu'elles fermaient assez bien pour empêcher le mouvement de l'air entre les deux, alors on n'aurait à faire entrer dans le calcul que le refroidissement qui s'opère par la ventilation : dans ce cas, le nombre des pieds cubes à chauffer par minute serait égal à 4 fois celui des individus que la chambre devrait contenir.

Si les fenêtres, sans être doubles, fermaient hermétiquement, on pourrait négliger d'en multiplier le nombre par 11.

(1) Soit P le nombre de personnes qu'une chambre doit contenir, ν le nombre de fenêtres, et G l'aire du vitrage. Alors $4P + 11\nu + 1,5G = A$, d'où l'on tirera (art. 44, note.)
$$\frac{t-t'(4P + 11\nu + 1,5G)}{v2,1(200-t)} = s, s \text{ étant la surface en pieds du vaisseau à vapeur.}$$

Si l'on divise le nombre de pieds cubes de l'espace d'une chambre par la quantité d'air qu'il est nécessaire de chauffer par minute pour y entretenir la même température, le quotient sera à peu près égal au nombre de minutes qui serait employé à élever cet air à ce degré de chaleur, en arrêtant la ventilation pendant ce temps. Mais ceci s'apprendra promptement par l'expérience. Quand les fenêtres sont doubles, on fait bien d'avoir un tuyau de plus pour élever en moins de temps la chaleur au degré demandé. Ce moyen ménage le plus souvent du temps et de la chaleur.

De la Ventilation et de la perte de Chaleur des serres chaudes, etc.

69. Peut-être peut-il être très utile d'avoir le moyen de varier à volonté la ventilation d'une serre chaude pendant l'hiver; mais il n'est jamais avantageux de la fermer hermétiquement, ni même d'y diminuer la ventilation de manière à la rendre presque nulle. La plus légère attention à l'effet de l'air sur les plantes, suffit pour démontrer que, dans tous les temps, un peu d'air leur est nécessaire. La quantité d'air qui circule par les vides, entre les carreaux du vitrage, remplit amplement cet objet, quand le toit est vitré

de la manière la plus parfaite; et, quand il l'est imparfaitement, la ventilation est beaucoup trop forte, attendu qu'elle enlève une trop grande quantité de chaleur. En hiver, je préfère à tout autre mode de ventilation celle qui se fait par les vides entre les carreaux du vitrage, parce qu'elle suffit aux besoins de cette saison; parce qu'elle se fait de la manière la plus égale dans toute la serre, et qu'elle n'y fait sentir aucun courant. Et, dans le fait, je considère la division de l'air introduit de cette façon, par de nombreuses sources insensibles, comme produisant la ventilation la plus avantageuse possible (1).

(1) D'après les expériences de Scheele, la pureté de l'air atmosphérique est toujours altérée par la germination et la végétation; les recherches de Priestley l'ont conduit aux mêmes résultats; et Ellis a prouvé que les plantes consomment toujours de l'oxygène, excepté quand elles sont exposées à l'action directe des rayons solaires (Murray's System of Chemistry, vol. IV, p. 20 et 37). Théod. de Saussure s'est également assuré (Journal des Sciences, vol. XV, p. 317), qu'il faut plus d'oxygène pour le développement des fleurs que pour celui des feuilles. Quelques fleurs en exigent plus du double: telles sont, par exemple, la *passiflora serratifolia* et le *polyanthus tuberosa*. Un air renouvelé est donc indispensable dans les serres où l'on fait venir des fleurs, et dans celles destinées à la production des fruits, lors de l'époque de la floraison.

70. *Perte de chaleur.* — L'air qui entre et celui qui sort par les vides entre les carreaux du vitrage, peut être évalué avec assez d'exactitude pour donner les moyens de se prémunir contre ses effets, dans la saison la plus rigoureuse. La hauteur moyenne verticale du toit vitré d'une serre chaude est d'environ 10 pieds; et quand la différence de température entre l'air de la serre et celui du dehors est de 30 degrés ($13^{\circ},3 \text{ R.}$), un vitrage médiocrement exécuté laisse pénétrer 5 pieds et demi cubes d'air frais par minute; et par chaque pied de longueur de la serre (1).

(1) *aldw...*

(*) En prenant un terme moyen entre la grandeur des vides dans les vitrages de serres qui n'avaient pas été exécutés avec beaucoup de soin, j'ai trouvé environ 0,007 de pied par chaque pied de hauteur mesurée verticalement. Ainsi, si l'on multiplie par 0,007 l'équation de la note de l'article 65, on aura la quantité de pieds cubes d'air qui entrera dans une minute; car ceci est un cas particulier du même problème, savoir celui dans lequel l'air s'introduit par des ouvertures à distances égales. On aura donc

$$0,76h \frac{\sqrt{t-x}}{\sqrt{50+t}} = B,$$

b représentant la longueur en pieds du vitrage, h sa hauteur verticale, et B la quantité de pieds cubes d'air introduits par minute. Si $t-x=30^{\circ}$ et $h=10$ pieds, alors

Avec la même hauteur de vitrage, et la même différence de température, une couverture exactement vitrée laissera entrer $2\frac{1}{4}$ pieds cubes d'air par minute, pour chaque pied de longueur de la serre.

Mais, pour ne pas pécher par défaut, car nous n'avons pris qu'un degré moyen de variation de température, supposons qu'il entre par minute 5 pieds cubes d'air par chaque pied de longueur, quand la hauteur du vitrage ne s'éloigne pas beaucoup de 10 pieds. Comme nous connaissons, par l'art. 67, la quantité de chaleur qui se perd par le vitrage, et par l'art. 69, celle de l'air qui entre par les vides des portes, nous aurons la règle pratique suivante pour les serres chaudes.

Règle. — La chaleur donnée par le combus-

$B = b \times 5,5$ pieds cubes par minute, ce qui revient à l'exemple du texte.

Quand un vitrage est assemblé avec beaucoup de soin, les vides ne doivent pas être estimés, terme moyen, à plus de 0,003 pieds, ce qui donne $2\frac{1}{4}$ pieds cubes par minute pour chaque pied de longueur; et à moins qu'on ne joigne les carreaux avec du plomb ou du mastic, on ne peut réduire à une quantité plus faible l'air qui s'introduit entre leurs joints.

Il faut observer que si la hauteur verticale du toit vitré est beaucoup moins grande que celle de la serre, cette méthode de calcul n'est pas rigoureuse; mais en général elle est d'une exactitude suffisante pour la pratique.

bustible doit être telle qu'elle puisse élever, de la température de l'air extérieur à celle de la serre, une quantité de pieds cubes d'air par minute égale à 5 fois la longueur du vitrage du toit, plus une fois et demie l'aire totale du vitrage comptée en pieds, plus 11 pieds cubes pour chaque porte (1).

On peut ici se convaincre combien il est important de n'employer en vitrage que ce qui peut être favorablement placé pour donner de la lumière, et aussi qu'il est avantageux que les serres aient de doubles portes, pour éviter une perte immense de chaleur chaque fois qu'on entre ou qu'on sort de la serre.

71. Dans les serres où l'on est obligé d'entretenir un plus haut degré de chaleur, on doit calculer sur une plus grande introduction d'air froid. Ces sortes de serres varient davantage en

(1) Soit D le nombre des portes, G l'aire du vitrage et L la longueur de la serre. Alors $5L + 1\frac{1}{2}G + 11D = A$. D'où l'on conclura la longueur des tuyaux en calculant d'après la note 44; ce qui donnera

$$\frac{t - t' (5L + 1\frac{1}{2}G + 11D)}{2,1 (200 - t)} = S.$$

S sera égal au nombre de pieds de surface des tuyaux.

hauteur ; et, par conséquent, en conservant autant que possible la même simplicité que nous nous sommes proposée, nous donnerons une règle d'une exactitude assez grande pour pouvoir servir à ceux qui n'entendent pas les calculs algébriques.

La plus grande différence entre la température d'une serre et celle de l'air extérieur, ne peut jamais être de plus de 50° (22° R.) ; si donc on veut être en état de produire la chaleur nécessaire pour ce degré de froid, on peut faire usage de la règle suivante (1) :

RÈGLE. Au produit de la longueur de la serre, multipliée par la moitié de la plus grande hauteur verticale, comptées l'une et l'autre en pieds, ajoutez une fois et demie l'aire totale du vitrage,

(1) Nous avons eu (article 70, note)

$$0,7bh^{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{t-x}}{450+t} = B.$$

Lorsque l'on a $t-x=50^{\circ}$, on trouve à peu près que $\frac{bh^{\frac{3}{2}}}{4} = B$. Nous pouvons donc dans la pratique où l'on peut se contenter d'une simple approximation, faire $\frac{bh}{2} = B$. Dans le cas où h représente la plus grande hauteur verticale de la serre.

et onze fois le nombre des portes; la somme sera égale au nombre de pieds cubes d'air qui devront être élevés par minute de la température de l'air extérieur à celle de la serre. En employant ensuite cette somme, ainsi qu'on l'a indiqué à l'article 44, on trouvera la quantité de tuyaux nécessaire pour transmettre cette chaleur; et si l'on veut savoir de combien de combustible on aura besoin pour la produire, on n'aura qu'à faire servir cette somme ainsi qu'on l'a expliqué à l'art. 53 (1).

On trouvera, dans le chapitre qui traite des serres chaudes (chap. IX), l'application de ces règles; mais pour les serres qui diffèrent beaucoup dans leur forme des serres ordinaires, on devra consulter les formules algébriques qui se trouvent dans les notes.

(1) Si D est le nombre des portes, G l'aire du vitrage, L la longueur de la serre en pieds, et h sa hauteur aussi en pieds, nous aurons $\frac{1}{4} Lh^3 + 1,5G + 11D = A$. Et pour la surface des tuyaux, d'après la note de l'art. 44,

$$\frac{(t-t')(\frac{1}{4} Lh^3 + 1,5G + 11D)}{2,1 (200 - t)} = S;$$

valeur qui peut être employée au lieu de celle qu'on trouverait par la règle du texte qui n'est qu'une approximation.

Le vent contribue puissamment à refroidir l'air des serres chaudes ; il tend particulièrement à augmenter la circulation de l'air à travers les vides et les fentes. Il est certain qu'on a besoin de la plus grande force de chaleur pour maintenir la température de ces sortes de bâtimens dans les temps froids et venteux ; mais, lorsque le temps est extrêmement froid, il est rare que le vent soit très fort. La neige et la pluie tendent aussi à refroidir très promptement l'air des serres chaudes. C'est dans la vue d'obvier à ces différentes causes de perte de chaleur, que j'ai supposé un degré de froid plus considérable que celui qui serait nécessaire si elles n'existaient pas.

Le docteur Leslie, auquel nous sommes si redevables pour ses recherches expérimentales sur la chaleur, a étudié l'effet des vents sur le refroidissement (1) ; mais tant qu'on n'aura pas de tableaux de l'intensité des vents, avec des observations comparables sur la température, il sera difficile de réduire cet effet à des règles sûres (2).

(1) Recherches sur la nature de la chaleur (p. 278).

(2) Le colonel Beaufoy avait entrepris un tableau de cette espèce pour les Annales du docteur Thomson ; mais il ne l'a point continué. Il ne semble pas difficile d'établir un anémomètre et de tenir note des changemens du vent et

72. *Ventilation des serres chaudes pendant l'été.* Il est assez ordinaire maintenant de fixer le vitrage des serres chaudes, et de donner de l'air au moyen d'ouvertures ménagées à cet effet, suivant la méthode employée, en 1801, par M. Anderson, et pour laquelle il avait un privilège (1), méthode appliquée depuis (en 1807) par M. Atkinson aux serres chaudes ordinaires : dans ce cas, il est nécessaire de ménager assez d'ouvertures pour que la température ne s'écarte pas des limites convenables dans les jours les plus chauds de l'été.

Dans le climat de Londres, l'action du soleil suffit souvent pour élever la température d'une serre bien close, à 120° (39° R.); et quelquefois le thermomètre exposé à l'ombre se soutient à 87° ($24-25^{\circ}$ R.). Dans des cas semblables, si l'on pouvait, au moyen de la ventilation, empêcher la température de s'élever au-dessus de 95° (28° R.), les plantes ne souffriraient pas. On peut y parvenir au moyen de la règle suivante.

de sa force; on doit donc espérer que cette branche importante de la météorologie cessera d'être négligée. Des observations faites avec soin seraient utiles non seulement pour éclairer un sujet qui ne l'est pas, mais pour un grand nombre d'autres recherches.

(1) Rep. of arts, vol. XV, p. 300, anc. séries.

RÈGLE. Faites que la somme, en pieds, des aires de tous les ventilateurs supérieurs, soit égale à la longueur du toit vitré, ajoutée à la hauteur perpendiculaire du vitrage de devant, s'il y en a un, multipliée par la longueur de la serre, et divisée par six fois la racine carrée de la hauteur prise du niveau du sol jusqu'à l'endroit où se trouve l'ouverture qui laisse échapper l'air échauffé (1).

(1) Nous avons vu (art. 42, note), que si la température du lieu échauffé est représentée par T, on a

$$0,000644t (T - t) = E.$$

Dans le cas que nous considérons,

$$T = 120^{\circ}, \quad t = 95, \quad \text{et} \quad E = 95 - 87 = 8^{\circ},$$

d'où l'on tire

$$S = \frac{8}{0,000644 \times 25} = 497;$$

par conséquent 497 pieds de surface de vitrage exposé à l'action directe des rayons du soleil échaufferaient 2850 pieds cubes d'air par minute; ou bien chaque pied carré de vitrage élèverait d'un degré la température de $5\frac{1}{2}$ pieds cubes d'air, à peu près, par minute.

Soit LR l'aire de la surface sur laquelle le soleil agit. Alors on aura $5,75LR = B$. Mettant cette valeur de B dans l'équation de la note de l'art. 64, et faisant $t - x = 8^{\circ}$,

Les ouvertures pour recevoir l'air frais doivent avoir les mêmes dimensions, attendu qu'un changement de 8° ($3,55$ R.) dans la température de l'air n'augmente son volume que d'environ un soixantième.

On trouvera dans le chapitre IX, où l'on traite des serres chaudes et de la construction des ven-

on aura au lieu de $\frac{B}{300} \times \frac{450 + t}{ht - s}$, cette autre équation

toute réduction faite $\frac{0,15LR}{\sqrt{h}} = a$ ou $\frac{LR}{6\sqrt{h}} = a$, à peu

près. L représente la longueur de la serre, en pieds, R la longueur du toit vitré ajoutée à celle du vitrage perpendiculaire, s'il y en a un, prises également en pieds; h la distance en pieds du sol de la serre à l'ouverture par où l'air s'échappe, et a l'aire des ouvertures ménagées pour la ventilation. Le calcul précédent n'est pas fait pour le degré de chaleur le plus élevé qu'on ait observé en Angleterre; car on a vu, le 13 juillet 1808, le thermomètre exposé à l'ombre, monter à 90° ($26,66$ R.), et au soleil à 126° ($41,76$ R.). (Mag. phil., vol. XXXV, p. 425). J'ai observé au mois de juin dernier (1824), la température d'un lieu fermé par un vitrage et exposé à l'action du soleil; le thermomètre se tenait à 130° ($43,55$ R.), lorsqu'à l'ombre il n'était qu'à 75° (19 R.). On trouve dans les Essais météorologiques de M. Daniell, p. 207 — 249, quelques expériences intéressantes sur la force de la chaleur solaire.

tilateurs, des exemples de l'application de ces règles.

De la ventilation des hôpitaux, des infirmeries, etc.

73. Les lieux destinés à recevoir des malades, exigent des soins plus qu'ordinaires pour y entretenir un air pur et salubre, l'état de maladie amenant une si grande variété de circonstances qui tendent toutes à vicier l'atmosphère. L'haleine est chargée d'émanations fétides, la transpiration plus abondante est de plus mauvaise qualité, un plus grand nombre de personnes se trouve entassé, et sans changer de place le jour comme la nuit; les lits se chargent de miasmes dangereux; enfin, mille causes diverses d'insalubrité résultent des différentes maladies particulières; et cependant, s'il est un endroit où il puisse paraître essentiel de jouir d'un air pur, c'est bien certainement celui qui se trouve spécialement destiné au rétablissement de la santé. Il faut donc que l'air puisse s'y renouveler plus vite que dans les appartemens ordinaires. Nous supposerons que six pieds cubes d'air frais par minute et par chaque individu, sont une quantité suffisante.

Pendant les chaleurs, toutes les circonstances

qui tendent à altérer la pureté de l'air, agissent dans une proportion plus forte ; d'où il suit que la ventilation d'un hôpital est encore plus nécessaire en été qu'en hiver. Essayons d'employer le peu de connaissances que nous avons sur ce sujet à l'amélioration de ces excellentes institutions ; essayons de les rendre, autant que cela est possible, propres à remplir les intentions bienfaisantes de ceux qui les entretiennent ; jamais la science ne pourra servir à un objet plus louable que le soulagement des maux de nos semblables.

74. D'après la propriété qu'ont toutes les sortes d'air de se mêler lorsqu'on les laisse long-temps en contact (1), on doit ici s'efforcer d'écarter tout air impur et dangereux, aussitôt qu'il est produit, et par conséquent la ventilation doit être continue ; mais la tendance qu'ont les différens airs à se mêler, est augmentée par l'agitation ; il ne faut donc employer aucun moyen qui occasionne cette agitation, si ce n'est dans les instans particuliers où l'air est introduit en très grande abondance pour purifier un local (2).

(1) Voyez Thomson's Chemistry, vol. III, p. 32, où se trouvent réunis les résultats de plusieurs expériences.

(2) Quand les matières solides des salles d'un hôpital se trouvent saturées d'émanations fétides, ce mode de purifi-

75. Il y a deux manières de produire une ventilation continuelle; la chaleur et les moyens

cation ne suffit pas. Le passage suivant, tiré du *Traité de Chimie* du docteur Thomson, donnera une idée sommaire, mais très utile, des moyens qui peuvent aider avec avantage la ventilation. « Le vinaigre diminue la mauvaise odeur, mais son action est lente et incomplète. L'acide acétique agit à l'instant, et détruit complètement l'odeur fétide de l'air corrompu. Les fumigations d'acide nitrique, employées par le docteur Carmichael Smith, sont également efficaces. Il en est de même du gaz acide muriatique indiqué par Guiton de Morveau. Mais l'agent le plus puissant est le gaz euechlorine, proposé d'abord par M. Cruikshanks, et employé maintenant avec le plus grand succès dans les hôpitaux et sur les vaisseaux anglais. » Ce dernier moyen mérite la préférence, parce qu'il agit plus promptement et avec plus d'énergie. Il ne faut, pour le produire, que mêler deux parties de sel commun avec une partie d'oxide noir de manganèse, mettre ce mélange dans un vaisseau découvert placé dans la chambre qu'on veut désinfecter, et y verser deux parties d'acide sulfurique. Les vapeurs d'euechlorine s'élèvent immédiatement, remplissent la chambre, et y détruisent toutes les matières contagieuses. On peut encore mêler de l'oxymuriate de chaux tel qu'on l'emploie pour le blanchissage, avec de l'acide sulfurique, et le placer dans l'appartement infecté (vol. III, p. 194). Voyez aussi l'art. Méphitisme de l'Encyc. méth., et qui est de Fourcroy.

mécaniques. Dans beaucoup de cas, les deux manières peuvent être employées avec avantage; et, dans chaque circonstance, elles produisent le plus grand effet, si elles agissent immédiatement sur l'air d'un appartement, quelle que soit la cause qui le vicie (Voyez art. 62).

D'après ce principe, tout ce qui est plus léger que l'air commun, comme le gaz azote, la vapeur, les émanations, doit être chassé par le haut de la chambre, et au moyen de tuyaux de ventilation assez rapprochés les uns des autres. Si l'air impur peut s'échapper, à raison de sa légèreté propre et de l'élévation de sa température élevée, ce qui, dans ce cas, serait suffisant, il faut que ce soit par des tuyaux d'un diamètre uniforme, attendu que tout élargissement occasionne des refoulemens, et interrompt la sortie de l'air. Chaque tuyau doit être indépendant des autres, parce que si des courans d'air arrivent dans un même tuyau par différentes ouvertures, ils se croiseront et interrompront l'écoulement de l'air. Les tuyaux de chambres placés au même niveau et qui communiquent ensemble, doivent être tous de la même hauteur; autrement, l'air froid refroidirait l'air des tuyaux les moins élevés, et, lors même que cela n'aurait pas lieu, l'effet des

tuyaux les plus bas serait moindre que celui des autres (1).

On peut aussi avec avantage réunir dans un même sommet les ouvertures de plusieurs tuyaux de même élévation. Ce sommet, soit qu'il serve à un ou à plusieurs tuyaux, peut être tournant et construit de manière à ce que son ouverture se place toujours à l'opposé du vent ; ou bien, attendu que ces sommets ou chapeaux tournans produisent un bruit très désagréable (2), et que, pour les bien faire, il en coûte beaucoup de frais, on pourrait souvent employer avec succès un sommet fixe, de la forme représentée dans la figure 2, pl. A.

Ces sommets peuvent être en métal mince, de couleur sombre, et exposés à l'action des rayons du soleil. Le chapeau supérieur empêche les tourbillons de vent de rentrer dans les tuyaux. Par un vent réglé, et qui suit un cours horizontal, le cône inférieur serait suffisant. Son

(1) Un feu de cheminée est incompatible avec ce mode de ventilation des salles d'un hôpital ; il en arrêterait complètement l'effet ; car alors il faudrait qu'un courant d'air froid descendît par le tuyau de ventilation, ou que la salle se remplit de fumée.

(2) Lorsque ces chapeaux tournans sont portés sur un collier de plomb, ils font beaucoup moins de bruit.

action peut être facilement comprise, en examinant la figure 3, pl. A. En effet, quand un courant de vent, qui se meut dans la direction AA, rencontre une surface oblique B, il se détourne et se porte au-dessus de l'ouverture C, laissant un espace pour que l'air du tuyau puisse s'élever et se mêler avec lui; et il tend plutôt à attirer l'air du tuyau qu'à empêcher son ascension (1).

Le diamètre des tuyaux ne doit jamais être plus grand que celui qu'exige la plus forte ventilation; car, dans un tuyau plus gros qu'il n'est nécessaire, un double courant d'air peut s'établir, ou bien l'air qui s'y élève peut être retardé par des refoulemens.

La forme la plus avantageuse pour l'embouchure d'un tuyau avec son registre, est une ouverture circulaire telle que celle représentée dans la figure 4, pl. A, ayant pour la fermer une sorte de couvercle rond P, et qui agit au moyen d'un contre-poids. Ce couvercle doit être un peu plus grand que l'ouverture, afin que l'air puisse être attiré horizontalement, et que la portion qui adhère au plafond puisse s'écouler. Si l'on n'éta-

(1) Ces chapeaux sont décrits dans le Journal de Physique, année 1788, p. 161.

blissait pas de couvercle, l'air qui se trouve immédiatement au - dessous, tendrait à monter directement, et il n'y aurait qu'une très petite quantité de l'air le plus vicié qui se réunit au plafond qui pourrait s'échapper.

76. Un plafond uni ou de niveau est très défavorable pour la ventilation. On devrait toujours lui donner la forme d'un dôme ou celle d'une pyramide tronquée, comme dans la figure 5, pl. A, et s'élevant vers le centre; c'est dans ce centre que le tuyau de ventilation T doit être placé.

Lorsqu'on évite d'employer des lignes courbes, les plafonds de cette espèce ne sont guère plus dispendieux que ceux qui sont plats; ils sont plus agréables à la vue, et remplissent admirablement l'objet important qu'on doit se proposer, celui d'établir une bonne ventilation.

On ne peut pas toujours suivre une direction verticale en partant du centre du plafond; mais il y a peu d'inconvénient à ce que le commencement du ventilateur soit placé presque horizontalement, quand on peut lui donner plus loin une élévation perpendiculaire fort grande; et, fort heureusement, il arrive presque toujours que si d'abord on ne peut pas élever perpendiculairement le ventilateur, on peut ensuite lui donner une hauteur verticale suffisante. La figure qui ré-

poud à l'art. 75, fait voir comment la partie horizontale d'un tuyau de ventilation se place entre les solives d'un plancher. AB est le tuyau qu'on doit mettre le plus bas possible, pour n'avoir pas besoin de faire des coupures dans le plancher. La même figure montre comment il convient de placer les solives d'un plancher, pour qu'il puisse y avoir une élévation au centre sans perte d'espace. Une courbe aplatie serait très favorable pour le coup d'œil. C est la corde du contre-poids qui, passant sur une poulie D, élève ou abaisse le couvercle P, dont on a donné la description, art. 62.

77. Nous avons maintenant à examiner comment on peut remplacer par de nouvel air celui qui s'échappe. Car, si ce remplacement n'avait pas lieu, il pourrait s'établir un double courant d'air dans les tubes ventilateurs.

On doit, s'il est possible, faire servir, pour renouveler l'air, celui qui se trouve dans la partie ombragée du bâtiment: on y trouve l'avantage d'introduire l'air ambiant que Galien regardait comme si nécessaire. La meilleure manière de ménager l'entrée de cet air frais, est d'avoir plusieurs ouvertures dans un espace étendu, et de diviser ensuite ces ouvertures en d'autres plus petites, au moyen de cette espèce de grillage en fil de

fer dit *gaze de fil d'archal*, de sorte que l'air puisse n'avoir aucun courant sensible (1).

Quand les fenêtres se trouvent placées du côté de l'ombre, la ventilation s'exécute aisément en laissant à l'air un passage par la partie inférieure, mais sans jamais le laisser pénétrer par le haut. Mais, si elles ne sont pas de ce côté, on en peut tirer l'air au moyen de tuyaux établis à cet effet, et dont l'arrangement peut être tellement ménagé qu'ils peuvent être employés l'hiver comme tuyaux de chaleur, ainsi qu'on le verra plus tard. De quelque manière qu'on se procure l'air frais, il faut le faire entrer dans le voisinage du pavé et par différentes ouvertures, de façon à ce qu'il soit divisé le plus possible, afin d'éviter les courans.

Pour diminuer la vitesse, la surface de l'ouverture par laquelle l'air frais est introduit, doit toujours être plus étendue que celle par laquelle il

(1) L'effet avantageux de cette division du courant d'air a été remarqué, avant que je l'aie éprouvé, par Clavelin qui l'a jugé également utile (Voy. l'article *Caminologie*, Dict. de Phys. Encyc. méth.). M. Gilbert dit : « Qu'un très bon expédient consiste à diviser le courant d'air en un grand nombre de courans plus petits. (Journal des Sciences, vol. XIII.) »

s'échappe. Cependant, lorsqu'on le fait arriver par des tuyaux, l'orifice du tuyau peut être, avec avantage, de même dimension ou même plus petit que le tube par où sort l'air impur.

78. Après avoir donné les moyens de se procurer l'air frais dont on a besoin, nous allons examiner comment on peut se débarrasser des gaz impurs d'une grande pesanteur, et qui peuvent accidentellement se rassembler dans les passages. Quand cela a lieu, l'air frais du dehors a de la peine à pénétrer par les ouvertures qu'on lui a ménagées, et il n'a aucune action pour entraîner les gaz pesans que leur plus grande pesanteur spécifique tient en équilibre avec l'air atmosphérique. Il est donc essentiel de ne pas laisser ces gaz s'accumuler dans les passages, autrement on tomberait dans un inconvénient plus grand que celui qu'on se propose d'écartier; car rien ne peut être plus dangereux que de laisser l'air impur se répandre dans les passages.

Si nous réussissons à nous procurer tout l'air frais qui nous est nécessaire, nous pourrons, en employant une force peu considérable, chasser l'air rendu pesant par le gaz acide carbonique qui se trouve accidentellement répandu, ayant été condensé avant d'arriver aux tubes ventilateurs. Je ne doute pas que cet objet ne puisse être très

bien rempli par un ventilateur semblable à celui qu'a inventé le docteur Hales, ou à celui de M. J. Taylor, qui est encore plus simple (1), mis

(1) Voyez Transactions of the Society of Arts, etc., vol. XXVIII, p. 218, ou Repertory of Arts, vol. XVIII, p. 377. Lorsqu'il y a équilibre entre l'air extérieur et celui des passages, il est facile de calculer la résistance du ventilateur de Taylor. Soit B la quantité d'air à épuiser par minute, et a l'aire de l'orifice des tuyaux, on a $\frac{B}{60a} =$ la vitesse en pieds par seconde et $\sqrt{64h} = \frac{B}{60a}$, d'après les lois de l'hydrodynamique, h représentant la hauteur en pieds de la colonne d'air dont le poids doit produire la vitesse, d'où l'on tire $h = \frac{B^2}{230400a^2}$. Le poids de la colonne, ou $ha \times 0,0753 = \frac{B^2}{174791a}$, dans la pratique on perd environ la moitié de la force par les frottemens de la machine, par le frottement de l'air et par la force employée à ouvrir les soupapes. Il faudra donc un poids en livres exprimé par $\frac{B^2}{87000a}$ avec une vitesse de $\frac{B}{60a}$ pieds par seconde, c'est-à-dire une force mécanique exprimée par $\frac{B^3}{5220000a^2}$ ou $B \left(\frac{B}{2285a} \right)^2$. La force d'un homme tel que celui qu'on emploierait vraisemblablement à un travail de cette nature, ne surpasserait pas 20 liv. élevées à un pied par seconde; ainsi $\frac{B}{20} \left(\frac{B}{2285a} \right)^2$ représente le

en action au moyen d'une force régulière dans le genre d'un mouvement d'horloge, et auquel on ajouterait l'appareil nécessaire pour ouvrir les soupapes. La dépense occasionnée par la néces-

nombre d'hommes nécessaire pour pomper un nombre B de pieds cubes d'air par minute. Il est évident que plus l'ouverture du tuyau a a de surface, moins la force nécessaire doit être grande. Si l'on fait $a = 1$ pied carré, et $B = 470$ pieds cubes par minute, l'équation précédente deviendra $\frac{470}{20} \left(\frac{470}{2285} \right)^2 = 1$ à peu près. Par conséquent un homme de la force que nous avons supposée, pourra renouveler 470 pieds cubes d'air par minute. Le rapport de la vitesse dans le tuyau à celle du cylindre doit être le même que celui du diamètre du cylindre au diamètre du tuyau. Si ce rapport n'était pas le même, il y aurait une perte d'effet.

Cette machine exécutée convenablement et dans de justes proportions, peut être utilement employée pour aider la ventilation des mines, et particulièrement de celles de charbon. Une machine à vapeur de la force de onze chevaux pourrait renouveler une fois par jour l'air entier d'une mine dont les excavations auraient un mille carré d'étendue; en supposant que les excavations aient cinq pieds d'épaisseur et soient aussi débarrassées de charbon que cela peut être, et si l'on pouvait aussi en diviser l'action vers chaque partie de la mine en particulier, alors on aurait peu de danger à courir de l'accumulation des gaz inflammables.

sité d'élever chaque jour un poids qui tiendrait le ventilateur dans un mouvement continu, serait beaucoup moins grande que celle qu'il faudrait faire en combustible, pour produire un effet semblable au moyen du feu, qui exige une grande surveillance et dont l'action n'est pas aussi certaine.

Le meilleur moyen d'obtenir l'effet que nous cherchons, me paraît être d'établir des fourneaux découverts en différentes parties des passages, avec des tuyaux de chaque fourneau à l'endroit où est placé le ventilateur. Ces fourneaux doivent être garnis de registres, afin d'en borner à volonté l'action sur les parties où les circonstances peuvent la rendre plus nécessaire.

79. Il est encore une partie importante de la ventilation des hôpitaux, etc., qui mérite que nous nous en occupions : c'est celle des lieux d'aisance. Il ne serait pas prudent de la rendre commune à la ventilation générale; mais on peut l'effectuer avec assez de facilité lorsque ces lieux se trouvent placés, n'importe de quelle manière, à proximité d'un endroit où l'on a besoin d'entretenir une chaudière pleine d'eau chaude.

Pour cela, on couvrira la chaudière avec un couvercle assez pesant pour retenir la vapeur; on établira un tuyau dans le genre du serpent

des distillateurs, qui, du couvercle, passera par le milieu d'une caisse ou grand tuyau à air, jusque dans les lieux d'aisance, et reviendra à la chaudière. La partie qui retourne à la chaudière sera d'un diamètre plus petit que celle qui en sort, et devra être garnie d'un robinet pour évacuer l'air quand cet appareil sera en action. La vapeur qui s'élevera et se condensera dans le tuyau, échauffera, sans interruption, l'air de la caisse. Celle-ci étant construite avec une ouverture dans le haut, et un chapeau tournant, pour que l'ouverture soit toujours couverte contre le vent, et ne recevant d'air que par les lieux d'aisance, en attirera un courant d'air continu qui sera remplacé par de nouvel air venant des passages du bâtiment.

Voici encore un autre moyen qu'on peut employer. Faites un tuyau assez large pour contenir un second tuyau en cuivre, ce dernier devant servir à évacuer la fumée d'un feu qu'on tiendra constamment allumé. La chaleur, que le tuyau de cuivre communiquera à l'air du tuyau qui l'entoure, établira un courant d'air ascendant qui sera entretenu par celui des lieux d'aisance, et leur procurera, sans peine et sans soins, une ventilation constante. Si le tuyau de cuivre formait la cheminée du foyer renfermé d'une chaudière, son effet n'en serait que plus assuré.

Les moyens ordinaires employés pour aérer les hôpitaux, ne sont pas propres à remplir cet objet, parce qu'ils ne peuvent agir que dans la supposition que l'air de l'hôpital est spécifiquement plus léger que l'air extérieur.

Après avoir examiné ce que la ventilation offre de plus utile, et fait connaître les causes du refroidissement, je vais m'occuper de la description des machines et de leur principe d'action. Je donnerai ensuite des exemples de leur application dans la pratique, et des proportions qu'elles doivent avoir.

ADDITION AU CHAPITRE IV.

Sur les altérations que le défaut de ventilation occasionne dans la proportion des principes constituans de l'air atmosphérique.

Nous avons dit (art. 55) que la Chimie n'avait pas su découvrir jusqu'à présent la plus légère différence entre la composition de l'air pur de l'atmosphère et celle d'un air vicié. C'est donc une question digne d'être examinée que celle dont l'objet est de déterminer jusqu'à quel point l'air d'une chambre peut être vicié dans les circonstances ordinaires.

Supposons qu'une chambre contienne un nombre de personnes assez grand pour produire une quantité de pieds cubes d'air vicié, représentée par b ; que la ventilation soit de ν pieds cubes d'air dans le même temps, et qu'elle se fasse de manière qu'un mélange uniforme d'air pur et d'air impur ait lieu; enfin que le nombre de pieds cubes d'air que contient la chambre soit exprimé par B .

L'air impur s'étendra dans l'espace B , de manière à y être partout répandu en $\frac{B + \nu}{b}$ fois l'espace qu'il a occupé lorsqu'il a d'abord été produit. Par conséquent, si une quantité d'air égale à ν était évacuée, elle n'emporterait que $\frac{b^2}{B + \nu}$ d'air impur; et comme la quantité ν est la seule qui doit être entraînée par la ventilation, nous aurons $b : \nu :: \frac{b^2}{B + \nu} : \frac{b\nu}{B + \nu} \cdot \frac{b\nu}{B + \nu}$ sera donc égal à la quantité d'air impur entraîné par la ventilation dans une unité de temps; mais lorsque la chambre aura été occupée par le nombre de personnes déterminé pendant un temps t , la quantité d'air impur évacuée sera à la quantité de ce même air produite dans le même temps

$$:: \left\{ \frac{b}{m} + \frac{bm - b}{m^2} + \frac{(bm - b)^2}{m^3} + \dots + \frac{(bm - b)^{t-1}}{m^t} \right\} : b,$$

ou comme

$$\left\{ 1 + \frac{m-1}{m} + \frac{(m-1)^2}{m^2} + \dots + \frac{(m-1)^{t-1}}{m^{t-1}} \right\} : m.$$

En faisant $m = \frac{B + v}{v}$.

La somme de cette progression est

$$m \left\{ 1 - \frac{(m-1)^t}{m^t} \right\},$$

et en mettant à la place de m sa propre valeur, le rapport sera $1 - \left(\frac{B}{B+v} \right)^t : 1$.

Or, quelle que soit la valeur que l'on donne à v , il est évident que dans le cas d'une diffusion complète, la quantité d'air impur qui est produite ne peut pas être évacuée si v est plus petit que B ; car dans tous les cas où v est moindre que B , le temps doit être infiniment grand.

Nous allons prouver à présent que lorsqu'il existe un certain degré de ventilation en pleine activité, la quantité de gaz non-respirable tend constamment à s'approcher d'une limite qu'elle ne peut jamais dépasser. En effet, soit n la quantité d'air non-respirable mêlé à l'air atmosphérique, et xn la quantité de laquelle il s'approche, mais sans pouvoir la dépasser. Si cet air

devenait égal en quantité à xn , alors xnv serait l'expression de la quantité évacuée pendant un accroissement de la quantité $\frac{b}{B+v}$; pour que l'air non respirable ne puisse plus augmenter, il faut donc que $xnv = \frac{b}{B+v}$; et par conséquent $x = \frac{b}{nv(B+v)}$; mais nous avons démontré que ce n'est que dans la supposition d'un temps infiniment grand que cet équilibre exact entre la quantité d'air non respirable produite, et celle qui s'évacue, peut avoir lieu.

L'air atmosphérique contient à peu près $\frac{4}{5}$ d'air non respirable, c'est-à-dire qu'on a $n = \frac{4}{5}$. D'où l'on voit que $x = \frac{5b}{4v(B+v)}$. Et comme un homme y ajoute 160 pouces cubes d'air non respirable par minute (art. 56), on a $5b = \frac{800}{1728}$, ou à peu près un demi pied cube, et $x = \frac{1}{8v(B+v)}$ à peu près. Si l'espace où se trouve un seul individu occupe 600 pieds cubes, et que la ventilation n'y soit que d'un pied cube par minute, on a... $x = \frac{1}{4808}$; et si cette ventilation n'était que de 0,1 pied cube par minute, x ne représenterait que la $\frac{1}{480}$ partie de tout l'air non respirable

de l'espace. Ce serait certainement une expérience fort délicate que celle qu'il faudrait faire pour pouvoir déterminer l'accroissement de $\frac{1}{480}$ partie, eu égard à la nature de l'opération ; et nous venons de prouver qu'avec un degré de ventilation aussi faible qu'un dixième de pied cube par minute, x ne pourrait en aucun cas excéder cet accroissement.

On peut de la même manière se faire une idée de l'accumulation de l'acide carbonique ; on sait qu'il entre pour $\frac{1}{1000}$ dans la composition de l'air atmosphérique. On a donc dans ce cas $n = \frac{1}{1000}$ et $x = \frac{1000b}{v(B+v)}$. Un homme y ajoute 32 pouces cubes ou la $\frac{1}{55}$ partie d'un pied cube par minute (art. 56) ; ainsi $b = \frac{1}{55}$, d'où l'on a $x = \frac{1000}{55v(B+v)}$. En mettant $B = 600$ pieds cubes, et $v = 1$ pied cube, comme ci-dessus, on a $x = \frac{1}{33}$, c'est-à-dire que l'augmentation est de $\frac{1}{33}$ sur $\frac{1}{1000}$ que l'air contenait d'abord d'acide carbonique. Supposons de nouveau que l'espace étant toujours de 600 pieds cubes, la ventilation ne soit que d'un

dixième de pied cube par minute; alors, $x=0,503$, c'est-à-dire que la proportion de gaz acide carbonique sera de moitié plus grande que celle qui entre dans la composition de l'air ordinaire. Il faudrait que la ventilation fût bien au-dessous de ce qu'elle est en général dans les maisons d'habitation, pour que la quantité d'acide carbonique pût y être doublée (1).

Changez l'ordre du calcul, le résultat se trouvera également vrai; il faut donc en conclure qu'en continuant de respirer un air qui ne contient qu'une très petite portion de matière délétère, il doit en résulter à la longue une altération très sérieuse dans la santé de l'homme.

(1) On évalue à environ 600 pieds cubes (environ 496 pieds cubes français) l'espace réservé pour chaque individu dans une prison ou dans un hôpital.

CHAPITRE V.

Des chaudières ; construction des fourneaux ; appareil qui se rapporte aux chaudières.

« Dans les foyers les mieux entendus, l'ac-
 » cumulation d'effet ne dépend pas unique-
 » ment de la force du courant d'air, elle ré-
 » sulte encore de la chaleur ménagée par
 » l'arrangement des matériaux qui entrent dans
 » la construction de la cheminée, et qui est
 » communiquée aux combustibles qui s'en-
 » flamment.

Recherches sur la flamme, par sir H. DAVY.

81. Afin de rendre cette partie de mon sujet aussi claire que je suis capable de le faire, et pour entrer dans tous les détails que sa grande utilité rend nécessaires, je traiterai d'abord de ce qui concerne les chaudières ; je m'occuperai ensuite des foyers, et enfin je décrirai l'appareil qui s'y rapporte.

Des chaudières.

82. En traitant des chaudières, nous avons à

considérer la forme et les matériaux propres à produire la vapeur avec la plus petite dépense possible en combustible, et qui exigent le moins d'attention; et par occasion, nous montrerons quelles sont les formes et les proportions les plus avantageuses pour d'autres objets, par exemple, pour l'évaporation des liquides. Notre principal motif pour faire ce dernier examen, vient de ce que l'on a supposé que les chaudières pour la production de la vapeur, et celles pour l'évaporation des liquides, exigeaient les mêmes proportions, ou du moins que ce qui convenait aux unes était également propre aux autres. Nous nous appliquerons, dans les recherches qui vont nous occuper, à réunir la simplicité à la durée et à la sûreté.

Il est évident que la matière dont est composée la partie d'une chaudière exposée à l'action immédiate du feu, doit être bonne conductrice de la chaleur (1). Le cuivre est meilleur conducteur que le fer; mais l'un et l'autre de ces métaux

(1) On peut se convaincre de l'avantage d'un bon conducteur en faisant bouillir de l'eau dans un vaisseau de verre. L'opération ne se fera qu'avec difficulté, et, pour ainsi dire, par sauts. Mais si l'on jette de la limaille de fer dans le vase, alors l'eau bouillira facilement. C'est que le verre est un conducteur lent.

sont bons conducteurs. Celui qu'on emploie ne doit pas être poli : il est avantageux que la surface à laquelle l'eau adhère soit grenue et noircie ; quant aux parties de l'appareil qui ne transmettent pas immédiatement la chaleur du foyer, on peut y employer, et il est utile de le faire, des matériaux qui soient de faibles conducteurs.

Les chaudières à vapeur varient dans leur forme : les plus communes sont celles qu'on nomme, en Angleterre, chaudières en chariot, à cause de leur ressemblance avec un chariot couvert. Elles sont carrées, ou plutôt rectangulaires, avec un sommet semi-cylindrique ; le fond est ordinairement courbé, la concavité tournée au feu ; quelquefois on donne aussi de la courbure aux côtés. Quelques personnes se servent de chaudières circulaires avec un couvercle hémisphérique, et leur fond est parfois aussi de forme concave.

83. Le fond d'une chaudière doit être mince, pour mieux transmettre la chaleur (1) ; car les meilleurs conducteurs eux-mêmes retardent l'effe-

(1) C'est au comte de Rumford qu'est due la connaissance de ce fait curieux, savoir, qu'une chaudière mince est préférable à une plus épaisse. (Essay X, sect. 2.) Le professeur Leslie a soumis à des expériences l'effet produit par l'épaisseur, et a donné une méthode pour calculer

de la chaleur quand l'épaisseur est considérable. Si le fond est mince, l'eau sera bien plus vite portée à l'ébullition, et il ne sera que plus durable, parce qu'il ne sera pas nécessaire d'exposer à un feu aussi ardent la surface qui en reçoit immédiatement l'action. Il n'est guère possible de régler l'action du feu avec une chaudière très épaisse.

Le fond doit avoir assez d'étendue en surface pour recevoir toute la force du feu, et pour que la chaleur qu'il en reçoit puisse être portée à un degré qui ne soit pas au-dessous de 212° (80° R.); une plus grande surface ne pourrait pas produire de vapeur, et si elle était plus petite, on n'en obtiendrait pas le plus grand effet possible. Il est évident qu'on ne peut avec avantage laisser la fumée dont la chaleur est devenue inférieure à celle de l'eau bouillante, se mettre en contact avec la chaudière; car, tant qu'elle y resterait, elle lui enleverait de la chaleur au lieu d'ajouter à l'action du feu. Si l'on emploie une chaudière à vapeur à haute pression, la fumée doit s'en éloi-

la diminution de cet effet résultant d'une augmentation d'épaisseur. (*Inquiry into the nature of heat*, pag. 515.) M. Fourier s'est également occupé de ce problème. (*Quart. Journal of science*, vol. XIII, p. 145.)

gner avec une température égale à celle de la vapeur.

84. Si l'on mettait de l'importance à tirer parti de la chaleur qu'entraîne la fumée qui s'élève à une température de 212° (80° R.), on pourrait l'employer à chauffer l'eau destinée à entretenir la chaudière. De cette manière on ferait une économie considérable, et la vapeur serait plus uniformément produite (1). Pour chauffer l'eau destinée à entretenir la chaudière à vapeur, on peut faire passer la fumée par des tuyaux de fer qui traversent le réservoir où cette eau est contenue; on éprouvera que c'est une des meilleures manières de diminuer la quantité de fumée nuisible. Ces tuyaux veulent être souvent nettoyés, et le tirage y être considérablement réduit, surtout si la cheminée est basse.

(1) L'idée d'entretenir une chaudière avec de l'eau chaude est fort ancienne. Vitruve a décrit une manière de le faire, et sa description ne permet pas de douter qu'il ne connût tous les avantages de ce procédé. Mais, quant à sa méthode il l'a décrite si obscurément qu'il a laissé un vaste champ ouvert aux spéculations auxquelles les commentateurs aiment à se livrer. (Vitruve, trad. de Perrault, liv. V, chap. X.) Le comte de Rumford est peut-être celui qui a donné une application plus étendue dans la pratique à ce moyen d'économiser le combustible. (F. Essay X.)

85. On ne doit mettre dans la chaudière que la quantité d'eau absolument nécessaire, afin d'éviter le danger des accidens auxquels peut exposer le manque d'attention à régler le feu. Quand la chaleur doit être très long-temps entretenue, comme dans les serres chaudes, il est avantageux d'avoir une chaudière profonde, pour retenir une plus grande masse de chaleur; mais, dans ce cas, il ne faut négliger aucune précaution pour empêcher la chaleur de s'échapper de la chaudière. Un volume considérable d'eau est également utile dans la chaudière d'une machine à vapeur pour prévenir les oscillations, quand sa force est employée à remplir le cylindre de vapeur; autrement une chaudière profonde demande trop de temps pour faire bouillir l'eau, ce qui est surtout un inconvénient pour les manufactures, les appartemens, etc. que l'on veut échauffer. Il se fait d'ailleurs une plus grande perte de chaleur, et qui a lieu sans interruption vers la chaudière; enfin l'eau exige un degré de chaleur un peu plus élevé pour passer à l'ébullition. On est dans l'usage de ne remplir qu'à moitié les chaudières à vapeur; et je crois cette proportion raisonnable.

86. A l'égard de l'espace pour la vapeur, il doit toujours y en avoir assez pour remplir tous les tuyaux qui doivent servir en même temps;

une moindre quantité de vapeur apporterait du retard à l'action complète des tuyaux ; mais il n'est pas avantageux d'en entretenir une quantité plus considérable, à cause de la perte de chaleur qui se fait à la chaudière, à moins que cette chaleur qui s'en échappe ne soit employée à quelque objet utile. Dans tous les cas, deux petites chaudières sont préférables à une grande; elles doivent être placées très près l'une de l'autre, afin d'avoir une masse moins considérable de matériaux qui absorbe la chaleur, et de diminuer la surface par où la chaleur s'échappe. Deux chaudières préviennent le danger des accidens, et donnent plus de facilité pour les réparations. Suivant Hassenfratz, les dimensions les plus convenables d'une chaudière sont les suivantes: elle doit pouvoir contenir environ onze pieds cubes d'eau, et avoir en profondeur la seizième partie de la surface de l'ouverture, c'est-à-dire que si cette surface est de seize pieds carrés, la chaudière doit avoir un pied de profondeur (1); mais ces proportions ne conviennent qu'aux chaudières

(1) Encyc. méth., phys., art. Chaudière. L'avantage qu'il y a à exposer une grande surface à l'air, quand on fait évaporer, montre l'effet de l'affinité de l'air avec la vapeur.

pour évaporer les liquides. Dans la production de la vapeur, l'effet le plus avantageux s'obtiendra lorsque la surface horizontale de la chaudière sera d'environ 21 pieds carrés (environ 18 pieds carrés). Une chaudière destinée à l'évaporation doit présenter à l'air une grande étendue de surface ; mais celle qui est employée à produire de la vapeur n'offre aucun avantage à présenter une grande surface supérieure de fluide ; M. Watt en a fait l'observation (1).

87. La forme sphérique semble être la meilleure pour une chaudière ; mais , à moins qu'elle ne soit en fonte , il n'est pas si facile de la fabriquer de cette manière , que de lui donner certaines autres formes ; elle réunit les avantages de la plus grande capacité possible avec la moindre surface ; le feu peut plus aisément la frapper ; enfin , c'est à peu près la forme qui offre le plus de résistance (2).

(1) Robison's mechanical phil., vol. II, page 108, note.

(2) Pour se faire une idée de la meilleure forme à donner à une chaudière , il faut concevoir celle qu'elle prendrait si , construite avec des matières flexibles , elle se trouvait remplie de vapeur et d'eau. Remplie de vapeur seulement , la sphère présenterait la meilleure forme. S'il y avait de l'eau , son poids sur le fond altérerait un peu la sphéricité ,

Le cylindre est, après la forme sphérique, ce qu'il y a de plus simple. Une chaudière cylindrique réunit en partie les avantages de celle qui est sphérique. La chaudière dite en chariot est un ustensile très faible quand son fond est plat, et plus faible encore lorsque ce fond est convexe et la convexité en dedans de la chaudière, à moins qu'on n'y mette des contre-forts arqués. Il en est de même lorsque les côtés sont rentrants. Si les côtés et le fond étaient concaves en dedans, la forme de la chaudière se rapprocherait de la forme cylindrique, et serait d'autant plus forte qu'elle approcherait davantage de cette dernière forme. Les chaudières de forme cylindrique, ou en chariot, avec des fonds plats, sont construites dans les proportions de 10 parties en largeur, 11 parties en profondeur et 25 parties en longueur.

88. L'appareil, pour la chaudière, doit être simple; il faut y ménager le moyen de l'entretenir d'eau, y établir une soupape de sûreté, une ouverture assez grande pour la nettoyer, et un ro-

en supposant que la chaudière fût suspendue par le milieu de sa hauteur. Emerson a publié sur ce sujet des faits qui semblent avoir échappé à l'attention de ceux qui ont donné des plans de chaudières. (Prop. XCV, Mech. édit. in-4^e.)

binet pour évacuer l'eau quand on est dans le cas de nettoyer. Nous nous occuperons de ces objets après avoir traité des foyers, et l'explication des planches servira à donner des idées plus précises sur tout ce qui a rapport aux chaudières.

Des Foyers.

89. Dans la construction des foyers, pour l'usage des chaudières, il faut chercher à réunir tout ce qui tend à augmenter l'effet du combustible, et à éviter, autant que possible, tout ce qui est capable de le diminuer. Mais, si l'on agissait sans une connaissance préliminaire de ce que c'est que la combustion, on ne pourrait rien faire de bien, si ce n'est par hasard; ce serait ressembler à des marins qui se mettraient en pleine mer sans avoir de boussole, et l'on n'aurait pas un espoir mieux fondé d'atteindre le but qu'on se proposerait.

90. Quand on met le feu à une certaine quantité de combustible dans un *foyer renfermé* (un fourneau), il est indispensable qu'il y ait un courant d'air; autrement le combustible ne brûlerait pas. Le combustible, en brûlant, est en partie converti en matière gazeuse qui s'élève ou s'échappe par la cheminée avec une portion de l'air qui entretient le feu; mais la plus grande partie de l'air qui fournit à cet entretien doit être changée

par la combustion, son oxigène s'unissant avec le carbone et les autres parties inflammables du combustible, et formant du gaz acide carbonique, de la vapeur, etc.

Si, donc, on veut que la combustion soit parfaite (1), il faut que l'air ait un libre accès vers toutes les parties du combustible qui est assez chauffé pour brûler; de plus, il est nécessaire que le combustible soit échauffé jusqu'à un certain degré; autrement, ses élémens ne se combineront pas avec l'oxigène de l'air; enfin, il est évident que le combustible doit être remplacé à mesure qu'il est détruit. L'avantage de ce remplacement régulier est d'autant plus grand que le combustible contient une plus forte proportion d'hydrogène; car si l'on met à la fois dans le feu une quantité considérable de cette espèce de combustible, il s'échappera beaucoup d'hydrogène à l'état de gaz non consumé, et entraînant avec lui une grande portion de chaleur, tandis que si l'on écarte une petite portion de combustible sur le

(1) On ne doit entendre par parfaite combustion que celle qui est capable de donner le plus haut degré d'effet utile. Il ne faut jamais la pousser jusqu'au point où les produits gazeux et l'air nécessaire à l'entretien du feu consommeraient plus de chaleur que le combustible ne pourrait en produire.

devant du foyer, il est vraisemblable que l'hydrogène qu'il contient sera consumé en passant sur les charbons ardents placés en arrière, et produira de la vapeur. Et pour que le calorique latent de cette sorte de vapeur ne soit pas perdu, on fera bien d'établir un tuyau de métal, horizontalement placé, pour y faire passer la fumée qui s'élève après avoir quitté la chaudière; la vapeur s'y condensera, et la chaleur pourra être employée à chauffer de l'eau pour la chaudière, ou pour tout autre usage.

Mais, pour réussir à consumer les gaz inflammables, il faut qu'ils puissent se mêler avec l'air qui s'est réchauffé en passant « à travers, sur ou dans le combustible qui a cessé de fumer (1) », ou en circulant dans de petits conduits pratiqués dans la maçonnerie du fourneau (2), de manière à être

(1) Ici, j'emploie les propres expressions dont on s'est servi dans le titre du privilège de M. Watt, en 1785. (V. Repertory of arts, vol. IV, pag. 227 old. series.)

(2) Un moyen de produire cet effet se trouve décrit dans un article qui a pour titre : « Sur la construction des foyers pour les chaudières à vapeur, » par J. et P. Taylor. (Doctor Thomson's Annals of philos. vol. 12, p. 51.) Ce moyen consiste à pratiquer des conduits d'air derrière les briques qui bordent le foyer, avec de petites ouver-

déjà chaud lorsqu'il vient à se mêler aux gaz qu'on veut consumer. Le lecteur, en consultant l'art. 26, y apprendra quelles sont les espèces de charbon pour lesquelles cette introduction d'air nouveau peut être utile; car, à moins qu'il n'arrive que l'hydrogène ou quelque-une de ses combinaisons s'échappe continuellement, l'introduction d'un courant d'air dans le foyer ne peut avoir d'autre effet que d'enlever de la chaleur à la chaudière, de sorte qu'avec un feu lent, elle serait plus nuisible qu'utile; tandis que dans un feu vif de charbon dit *Cherry coal*, ou de celui dit *Cannel coal*, elle serait très avantageuse (1), surtout lorsque le feu est régulièrement entretenu, comme cela a lieu avec l'appareil de Brunton.

tures vers le foyer et sur le côté, exactement au-dessus des charbons ardents. Si cette méthode était adoptée, on ferait bien d'établir un régulateur pour fermer successivement à mesure que le combustible cesse d'être enflammé.

(1) Si l'air frais de l'atmosphère peut s'introduire, de manière à se mêler aux gaz extraits du combustible, il abaissera la température de ces gaz à tel point qu'ils ne pourront pas s'enflammer; car il a été clairement prouvé, par sir H. Davy, qu'une température incapable de porter le métal au rouge est insuffisante pour entretenir la combustion (*Researches on flame*, *Phil. Mag.* vol. 4, p. 5).

91. La qualité de l'air qui doit entretenir la combustion est un autre objet qui mérite d'être pris en considération, quoiqu'en général on suppose que l'endroit le plus humide et le plus sale est toujours assez bon pour y établir un fourneau. Cependant il faut que l'air soit sec ; car, lorsqu'il est chargé d'humidité, il n'est propre qu'à faire perdre de la chaleur. Si pourtant on a une cheminée très basse, et dont par conséquent le tirage soit imparfait, on pourra augmenter le tirage en jetant un peu d'eau dans le cendrier ; cette eau, convertie en vapeur par la chaleur des cendres, servira à le favoriser, le mélange de la vapeur avec la fumée rendant celle-ci beaucoup plus légère que l'air commun. L'air, en entrant dans le cendrier, doit être frais, pour pouvoir traverser le feu avec une plus grande vitesse ; enfin l'endroit où l'on établit le fourneau doit être sec, si l'on veut que l'appareil soit durable, et qu'il exige peu de soin.

L'ouverture par laquelle l'air arrive au feu doit être assez grande pour qu'on puisse obtenir toute la quantité de vapeur dont on peut avoir besoin ; mais il ne faut pas qu'elle le soit davantage, et elle doit être construite de manière à aller en s'élargissant à mesure qu'elle approche du feu. La surface des espaces compris entre les barres

doit être beaucoup plus grande que celle de la place par où l'air arrive au feu. On trouvera à l'article 97 les dimensions de ces espaces, et celles du foyer.

92. Le feu doit être immédiatement au-dessous de la chaudière, pour que son action s'exerce en entier sur le fond; et, en quittant le feu, le mélange de flamme et de fumée doit être dirigé par une ouverture large et basse, appelée la *gorge*: cette ouverture doit être large, pour que le mélange puisse s'étendre sur la plus grande partie de la surface de la chaudière; et basse, pour qu'il puisse la traverser avec une grande vitesse, et être ainsi forcé vers le fond de la chaudière. La distance à laquelle la flamme et la fumée chaude peuvent s'étendre, en conservant de l'effet (*Voy.* art. 83) dépend du tirage de la cheminée, et de la nature du combustible employé; elle variera depuis trois pieds jusqu'à six dans un fourneau bien construit, et pour l'objet particulier qui nous occupe (1); c'est-à-dire qu'elle sera de six pieds

(1) Quand la matière gazeuse que la chaleur chasse du combustible est brûlée au moyen d'air chauffé qu'on y introduit ainsi qu'on l'a expliqué dans l'art. 90, il est avantageux d'avoir un conduit plus étendu. Cette méthode d'introduire de l'air a été bien des fois reproduite comme

environ, avec un bon tirage, et en employant de la houille, et de trois pieds à peu près avec un très faible tirage, et en se servant de coke.

Ceci peut servir à fixer la longueur du fond de la chaudière; quant à la manière ordinaire de faire circuler le conduit autour des parois extérieures d'une longue chaudière, la chaleur ne peut jamais s'étendre assez pour conserver de l'effet dans toute cette longueur; d'ailleurs son action est oblique, et par conséquent moins puissante que celle qui s'exerce sur le fond; par la même raison on ne gagne rien à ramener le conduit à la chaudière; on peut très bien s'en tenir à ne faire agir le feu que sur le fond; avec une chaudière peu profonde et peu compliquée, on obtient un effet aussi avantageux. Le moyen indiqué par le comte de Rumford, de diviser la flamme et l'air échauffé dans leur passage à la cheminée, est bon. Pour employer la

une invention nouvelle; ou plutôt on a cherché à la reproduire de toute manière. Watt, lorsqu'il obtint son privilège, en 1785, paraît être celui qui en eut la première idée.

Elle a été employée d'une autre manière par M. Thomson, pour un fourneau qui ne pouvait réussir que sous la direction de l'homme le plus habile. (Rep. IV, 316,

chaleur que doit nécessairement avoir la fumée quand elle quitte la chaudière, on peut, comme on l'a déjà dit, la faire passer dans un tuyau de fer, dont la surface chaufferait de l'eau ou de l'air. Cette dernière méthode a été adoptée par M. Snodgrass (1).

93. Nous allons à présent nous occuper de la nature de la cheminée; car il est nécessaire qu'un fourneau tel que ceux qu'on emploie pour produire la vapeur, ait une cheminée dont le tirage soit considérable; et cela dépend à la fois de l'élevation de la cheminée, de sa largeur et de la température de la fumée qu'elle reçoit; le haut de la cheminée ne doit pas avoir une largeur plus grande

1796). Robertson avait obtenu un privilège pour une application différente du même principe, mais qui certainement ne pouvait pas produire un excellent effet sur la chaudière (Phil. mag., vol. XI). Enfin, Sheffield, Parkes, Wakefield et Johnson ont aussi obtenu des patentes pour l'application de ce principe (V. Technical Repository, vol. I. 16 et 42. London, Journal of Arts, vol. I, p. 403, etc.).

(1) M. Snodgrass entourait le tuyau d'une boîte dans laquelle passait un courant d'air, et conduisait l'air chauffé par le tuyau dans les salles d'une filature de coton (Trans. Society of Arts, vol. XXIV, p. 122, 1806).

que celle que peut exiger la plus grande quantité de feu (1); si elle l'était plus, le tirage en souffrirait beaucoup; la partie intermédiaire entre le sommet de la cheminée et la claudière doit avoir plus de largeur que d'élévation, et, autant que possible, il faut éviter les changemens trop brusques dans sa direction.

Afin de connaître combien la cheminée doit avoir de surface pour une quantité donnée de combustible, nous sommes obligés de calculer d'après l'analyse du combustible; car il n'est pas facile de faire des expériences directes. Or, suivant les expériences du docteur Thomson (art. 26), 100 grains de charbon de l'espèce dite *Caking coal*, charbon de Newcastle, dont la combustion est complète, donnent en produit :

(1) Quand le haut d'une cheminée est convenablement resserré, il est assez indifférent que le reste du tuyau soit plus large; mais il doit être régulier. Si le haut de la cheminée n'a pas plus de largeur qu'il n'en faut, elle se trouvera moins exposée à ce que la fumée y puisse être refoulée par les vents, ainsi que l'a fait voir Clavelin (Encycl. méth., phys., art. Caminologie).

4,18 (1 hyd. + 8 oxyg.) = vap.	38 grains ou 200 pou. c.
75,28 (1 carb. + 2,75 ox.) = ac. car.	282 —... ou 610 —
Azote de composition ajouté à l'azote de l'air nécessaire à la combustion.....	865 —... ou 2900 —
Total des produits gazeux	1185 —... ou 3710 pou. c.

Et, comme 100^{sr} : 7000^{sr} :: 3710 : 259,700, une livre de charbon produira 150 pieds cubes de gaz. Mais dans la pratique il est tout à fait impossible d'obtenir que la totalité de l'air qui traverse le feu ait un effet positif sur la combustion; quelques expériences comparatives ne me permettent de porter qu'aux deux tiers la portion qui y sert réellement. Je supposerai qu'une livre de houille produit réellement 225 pieds cubes de substances gazeuses. Cette quantité sera d'un treizième environ plus pesante que le même volume d'air à la même température; ainsi il faudra déduire 16° (F) de l'excès de chaleur, en évaluant la force de la cheminée.

Le coke et le charbon de bois évalués de la même manière doivent produire environ 260 pieds cubes par livre, et il faut faire à peu près la même réduction sur la température.

A l'égard du bois à brûler, une livre de ce combustible donnera 140 pieds cubes de produits

gazeux, sans réduction de température. Quand on se sert de bois, il y a beaucoup d'avantage à condenser la vapeur en faisant passer la fumée par des tuyaux de fer.

La surface du cendrier, ou de la place où passe le courant d'air qui entretient le feu, doit être d'un dixième plus petite que celle de l'ouverture de la cheminée, si l'on brûle du coke ou du charbon; et des deux tiers moindre quand on emploie du bois.

94. Il est plus utile d'établir son calcul sur l'effet que l'on veut produire que sur le poids du combustible: je vais donc rechercher quelle est l'étendue d'ouverture nécessaire pour réduire en vapeur un pied cube d'eau par heure. Il sera facile d'en déduire la grandeur de celles qui conviennent à toute autre quantité qu'on aurait à produire dans le même temps.

Avec de la houille on a

— (art. 23 et 93) $225 \times 8,4 = 1890$ pieds cubes

du bois (art. 28 et 93) $140 \times 30 = 4200$

du coke (art. 31 et 93) $260 \times 7,7 = 2020.$

Il résulte de ces données que nous pouvons calculer que 2000 pieds cubes de produits gazeux, par heure, sont nécessaires pour réduire en vapeur un pied cube d'eau, quand on brûle du

coke ou de la houille, et qu'il faut le double de cette quantité quand on emploie du bois. Les règles suivantes, pour la pratique, sont fondées sur ces évaluations.

Si l'air s'élève directement de la chaudière, sa température sera de 212° (80° R.); l'air extérieur étant supposé à 52° (environ 9° R.), l'excès de chaleur sera égal à 160° (71° R.). Mais, quand on se sert de houille, cet excès doit être diminué de 16° (art. 93). Il restera donc $160 - 16 = 144^{\circ}$ (64° R.) pour l'excès de température. Voici la règle pour calculer l'aire de la cheminée, quand l'excès de température est de 144° (64° R.).

Divisez 45 par la racine carrée de la hauteur de la cheminée, en pieds, le quotient donnera en pouces la surface de la cheminée, qui serait assez grande pour la réduction en vapeur d'un pied cube d'eau par heure (1). La somme des surfaces des espaces entre les barres doit être, au moins, la même, et la surface de l'ouverture par où l'on fait entrer l'air frais qui sert à la combustion, doit être

(1) En effet, si h représente la hauteur en pieds de la cheminée, depuis le feu jusqu'au sommet, B le nombre de pieds cubes d'air qui doivent en sortir par heure, lorsque cet air est à la température de l'atmosphère, et a la

moindre d'un tiers, parce qu'il n'est pas dilaté par la chaleur.

surface de l'ouverture en pouces carrés, on aura (art. 64

$$\text{note) } \frac{B}{60 \times 300} \times \sqrt{\frac{450 + t}{h(t - t')}} = \frac{a}{144}$$

Mais l'air sera dilaté par la chaleur d'une quantité qui sera exprimée par $\frac{B(450 + t)}{450 + t}$ (Voy. table V, art. 220), on aura donc

$$\frac{B(450 + t)}{60 \times 300 \times (450 + t')} \times \sqrt{\frac{450 + t}{h(t - t')}} = \frac{a}{144}$$

équation qui se réduit à

$$\frac{B(450 + t)^{\frac{3}{2}}}{125(450 + t')\sqrt{h(t - t')}} = a.$$

Cette équation ne suppose d'autre résistance que celle qui a lieu par le resserrement vers l'orifice du foyer; mais les refoulemens, les changemens de direction, la perte de chaleur, d'autres obstacles peuvent diminuer la vitesse et rendre nécessaire une cheminée plus large. Si l'on prend au lieu de 125 le nombre 100 pour diviseur dans cette équation, le quotient se trouvera suffisamment augmenté pour les cas plus ordinaires. Alors, on aura en réduisant,

$$\frac{0,01B(450 + t)^{\frac{3}{2}}}{(450 + t')\sqrt{h(t - t')}} = a, \text{ ou l'aire de la cheminée en pouces carrés.}$$

Si l'on demande une quantité double de vapeur, la cheminée devra avoir le double de gran-

D'après l'effet de variation de température, il est évident que cette équation doit avoir un minimum de valeur pour a . Ce minimum a lieu lorsque $\frac{(450 + t)^3}{t - t'}$ est un minimum. Or, d'après les règles des plus grandes et des plus petites quantités, cette expression devient minimum quand $t = 275 \times 1,5 t'$, ou quand l'air extérieur étant à 50° (8° R.), celui de la cheminée est à 350° ou à 300° au-dessus de la température de l'atmosphère. ($133^\circ - 140^\circ$ R.)

M. Gilbert donne pour maximum de différence de température 333° (133° R.) (Quarterly journal of Science, vol. XIII, p. 114). Dans l'exemple du texte $212 - 52 = 160$ et $160 - 16 = 144$. Ainsi la différence de température ou $t - t' = 144$. Quand $B = 2000$ pieds cubes, $\frac{45}{\sqrt{h}} = a$ en pouces carrés; c'est la règle donnée dans le texte pour une heure de temps. Quand la différence de température effective n'est que de 40° (18 R.), ce qui arrive lorsque celle de la cheminée n'est que de 108° , et celle de l'air extérieur de 52° . B égalant toujours 2000 pieds cubes, alors on a $\frac{80}{\sqrt{h}} = a$ pouces carrés ce qui est la seconde règle donnée dans le texte.

L'aire du tuyau d'une cheminée ordinaire est d'environ 100 pouces. Les cheminées ne sont pas en général très bien construites. Rarement elles sont assez unies et assez solides pour résister à l'action des machines avec lesquelles on les

deur; si l'on n'en veut que la moitié, les dimensions de la cheminée seront dans la même proportion, et ainsi de toute autre quantité. De là résulte l'importance d'un registre pour régler le feu.

95. Ces calculs prouvent que l'on n'a besoin que d'une très petite cheminée quand la fumée doit s'élever à une très haute température. Mais, si la différence effective entre la température de l'air de la cheminée et celle de l'air extérieur n'était que de 40° (18° R.), il faudrait employer la règle suivante.

Règle. Divisez 80 par la racine carrée de la hauteur du tuyau, le quotient sera égal au nombre de pouces carrés de l'aire de la cheminée, qui doit servir pour une chaudière destinée à réduire en vapeur un pied cube d'eau par heure. L'ou-

nettoie. Je proposai, il y a quelques années, un moyen de les construire avec des tuyaux de terre, réunis pour former le conduit, et maçonnés dans la muraille. On aurait ainsi un conduit à la fois solide, uni et régulier, dont la forme circulaire permettrait de le nettoyer aisément (*Voy. New monthly magazine for december 1816, p. 416*). J'ai appris qu'on en avait récemment établi de semblables en Écosse, et ils ont été recommandés par M. Nash, dans son rapport à la commission des travaux, relatif aux ramoneurs. (*Mag. phil. vol. 53, p. 106.*)

verture pour donner de l'air au feu doit être dans la même proportion que celle qu'on a établie ci-devant.

L'avantage d'un conduit élevé est si considérable que le lecteur sera bien aise de connaître jusqu'à quelle hauteur on peut porter une cheminée d'une base déterminée, lorsqu'on ne peut, sans inconvénient, la soutenir avec des étais. Il n'est pas difficile de trouver des règles approchées pour la solution de ce problème important, et je vais en donner une ou deux.

Veut-on connaître la base qu'il faut donner à une cheminée carrée et uniforme dans toute sa hauteur, il faut diviser 156 par la différence entre 12,000 et 26 fois la hauteur en pieds; la racine carrée du quotient, multipliée par la hauteur en pieds, sera égale au côté de la base (1).

(1) J'ai fait voir, (article Maçonnerie en pierres, du supplément à l'Encycl. brit. de Napier, paragraphe 54), que la force du mur serait dans ce cas, $Awd. \times 6 R. = fd'$. Dans cette équation d = le côté de la base supposée carrée, A la solidité de la muraille; $d^3 w$ le poids d'un pied en hauteur à la base, et R la pression sur la muraille agissant à sa hauteur l depuis la base. f = la force d'un pied carré de mortier. Supposons que la plus grande force du vent agis-

Supposons que l'on calcule pour une hauteur de 20 pieds, alors

$$20 \times 26 = 520 \text{ et } 12000 - 520 = 11480.$$

De plus $\frac{156}{11480} = 0,0136$ dont la racine carrée est 0,117 à peu près.

Multipliant 0,117 par 20, le résultat sera 2,34, c'est-à-dire qu'on aura, pour le côté de la base, deux pieds quatre pouces environ.

sant contre un pied carré soit de 52 livres, que h soit la hauteur de la cheminée, et que le côté du sommet soit au côté de la base $\therefore n : 1$, alors nous aurons :

$$R = 52h^2d \left(\frac{2n+1}{6} \right) \text{ ou } 6R = 52h^2d(2n+1)$$

$$\text{mais } A = \frac{hd^2}{3} \left(\frac{1+2n-n^3}{1+n} \right).$$

Notre équation devient donc :

$$\frac{hd^2w}{3} \left(\frac{1+2n-n^3}{1+n} \right) + 52h^2d(2n+1) = fd^3$$

$$\text{ou } d = \frac{52h^2(2n+1)}{\sqrt{f - \frac{1}{3}hw \left(\frac{1+2n-n^3}{1+n} \right)}}.$$

La valeur de f quand le mortier est bon est d'environ

Si la cheminée n'était pas carrée, le résultat trouvé par le calcul précédent donnerait le plus petit côté de la base.

Si la cheminée allait en diminuant vers le haut, de manière à ce que la largeur ne fût au sommet

12000 livres (Maçonnerie en pierre, Encycl. brit. supp. Tab. 111); et quand la cheminée est partout uniforme

$$n = 1 \quad \text{et} \quad d = \sqrt{\frac{156h^2}{12000 - \frac{1}{3}hw}}$$

Dans les cheminées rétrécies, la proportion convenable est de faire $n = \frac{1}{2}$. Dans ce cas

$$d = \sqrt{\frac{104h^2}{12000 - 0,42hw}}$$

La proportion la plus commune pour une muraille d'une base déterminée, doit être des $\frac{2}{3}$ de l'aire de cette base. Ainsi $w =$ les $\frac{2}{3}$ du poids d'un pied cube de la muraille. Si le mur était en briques, cette valeur de w serait d'environ 78 livres. On a donc, pour les cheminées en briques de même largeur dans toute leur étendue

$$d = h \sqrt{\frac{156}{12000 - 26h}} \quad \text{ou} \quad d = h \sqrt{\frac{6}{500 - h}}$$

et dans celles qui diminuent de moitié jusqu'au sommet

$$d = h \sqrt{\frac{104}{12000 - 32h}}; \quad \text{ou} \quad d = h \sqrt{\frac{3,25}{375 - h}}$$

que la moitié de celle de la base, on aurait à diviser 104 par 12,000 moins 32 fois la hauteur de la cheminée en pieds, et la racine carrée du quotient multipliée par la hauteur en pieds, donnerait le côté de la base.

Je prendrai pour exemple le cas où l'on aurait à élever une cheminée de 100 pieds de hauteur pour entraîner la fumée d'une machine à vapeur. C'est, autant que je puis m'en souvenir, l'élévation de celle qui a été construite dans la ville où je suis né (Durham), pour y prévenir les inconvéniens de la fumée de la machine qui sert à la mine de charbon. La règle donne

$$\frac{104}{12000 - (32 \times 100)} = 0,01182,$$

dont la racine carrée est 0,109 à peu près. Or, $0,109 \times 100 = 10,9$ ou 10 pieds 11 pouces environ pour le côté de la base, et, par conséquent, 5 pieds et demi pour le côté du sommet de la cheminée.

96. Il faut encore examiner quelle épaisseur de combustible on doit mettre à la fois dans la cheminée; car on a à entretenir une chaleur assez considérable pour fournir à une production constante de vapeur, qui, dans son plus faible état d'intensité, puisse embraser le nouveau combus-

tible qu'on ajoute, sans que son action sur la chaudière soit diminuée d'une manière sensible. D'après mes observations et les expériences que j'ai faites à ce sujet, il paraît que l'épaisseur du combustible qui brûle doit être trois ou quatre fois plus grande que celle de celui qu'on met dans le fourneau à chaque fois qu'on y en ajoute ; quatre fois si on en remet souvent, et trois fois quand on le fait rarement. Et, suivant la nature du combustible, il doit y avoir un espace vide plus ou moins grand entre la grille et la chaudière.

Mais, dans la construction d'un appareil à vapeur, on doit désirer en général que le feu n'exige pas une trop grande attention. Alors il faut ménager un plus grand espace, et mettre le combustible à mesure qu'on a besoin de le renouveler, tenant le registre un peu élevé; et lorsque la dernière quantité qu'on ajoute pour durer le temps nécessaire a été mise, il faut baisser le registre de manière à ce qu'il n'y ait plus qu'un faible tirage ; alors le feu n'exige plus aucun soin jusqu'à ce qu'il soit éteint.

97. Après avoir déterminé les dimensions qui conviennent aux places où l'on établit les fourneaux, nous devons nous occuper de leur construction. L'objet qu'on se propose est d'employer toute l'action de la chaleur sur la chaudière; il

faut donc se servir de matériaux qui soient de très faibles conducteurs de chaleur : il est indispensable de faire entrer du métal dans certaines parties de l'ouvrage ; mais il faut n'en employer que le moins possible. La place du foyer, et celle où pose la chaudière, doivent être entourées avec un bon briquetage, dont les briques à l'épreuve du feu doivent être liées avec de l'argile, sans autre fer que celui qui est absolument nécessaire, c'est-à-dire seulement les barres et les bords de l'ouverture par laquelle on met le bois, avec ou sans une porte, comme on le juge à propos. Quand on n'y met pas de porte, sa place doit être remplie avec du combustible (1).

Le reste de la maçonnerie en brique doit être construit en briques dures et bien cuites ; et afin que la chaleur se concentre sur la chaudière, il sera bien fait de laisser des vides dans la maçonnerie ; l'objet qu'on doit se proposer est d'entourer le feu et la chaudière d'un double mur,

(1) M. Watt, dans la méthode pour laquelle il avait obtenu un privilège, en 1785, se servait de combustible au lieu de porte. (Rép. des Arts, vol. IV, page 226.) MM. Robertson ont employé ce moyen d'une manière encore plus avantageuse (Phil. mag. vol. XI), et depuis lors, beaucoup de personnes s'en sont également servies.

ou d'un seul mur dans lequel on laisse un espace vide. Mais on ne peut le remplir complètement, quoiqu'il puisse l'être en grande partie. On doit toujours avoir présente à l'esprit cette maxime de Morveau, que « les foyers doivent être isolés de tous les corps qui sont de rapides conducteurs de la chaleur » (1).

Un espace libre *u*, pl. I et II, fig. 1, 2, 3 et 4, doit séparer les barres du foyer de la porte, afin d'empêcher qu'elle puisse être trop promptement détruite par la chaleur, ou déjetée de manière à ne pas bien fermer. On pavera cet espace avec des carreaux forts et bien cuits (2). Ordinairement on le

(1) Repertory of Arts, vol. XVI, pag. 225, old series.

(2) Il paraît qu'il est très désavantageux de placer le feu trop en avant sous la chaudière, parce qu'alors il est exposé à un courant d'air froid chaque fois qu'on y touche. Il n'y a pas non plus d'avantage de le placer tellement en dehors que la flamme ne puisse point jouer contre le fond de la chaudière. Le comte de Rumford a fait voir qu'on obtient l'effet désirable quand on fait en sorte que la flamme agisse directement sur la chaudière avec une ardeur convenablement réglée, et non pas trop forte (Essays, vol. 11, p. 37 et 73). Quelques personnes ont imaginé qu'on obtiendrait un plus grand effet en établissant le feu dans la chaudière même. Cette idée est très ancienne (Voy. Birch's hist. royal Society, vol. 1,

recouvre avec une plaque de fer. Les barres peuvent avoir d'un pouce à un pouce et demi d'épaisseur, suivant l'étendue du foyer. Leur largeur doit être d'environ un pouce, et elles doivent être écartées l'une de l'autre de trois-huitièmes ou d'un demi-pouce. On en fabrique rarement qui aient plus de deux pieds à deux pieds et demi de long; et, quand le fourneau est très grand, on a quelquefois besoin d'en mettre deux ou trois au bout l'une de l'autre, suivant leur longueur. Ces barres sont placées de manière à poser librement sur des barres transversales, de sorte qu'on peut

p. 173). Smeaton l'avait adoptée pour la machine qui a servi à ses expériences. (Reports, vol. 1, p. 225), et Trevithick s'en est servi pour sa machine à haute pression. Mais ce moyen n'est pas aussi bon qu'on pourrait le croire, parce que la vapeur qui se forme reçoit trop rapidement la chaleur du combustible, pour qu'une combustion parfaite puisse avoir lieu. Un fourneau où le combustible est enfermé dans des matériaux qui sont faibles conducteurs de la chaleur, sera toujours beaucoup meilleur. Je ne connais pas de preuve plus simple de l'effet des différens conducteurs, que celle qu'on peut obtenir en essayant l'effet d'un chalumeau, se servant d'abord d'un support métallique, et ensuite d'un support de charbon de bois pour la matière que l'on veut chauffer.

sans peine les enlever et les remplacer quand il le faut.

L'aire de la grille peut être facilement déterminée par la règle suivante : Donnez à la grille un pied carré pour chaque huitième de boisseau de charbon à employer par heure, 2 pieds pour en brûler un quart, 3 pieds pour en brûler trois huitièmes, et ainsi de suite en raison directe de la quantité de combustible. La surface de la partie de la chaudière exposée à l'action du feu, de la flamme et de la fumée, doit être égale à 4 fois l'aire de la grille (1).

La même surface convient à un feu vif ou à un

(1) J'avais donné cette règle dans la première édition de cet ouvrage; mais le raisonnement sur lequel elle est fondée ne s'y trouvait pas. Les seules expériences que nous ayons sur la quantité de chaleur qu'un corps échauffé transmet à l'eau, sont au nombre de deux, et ont été faites par le professeur Leslie (*Inquiry into the nature of heat*, p. 344-346), et elles présentent une différence d'effet qui résulte de l'excès de température; le fluide aurait dû être tenu en mouvement pour rendre la loi (art. 38) applicable. Dans une chaudière à vapeur, le fluide est en mouvement pendant que la vapeur se forme; nous pouvons donc nous guider par le résultat de l'expérience, lorsque l'excès de température était le plus grand. Or, quand les données de la 51^e expérience de Leslie sont

feu lent ; mais , dans ce dernier cas , l'épaisseur du combustible doit être plus considérable : elle peut également servir pour un volume de tout autre combustible égal à celui de la houille ; mais il est évident , d'après cette règle , que les surfaces doivent , pour produire la même quantité de vapeur , être en raison inverse de la force du combustible.

introduites dans l'équation de la note de l'article 42 , on a $0,0138s(T - t) = 1$.

Maintenant , si nous estimons la température moyenne de la masse du feu , de la flamme et de la fumée à 800° (341° R.) , et celle de la vapeur à 225° ($85^{\circ} - 86^{\circ}$ R.) , nous aurons $T - t = 800 - 225 = 275$, et comme $1 = 1127$ (art. 18). L'équation donnera $0,0138s \times 275 = 1127$. Et , en supposant que le temps s , pour convertir en vapeur un pied cube d'eau , soit une heure , on aura $s = 2,7$ pieds ; c'est-à-dire que 2,7 pieds carrés d'une chaudière exposée à l'action d'un feu dont la chaleur moyenne est de 800° peuvent convertir en vapeur un pied cube d'eau par heure ; et comme il faut un boisseau de charbon de Newcastle pour réduire dix pieds cubes d'eau en vapeur , il faudra 27 pieds carrés de surface pour brûler un boisseau de charbon en une heure. Lorsqu'une surface de 27 pieds est seule exposée à l'action du feu , la grille est assez grande si elle a à peu près le quart de cette dimension. Le texte donne 32 pieds de surface de chaudière , et 8 pieds de grille pour les circonstances ordinaires où l'on fait usage d'un mélange de houille et de coke.

Lorsque la chaudière n'est pas circulaire, l'étendue de la grille pour le feu, dans le sens de la largeur de la chaudière, doit être de la moitié aux deux tiers de cette largeur. Ce sera le sens de la longueur du grillage, ou celui de sa largeur, suivant la place qu'occupera la porte du fourneau; mais il sera toujours plus convenable, pour les chaudières longues, de placer la porte vis-à-vis une de leurs extrémités.

98. Nous allons à présent nous occuper de la place et de l'usage du *modérateur* (1), comme étant une des principales parties de l'appareil d'un foyer clos. Il a la même utilité qu'un registre pour le cendrier d'un foyer découvert.

La place la plus convenable pour le *modérateur* est immédiatement à la suite de l'endroit où la fumée quitte la chaudière. Il doit être conduit par l'ouvrier qui a soin du feu, et marqué par des divisions dans l'endroit où il se meut, afin de pouvoir connaître exactement l'étendue de l'ouverture qu'il laisse libre à chaque instant dans la cheminée. Il serait facile d'établir un *modérateur*

(1) J'ai nommé *modérateur* ce que l'auteur appelle *dampers*, qu'on voit être une espèce de registre destiné à régler le feu. (Note du traducteur.)

qui agirait sans le secours de l'ouvrier ; mais je ne crois pas devoir en conseiller un de cette espèce pour un appareil à vapeur. Quand on le fait agir dans une direction verticale au moyen d'un contre-poids, ce qui est l'usage ordinaire, il faut que sa pesanteur soit assez considérable pour rendre son effet certain. Dans les planches I et II, il est représenté comme se mouvant horizontalement.

99. Les portes des foyers doivent fermer le plus exactement possible. Le comte de Rumford, dans l'intention de les rendre plus parfaites à cet égard, les faisait doubles. Mais, ainsi construites, elles sont très sujettes à se déranger ; aussi le plus souvent emploie-t-on des portes simples en tôle. M. Atkinson a beaucoup amélioré ces dernières portes simples en fer, au moyen d'une boîte creuse en fonte, fixée en dedans de la porte. L'épaisseur des côtés de la boîte donne une telle force à la porte, qu'il lui est tout-à-fait impossible de se déjeter, et l'air renfermé dans la cavité de la boîte empêche la chaleur de se perdre.

Il serait avantageux d'employer une porte en fonte suspendue par un contre-poids, comme les fenêtres à coulisses. On la fermerait et on l'ouvrirait plus facilement, elle générerait moins, et fermerait mieux qu'une porte sur des gonds ; enfin, quand on aurait besoin de toucher au feu, il ne

faudrait pas autant d'ouverture. (Voy. fig. 3 et 4, pl. II.).

On peut voir dans la planche 1, le mode de construction que je crois le meilleur. Un arrêt empêche la porte de s'ouvrir au-delà d'un angle déterminé; ce qui fait qu'il est impossible de jeter le charbon par-dessus le feu. L'ouvrier qui conduit le feu, doit remplir l'espace vide *u*, de sorte qu'aucune chaleur ne se perde par la porte; lorsque la porte se trouve fermée, elle empêche tout-à-fait l'air de s'introduire. Le combustible s'échauffera par degrés et sera prêt à entrer en combustion, dès qu'il sera poussé en avant par l'ouvrier. Alors il ajoutera une nouvelle provision de combustible pour remplacer celui qu'il aura poussé en avant. Les gaz qui s'échapperont du combustible, forcés de passer sur les charbons ardents qui sont entretenus d'air par le cendrier, seront généralement consumés en passant dans la gorge de la cheminée.

Appareil pour les chaudières.

100. Cet appareil consiste en soupapes de sûreté, jauges à vapeur, robinets pour jauger, ouvertures pour nettoyer les chaudières, et en moyens ménagés pour les entretenir d'eau.

Appareil de remplissage. L'usage de cet appareil est d'entretenir d'eau la chaudière, pour remplacer celle qui est convertie en vapeur. Le tuyau de remplissage est représenté en WL, fig. 4, pl. II. La partie inférieure est recourbée à l'extrémité pour empêcher la vapeur de s'y élever. Il est soudé avec la chaudière dans l'endroit où il la traverse, et s'élève verticalement au-dessus. Le haut est terminé par un entonnoir L qui reçoit de l'eau d'un réservoir qu'on voit en N; le fond de l'entonnoir est fermé par une soupape conique qui s'ouvre par en haut, et qui est attachée par une chaîne à un bras de levier P, tournant sur un centre à l'aide d'un fil de fer H, fixé à l'autre extrémité. Le fil de fer traverse une boîte où l'air ne peut entrer, et va dans la chaudière aboutir à une pierre plate qui est tenue en équilibre par un poids placé à l'autre extrémité du levier, de manière qu'elle flotte au-dessus de l'eau. Voici comment cette partie de l'appareil opère. Lorsqu'une portion de l'eau de la chaudière s'est évaporée, la pierre baisse avec le niveau de l'eau, et fait élever la soupape conique de l'entonnoir L; et comme cet entonnoir est constamment entretenu d'eau par un tuyau qui s'y rend du réservoir N, dès que la soupape s'élève, l'eau entre dans la chaudière, et aussitôt qu'elle est

arrivée au niveau convenable, la pierre flotte, et la soupape se referme jusqu'au moment où les mêmes causes reproduisent les mêmes effets.

La principale attention qu'exige la construction de cet appareil, c'est de donner assez d'élevation à l'eau du réservoir N, pour balancer la force de la vapeur. Car si cette hauteur était trop petite, l'eau de la chaudière serait refoulée dans le tuyau de remplissage par la pression de la vapeur, et irait s'échapper par la soupape. Mais lorsque cette hauteur est convenablement ménagée et calculée sur la plus grande force de la vapeur qu'on se propose d'employer, si l'on a fait la soupape de l'entonnoir d'une dimension suffisante (*Voy.* art. 103), le tuyau peut tenir lieu de soupape de sûreté; et dans les chaudières des machines à vapeur, où la clef du robinet du tuyau à vapeur est faite de manière à ne pas fermer très exactement, on n'a pas besoin d'autre soupape de sûreté.

Maintenant l'eau du tuyau acquerra une augmentation de température telle que 2,4 pieds en hauteur seront équivalens à une pression de vapeur d'une livre par pouce au-dessus de la pression de l'atmosphère. Ainsi, en opérant de manière que la colonne puisse surpasser d'un vingt-cinquième la pression sur laquelle on a calculé, on verra que

pour 1 liv. par pouce carré NR doit être de $2\frac{1}{2}$ pi.	
pour 2 liv.NR.....	5
3 liv. :.....NR.....	$7\frac{1}{2}$
4 liv.NR.....	10

Il est aisé de suivre la proportion; mais on ne doit jamais se proposer d'employer de la vapeur plus forte que 4 liv. par pouce carré, parce qu'en augmentant le danger, on augmenterait les frais de toutes les parties de l'appareil, et qu'au lieu d'économiser du combustible, on en consommerait plutôt davantage.

En combinant d'après ce tableau la hauteur de la colonne d'eau, on prévientra les dangers qui résultent d'une trop grande force dans la vapeur; car la vapeur ne manquera pas de forcer, par le tuyau de remplissage, aussitôt que la pression excédera la hauteur de la surface de l'eau du réservoir. On peut, dans cette vue, donner plus de largeur à la partie du tuyau LW, ainsi qu'à la soupape. Un tube ouvert O, permettra à l'air d'entrer quand il y aura un vide, ou à l'eau de s'échapper toutes les fois que la pression deviendra trop grande (1). Voy. art. 103.

(1) On pourrait l'appeler tube de sûreté, d'après sa ressemblance avec celui auquel les chimistes donnent ce nom.

L'entonnoir L doit être aussi peu profond que cela peut être fait convenablement pour fournir de l'eau à la chaudière. On voit dans la planche I un appareil de remplissage plus simple. L'abaissement du flotteur ouvre un robinet du tuyau qui vient du réservoir ; la hauteur du réservoir est établie d'après la méthode précédente.

101. *Soupape de sûreté.* Les soupapes de sûreté sont de deux espèces, *intérieures* et *extérieures*. Une soupape de sûreté intérieure a pour objet de se précautionner contre la pression que l'atmosphère pourrait exercer sur les parois de la chaudière ou des tuyaux, s'il se formait un vide par suite d'une condensation subite de la vapeur.

Une soupape de sûreté extérieure empêche la chaudière ou les tuyaux de crever, dans le cas où la vapeur acquiert une trop grande force. Dans beaucoup de cas, il est facile de prendre dans la construction des machines des précautions très simples, et qui rendent l'addition des soupapes très peu utile. Une de ces précautions consiste à faire que le robinet, par lequel on donne à la vapeur l'entrée dans les tuyaux, ne ferme pas exactement ; loin que ce soit un inconvénient, il est beaucoup mieux fait de laisser les tuyaux s'échauffer en partie par un peu de vapeur qui s'échappe

lentement avant que le robinet ne soit tout-à-fait ouvert.

102. La soupape intérieure n'est nécessaire que quand la chaudière et les tuyaux sont assez minces et assez imparfaitement exécutés pour courir le risque de céder à l'action d'une pression de 14 liv. sur un pouce carré. On la fait ordinairement comme elle est représentée dans la figure 5 de la planche II, où V montre une soupape conique qui s'ouvre en dedans de la chaudière, et qui est maintenue par un poids W suspendu au côté opposé du levier. On la place ordinairement sur le couvercle de l'ouverture destinée à faciliter le nettoyage de la chaudière; mais elle pourrait être établie dans tout autre endroit commode, soit de la chaudière, soit des tuyaux à vapeur.

103. Une soupape extérieure de sûreté consiste en une boîte cylindrique, contenant une soupape qui repose dans un support conique, et qui est chargée de manière que quand la vapeur exerce contre la surface une pression plus forte que quatre livres sur un pouce carré, elle s'ouvre et permet à la vapeur de s'échapper par un tuyau placé dans la cheminée.

Il est évident que le diamètre de cette soupape doit être assez grand pour que la vapeur puisse s'échapper aussi vite qu'elle peut être for-

mée par le feu qui est sous la chaudière; car, si l'ouverture était moindre, la vapeur s'accumulerait, et la pression qui tendrait à faire éclater la chaudière, augmenterait même après avoir acquis assez de force pour soulever la soupape. Et comme on ne sait pas jusqu'où l'action continue du feu peut augmenter la pression ou la force de la vapeur, il est nécessaire de trouver une règle au moyen de laquelle on puisse déterminer l'aire de la soupape.

Quand la pression ne doit pas aller au-delà de 4 livres par ponce carré de plus que la pression de l'atmosphère, et que l'on connaît la plus grande quantité d'eau que la chaudière peut évaporer dans une heure, on n'a qu'à diviser par 5 le nombre de pieds cubes d'eau qui peuvent être réduits en vapeur; la racine carrée du quotient sera égale au plus petit diamètre que l'on puisse donner à la soupape ou au tube de sûreté (1).

Il est facile de s'assurer si la soupape est ou non en ordre, en la soulevant au moyen de la poignée.

Et quand elle est employée, l'ouvrier qui conduit le feu doit très souvent examiner dans quel état elle se trouve.

(1) *V.* les développemens à l'article 127.

104. *Jauge à vapeur.* Il peut quelquefois être utile d'avoir une jauge à vapeur qui fasse connaître l'état de la vapeur dans la chaudière. La jauge ordinaire consiste en un tube de fer courbé, fixé à la chaudière ou aux tuyaux et communiquant dans l'intérieur. Ce tube contient du mercure qui, dans la branche découverte, porte un flotteur, et est destiné à indiquer la force de la vapeur. Cet instrument est très rarement en état de servir quand il est construit comme on le fait ordinairement, et il n'est pas très nécessaire pour un appareil à vapeur : mais pour l'usage de ceux qui sont curieux de ces sortes de choses, je vais donner la description d'un procédé très simple de mon invention, pour éviter les défauts de la jauge à vapeur.

105. *Nouveau registre pour la vapeur.* La pression de la vapeur se mesurera par la flexion d'une feuille circulaire en fer à canons de fusil. Cette feuille, fixée entre deux anneaux plats de métal, fera partie de la chaudière. La pression de la vapeur sur une des faces de la feuille la forcera de s'élever vers le centre, et mettra en mouvement l'extrémité d'un levier dont l'autre extrémité répondra aux divisions d'un arc gradué. Le point d'appui du levier, ainsi que l'arc gradué, seront placés sur une sorte de pont qui tra-

versera l'anneau supérieur de métal. Si l'épaisseur de la feuille est proportionnée à la pression de manière à ne jamais tendre à diviser le métal avec une force plus grande que 5,000 l. sur un pouce carré, elle ne sera pas sujette à se déranger par l'usage.

106. *Robinets à jauge.* Pour avoir une connaissance plus certaine de la quantité d'eau qui est contenue dans la chaudière, on y fixe deux tuyaux avec des robinets. L'un des tuyaux se termine un peu au-dessus du niveau auquel l'eau doit être tenue dans la chaudière, et l'autre un peu au-dessous. En conséquence, si, quand on ouvre ces robinets, celui de dessus donne de la vapeur, et que l'autre donne de l'eau, tout va bien. Si tous les deux donnent de l'eau, il y a trop d'eau dans la chaudière; si tous les deux donnent de la vapeur, il n'y a pas assez d'eau.

Ces robinets sont représentés en GG, fig. 2, pl. 1, et fig. 4, pl. 11.

107. *Grande ouverture.* Cette ouverture n'est autre chose qu'un trou ovale avec un couvercle pour ouvrir la chaudière, afin de pouvoir l'examiner et la nettoyer suivant le besoin. On peut le voir en M, fig. 2 et 4; mais, dans un simple appareil à vapeur, on peut le faire servir à d'autres usages.

Nous pouvons d'abord rendre inutile l'emploi

de deux soupapes de sûreté, et ensuite arranger le couvercle de manière qu'on puisse l'enlever et le replacer avec plus de facilité.

Pour cet effet, le couvercle devra être en fonte, et avoir la forme d'une espèce de coupe (V. fig. 6, pl. 11) renversée, et dont les bords entreront dans une rainure du même métal, fortement fixée à la chaudière par des écrous, et portant deux montans avec des trous d'une grandeur déterminée pour recevoir une barre de fer. Cette barre, serrée par le bas au moyen de coins placés aux extrémités, pressera un bouton au centre du couvercle.

Le fond de la rainure dans laquelle entrera le couvercle sera garni d'une égale épaisseur de chanvre qu'on tiendra mouillé; ou bien on y coulera un métal très doux, du plomb, par exemple. Le bord du couvercle étant aminci, s'adaptera si exactement dans la rainure lorsque les coins seront serrés, que le couvercle fermera hermétiquement.

Maintenant il est facile de donner à la barre de fer une grosseur telle qu'elle se rompra lorsque la vapeur dépassera une certaine force. Une autre circonstance donne quelque avantage à cette espèce de soupape de sûreté; c'est qu'aussitôt que la force de la vapeur dépasse le point convenable, la barre fléchissant, le couvercle est soulevé et laisse échapper la vapeur. Si la barre de traverse

est carrée au milieu de sa longueur et si l'ouverture est circulaire, alors la racine carrée de la force de la vapeur en livres au-dessus de la pression de l'atmosphère, multipliée par $\frac{1}{34}$ du diamètre de l'ouverture, sera égale au côté de la barre compté en pouces. Supposons que l'ouverture ait 17 pouces de diamètre, et que le couvercle doive s'ouvrir chaque fois que la pression de la vapeur surpassera de 8 liv. celle de l'atmosphère; dans ce cas, la racine carrée de 8 est 2, et $2 \times \frac{17}{34} = 1$. La barre doit donc avoir un pouce carré(1). Le fer le plus fort que j'aie jamais éprouvé ne pouvait pas supporter une pression de 9 livres, et le plus faible ne se brisait pas quand elle n'allait qu'à 7 liv.

(1) Ceux qui voudraient étudier les principes sur lesquels sont fondés ces calculs, peuvent consulter mon Essai sur la force de la fonte de fer et des autres métaux.

CHAPITRE VI.

De l'appareil pour distribuer la chaleur.

« Quand on construit une machine
» pour un usage quelconque, il est indis-
» pensablement nécessaire de connaître la
» nature de l'opération mécanique qu'elle
» doit exécuter. »

RUMFORD.

108. Nous allons examiner, en premier lieu, l'effet que l'on doit vouloir produire; car, dans certains cas, on devra se proposer d'obtenir le plus grand degré de chaleur avec la plus petite quantité de surface, et de chauffer vivement; dans d'autres, il sera nécessaire que les vaisseaux puissent retenir la chaleur et la communiquer long-temps après que la vapeur a cessé d'y arriver, et de la communiquer graduellement lorsqu'on en a besoin; enfin, dans d'autres circonstances, il peut être essentiel de chercher dans l'exécution un certain degré d'ornement ou de commodité. Si nous n'avions à

décrire que les moyens les plus efficaces, notre travail serait borné à un petit nombre d'objets; mais, pour les personnes qui ne sont pas bien au fait des inconvéniens que présente l'emploi de certaines matières et de certains modes de distribution de la chaleur, il est utile d'entrer dans plus de détails. Nous suivrons, dans ce travail, l'ordre que voici : nous examinerons successivement ce qui concerne les matières dont sont faits les tuyaux et les autres vaisseaux; la surface de ceux-ci; l'espace pour la vapeur, l'épaisseur et la forme des vaisseaux; ce qu'il faut donner pour la dilatation; la manière d'exécuter les assemblages, les robinets, les soupapes, les siphons et les autres choses qui tiennent aux vaisseaux. La distribution des tuyaux, etc., étant dépendante de la nature de la place qu'on se propose de chauffer, sera traitée dans les chapitres consacrés au réchauffement des maisons d'habitation, des serres chaudes, etc.

Des matières qui composent les tuyaux et les vaisseaux à vapeur.

109. La fonte de fer est le plus ordinairement employée pour les tuyaux et les vaisseaux à vapeur, et c'est avec raison qu'on la regarde comme

préférable, pour cet usage, à tous les autres métaux, attendu qu'elle n'exhale, lorsqu'on la chauffe, rien de dangereux; on peut lui donner toutes sortes de formes; elle est forte et dure longtemps.

110. On a aussi employé, dans beaucoup de circonstances, le fer-blanc : on l'a fait principalement, parce qu'il est moins coûteux que la fonte; mais il est aussi beaucoup moins durable. Il n'en sort rien de dangereux quand on le chauffe; mais les vaisseaux que l'on fait avec ce métal doivent être garnis de soupapes pour empêcher qu'ils ne s'écrasent lorsqu'il se forme un vide dans le vaisseau.

111. Le cuivre a été très souvent employé pour les vaisseaux et les tuyaux à vapeur; cependant il est dangereux en ce qu'il exhale, quand on le chauffe, une odeur particulière, qui n'est ni agréable ni saine. Cet inconvénient de l'usage du cuivre nous empêche de nous arrêter sur ses avantages relatifs, du moins en ce qui concerne le chauffage des appartemens; mais, dans les séchoirs, on doit l'employer, parce que le fer gâte le linge, etc. Le cuivre coûte plus que le fer-blanc, mais il est bien plus durable. Les tuyaux en cuivre exigent des soupapes, pour éviter qu'ils ne courent le risque de s'écraser.

L'eau condensée qui passe dans des tuyaux de cuivre ne doit jamais être employée à des usages domestiques.

112. Le plomb est souvent employé en tuyaux pour conduire la vapeur; cependant il est tout-à-fait impropre à cet usage, parce que la chaleur de l'eau bouillante le dilate au-delà de la force qu'il a pour se retirer, de sorte que les tuyaux de ce métal s'allongent chaque fois qu'on les échauffe, et finissent par manquer. Sans ce défaut, ce serait une matière très commode et économique pour différentes parties des appareils à vapeur.

113. Afin de remplacer le plomb pour les petits tuyaux, il est nécessaire d'en employer en fer forgé, tel que celui dont on fait usage pour les tuyaux à gaz; ils ne sont pas plus chers, et ils sont durables, sûrs et commodes. Ils sont suffisans, dans beaucoup de cas, pour conduire la vapeur dans des vaisseaux ou des tuyaux plus larges, et sont excellens comme tuyaux de liaison.

114. Je n'ai point appris que l'on fit usage de tuyaux de zinc; mais, d'après la fragilité de ce métal, il est clair que ces tuyaux seraient mis en pièces dès qu'il s'y formerait quelque vide accidentel. D'ailleurs, comme il s'oxide considéra-

blement à une haute température, il ne durerait pas long-temps.

De la surface des vaisseaux et des tuyaux, et de l'espace pour la vapeur.

115. On sait depuis long-temps que la couleur de la surface d'un corps le rend plus ou moins sensible à l'effet de la chaleur ; par exemple, qu'un corps noir serait plus chaud qu'un corps blanc, si l'un et l'autre étaient exposés à la même chaleur (1). Mais il a été nouvellement prouvé par l'expérience, qu'un corps chaud dont la surface est noircie, répand plus de chaleur dans un temps donné qu'un corps métallique brillant, toutes circonstances d'ailleurs égales ; et qu'aussi la nature, et même la forme de la surface, occasionnent quelque différence d'effet.

Nous devons ces résultats aux recherches aussi intéressantes qu'ingénieuses du professeur Leslie.

(1) Sir Isaac Newton a donné une raison de cet effet des corps noirs dans la sixième question, à la fin de son optique ; et l'évêque Watson s'est assuré qu'en noircissant la boule d'un thermomètre, on le faisait monter plus vite.

On les trouve dans son ouvrage intitulé : *Recherche expérimentale sur la nature et la propagation de la chaleur*. Mais ces recherches expérimentales n'ayant pas été faites précisément avec les conditions qui conviennent le mieux à notre objet, nous nous sommes trouvé dans la nécessité d'en faire de nouvelles, plutôt que de nous en trop rapporter à des principes de théorie (*Voy.* chap. III, art. 42). La proportion qu'une surface ou une couleur garde relativement à une autre, dans la propriété qu'elle a de transmettre la chaleur, telle qu'elle est déterminée par les expériences du professeur Leslie, trouvera mieux sa place ici, notre principal objet étant de comparer l'effet des surfaces et des couleurs. Une surface enduite de noir de fumée paraît être celle qui transmet le mieux la chaleur, et une surface de fer-blanc brillant est celle qui la transmet le plus mal. En prenant donc l'unité pour l'effet du fer-blanc, nous nous en servons comme de terme de comparaison. Or, il paraît, d'après une expérience, qu'un vaisseau sphérique de fer-blanc en feuilles de quatre pouces de diamètre, rempli d'eau chaude, s'est refroidi de 10 degrés centigrades (8° R.) en 156 minutes; et que ce même vaisseau, peint à l'extérieur d'une couche de noir de fumée, était tombé à la même température en

81 minutes (1); c'est-à-dire que les temps dans lesquels ils perdent la même quantité de chaleur, sont entre eux comme 1 est à 0,52, ou à peu près comme 2 : 1; ou que le fer-blanc brillant exige le double de temps pour dissiper la même quantité de chaleur. Mais, dans une autre expérience dans laquelle la seule différence était que l'eau se trouvait à un degré plus élevé de chaleur, les temps ont été comme 1 est à 0,66. Les temps pour produire le même effet avec une surface de fer-blanc brillant, et une seconde de fer-blanc frotté avec du vif-argent pour lui donner un beau lustre, ont été comme 1 est à 0,96; mais, quand on a ajouté assez de vif-argent pour rendre la surface d'un blanc mat, les temps ont été comme 1 : 0,89. En comparant du fer-blanc brillant avec du papier brouillard trempé dans l'huile d'olive, la proportion a été à peu près de 1 à 0,55; mais une légère couche d'huile n'a pas donné une aussi grande différence, le rapport, dans ce cas, n'ayant été que de 1 à 0,83. En frottant la surface du fer-blanc avec du papier fin à polir, on a abrégé le temps du refroidissement, et il l'a été

(1) Recherches sur la nature de la chaleur, par Leslie, p. 268, exp. 43; p. 274, exp. 45; p. 334, exp. 49; p. 332, exp. 48; p. 335, exp. 50; p. 336, exp. 51.

davantage encore en se servant de papier à polir grossier. Dans ce dernier cas, les temps ont été dans le rapport de 1 à 0,91. Une différence dans l'épaisseur du fer-blanc a changé les proportions dans le refroidissement; car le temps pour refroidir du fer-blanc brillant étant un, une couche de colle de poisson, épaisse de $\frac{1}{1000}$ de pouce, l'a réduit à 0,7; une couche d'une épaisseur double l'a réduit à 0,615; enfin, une couche dix fois plus épaisse l'a réduit à 0,53.

Le comte de Rumford avait déjà fait voir qu'une couverture de toile fine accélérât le refroidissement d'un cylindre d'airain dans le rapport de 1 à 0,665 (1). Nous aurions pu, avec quelque apparence de raison, avoir une opinion contraire. Mais, quand on veut conserver la chaleur, il faut le faire au moyen d'un mauvais conducteur d'une épaisseur considérable, ou en employant des couches de différentes matières, comme nous l'expliquerons quand nous traiterons cet objet. (*Voy.* art 134.)

116. Il est raisonnable de croire que l'espèce de la couleur n'est pas d'une grande importance, car il paraît qu'une couche épaisse de colle de

(1) Chimie de Thomson, vol I, p. 36, anglais.

poisson a eu autant d'effet que le noir de fumée. Cette remarque est d'autant plus à sa place, que, dans le cas où un appareil pour la chaleur doit servir d'ornement, on voit qu'il n'est pas nécessaire de préférer une couleur particulière, et qu'on peut choisir celle qui est le plus en harmonie avec le local.

117. A l'égard de l'espace ménagé pour la vapeur, quand l'emploi doit en être continu, on remarquera que, d'un côté, il ne doit pas être considérable, mais que de l'autre il ne doit pas être tellement resserré, que la vapeur ne puisse pas s'écouler avec assez de liberté pour fournir toutes les parties de l'appareil. Si l'espace est trop vaste, l'appareil de distribution sera long à se remplir; s'il est trop resserré, la vapeur s'écoulera avec difficulté. Dans les tuyaux, par exemple, le diamètre ne doit jamais être de plus de six pouces; et, quand ils sont nombreux, il ne doit pas être plus petit que trois pouces. Il faut se rappeler que l'espace pour la vapeur se trouve quadruplé quand on double le diamètre des tuyaux, tandis que la quantité de surface d'où dépend l'effet de ces tuyaux est simplement doublée. S'il fallait, pour obtenir la quantité nécessaire de surface, avoir des tuyaux de plus de six pouces de dia-

mètre, il vaudrait mieux avoir deux tuyaux; et avec très peu de peine de plus on pourrait les arranger de manière à les échauffer tous les deux, ou à n'en échauffer qu'un seul, suivant l'occasion. Cette faculté, d'augmenter ou de diminuer à volonté la quantité de surface destinée à transmettre la chaleur, peut être utile dans beaucoup de circonstances.

Mais lorsque l'eau condensée doit rester dans les tuyaux, et fournir de la chaleur quand la vapeur a cessé d'y arriver, il vaut mieux avoir des tuyaux plus larges.

Quand la chaleur doit être transmise avec lenteur, et diminuer lentement, on peut donner aux tuyaux un plus grand diamètre, et en remplir l'intérieur avec des cailloux brisés, ou de petites pierres lavées, ou d'autres choses semblables. Par ce moyen, les tuyaux ne pourraient donner toute leur chaleur, tant que les pierres, etc., ne se seraient pas échauffées autant qu'elles peuvent l'être, et la chaleur qu'elles auraient contractée se conserverait pour se perdre lentement, après que la vapeur aurait cessé d'arriver de la chaudière dans les tuyaux : cette méthode serait utile pour les plantes auxquelles on a besoin de ménager une chaleur artificielle.

De l'Épaisseur et de la Forme des vaisseaux à vapeur.

118. On a prétendu que l'épaisseur des vaisseaux à vapeur était de peu d'importance; mais il est plus sûr de rechercher jusqu'à quel point cette idée est exacte, et de suivre plutôt les conclusions qu'on tirera du raisonnement, que ce qui n'est fondé que sur une opinion. L'épaisseur doit être considérée, soit dans son effet pour la transmission de la chaleur, soit dans la force de résistance qu'elle présente.

L'épaisseur d'une substance quelconque la rend incapable de prendre dans toutes ses parties une température uniforme, lorsqu'on ne la chauffe que d'un seul côté; c'est ce qu'il est facile de prouver par l'expérience; et cela est encore évident si l'on fait attention qu'il n'existe pas un seul corps qui soit un conducteur parfait de la chaleur, et qui puisse par conséquent être uniformément échauffé quand la chaleur n'agit que sur un de ses côtés. Une feuille très mince ne doit pas sans doute présenter une grande différence d'uniformité; mais si l'on en augmente l'épaisseur, cette différence peut devenir considérable, et on peut la faire varier à volonté, en proportionnant l'épais-

206 ÉPAISSEUR ET FORME DES VAISSEAUX A VAPEUR.
seur à l'effet. Mais c'est la température de la surface extérieure d'un vaisseau à vapeur qui détermine la quantité de chaleur transmise, et cette quantité sera la plus grande possible lorsque l'épaisseur ne surpassera pas celle qui est absolument nécessaire pour la force; c'est-à-dire que, pour ce qui concerne la faculté de fournir le maximum de chaleur, plus le vaisseau sera mince, et mieux cela vaudra.

Dans certaines circonstances, on ne doit pas désirer que la chaleur se répande rapidement, et alors l'épaisseur est avantageuse; les différentes espèces de serres nous offrent l'exemple de ces cas particuliers; la quantité de chaleur que contient le fer est trop peu considérable pour qu'une masse de ce métal puisse être employée utilement comme réservoir de chaleur, et l'on peut à moins de frais obtenir une réserve de cette espèce par le moyen indiqué dans l'article 117.

119. L'épaisseur exigée pour la force dépend beaucoup de la forme des vaisseaux; ceux dont on se sert le plus ordinairement et qui sont aussi les plus utiles, sont de longs tubes ou tuyaux; quand on les fait en fonte de fer, ils sont toujours assez forts si la fonte a été coulée aussi mince que cela est possible, sans nuire à leur perfection. C'est ce qui peut s'exécuter en leur donnant un

peu moins des trois huitièmes d'un pouce d'épaisseur. La forme cylindrique est la meilleure, parce qu'elle est la plus forte. On pourrait aisément leur donner plus de surface, mais il y aurait perte d'effet, parce qu'il faudrait les faire plus épais.

Dans les grandes salles, les escaliers, les antichambres, les galeries, etc., on ne peut pas employer les tuyaux convenablement, à moins qu'ils ne soient cachés, comme on le voit planche III, fig. 12; et, en conséquence, il faut se servir de vaisseaux de formes différentes pour produire le même effet. Si l'on remplit de vapeur le vide qui sépare deux cylindres creux enfermés l'un dans l'autre, elle agira sur une étendue considérable de surface, sans occuper beaucoup d'espace. Les cylindres pourraient servir de piédestal à un buste ou à une tête; ces figures pourraient même servir de réservoir à la vapeur, et être employées comme moyen de distribuer la chaleur. On peut encore adapter au même usage divers ornemens, tels que des colonnes, des piliers, des vases, etc.

De la Dilatation des vaisseaux, et de la manière de les joindre.

120. On trouvera dans la table III, art. 218, la dilatation qu'éprouvent différentes substances

pour un changement de température de 180° (80°R.). Les limites de cette table sont aussi étendues que peut l'exiger la construction d'un appareil à vapeur, attendu que la chaleur moyenne des vaisseaux ou des tuyaux est moindre que 212° , et qu'il ne peut arriver que très rarement qu'ils soient refroidis au-dessous de 32° (0°R.).

On verra par la table, que si la longueur d'un tuyau de fonte est égale à 1, au point de congélation, elle sera à peu près 1,00111, au terme de l'ébullition. C'est un peu plus de $\frac{1}{8}$ de pouce par 10 pieds de tuyau; mais la différence n'est pas assez grande pour que nous ne puissions pas nous en tenir à $\frac{1}{8}$ dans la pratique.

La dilatation du fer forgé est de 0,001258; on devra donc calculer pour la construction des tuyaux de cette matière, sur une dilatation de $\frac{1}{8}$ de pouce par huit pieds de longueur: la même quantité est applicable aux tuyaux de fer-blanc.

Le cuivre se dilate de 0,0017; ainsi, pour 10 pieds de longueur, on prendra $\frac{2}{10}$ de pouce pour la quantité de la dilatation.

Le plomb se dilate encore plus que le cuivre, car la dilatation est de 0,002867; c'est à peu près $\frac{7}{10}$ de pouce par chaque 10 pieds de longueur. Mais quoique les tuyaux de plomb ne soient pas

propres pour la vapeur, on peut souvent les employer pour ramener l'eau de condensation à la chaudière, et dans ce cas on peut se contenter de $\frac{1}{3}$ de pouce par 10 pieds de longueur.

J'ai cherché à exprimer ces quantités en termes les plus faciles à retenir, parce que le constructeur et l'ouvrier doivent sans cesse les avoir présentes à l'esprit. Aucune partie d'un bâtiment ordinaire ne serait capable de résister à la force de dilatation d'un tuyau à vapeur en fer; et lorsqu'il y a aux extrémités une résistance égale à la force de pression, il faut que les tuyaux manquent soit dans les joints, soit dans quelque partie de leur longueur (1).

Afin que les tuyaux puissent s'étendre librement, il sera bien fait de les supporter par des rouleaux.

121. Les tuyaux placés horizontalement étant plus chauds à leur surface supérieure qu'en dessous, il en résulte que leur dilatation se fait iné-

(1) Le mouvement produit par la dilatation des tuyaux a été ingénieusement employé pour régulariser l'entrée de la vapeur, par M. H. Creighton de Glasgow, qui a obtenu pour cela un privilège en 1818. (*V. Repert. of arts*, vol. XXXIX, p. 85.) On l'a fait servir aussi comme moyen d'ouvrir les soupapes à air.

galement, et qu'ils prennent une légère courbure ; mais cette courbure n'étant pas assez forte pour que le tuyau en éprouve un dérangement permanent, on peut n'y pas faire attention.

122. On a employé, dans de nouveaux édifices qu'on devait chauffer à la vapeur, des tuyaux placés verticalement ; et, dans un but d'économie, on a fait servir ces tuyaux comme principaux supports des bâtimens. L'impropriété de ce mode de construction paraîtra évidente à tout homme qui voudra considérer que la dilatation de ces tuyaux doit suffire pour séparer les planchers des murs extérieurs, de manière à ce qu'on ne puisse les maintenir qu'en les attachant avec des liens de fer. D'un autre côté, ces tuyaux doivent être épais pour être assez forts, et par conséquent ils ne peuvent donner une chaleur qui soit en proportion de leur surface, et ils sont bien plus long-temps à acquérir une température convenable. Quant à moi, je crois qu'il y a, dans tous les cas, un très grand avantage à ce que l'appareil qui distribue la chaleur soit distinct des parties fixes d'un bâtiment, de sorte qu'on puisse le renouveler, y faire des changemens ou le réparer sans danger pour les parties essentielles de l'édifice. Ces avantages, joints aux considérations précédentes, compensent et au-delà la néces-

sité d'avoir un local particulier pour y établir l'appareil.

De la manière de joindre les tuyaux, etc.

123. La difficulté de joindre les tuyaux et les autres vaisseaux de fonte, est souvent cause qu'on évite de s'en servir ; mais cette difficulté n'est pas aussi grande qu'on l'imagine.

Les joints doivent être impénétrables à la vapeur, et il est toujours avantageux qu'ils aient une légère élasticité. Cette dernière propriété rendra la liaison moins sujette à être dérangée par des accidens. Pour rendre les joints impénétrables, il faut qu'ils soient faits de manière à ce que les parties ne puissent entrer l'une dans l'autre qu'en les forçant ; car, lorsque les bouts peuvent s'emboîter sans effort, la dilatation, la contraction, le mouvement des tuyaux, etc., ne tardent pas à les rendre incapables de retenir la vapeur. En faisant attention à ces conditions, il devient facile de déterminer quelle espèce de joints conviennent le mieux pour un appareil à vapeur.

124. La manière ordinaire de joindre les tuyaux, celle qu'on regarde comme la meilleure, est au moyen de renflemens aplatis. (V. pl. 111, fig. 7 et 8). On insère entre les joints un morceau de toile d'un

tissu lâche qu'on a eu soin de saturer avec de la céruse préparée comme pour composer de la peinture épaisse. La largeur du morceau de toile dépend de celle des surfaces des renflemens; mais il est avantageux de ne pas le prendre trop mince, parce qu'alors le joint aurait moins d'élasticité. En mêlant un peu de minium avec la céruse, cette peinture séchera plus vite, et sera beaucoup plus dure.

Comme on peut serrer très fort ces joints au moyen des écrous a, a, a, a, qui traversent les renflemens, il n'est pas très difficile de les rendre impénétrables à la vapeur.

125. Ce mode de réunion des tuyaux a cependant un inconvénient; c'est de donner pendant long-temps une odeur très désagréable, à cause de l'huile employée avec la céruse: il semble donc qu'on doive se servir de quelque autre procédé pour les appartemens. Si les bouts des tuyaux étaient très unis, et qu'on placât entre les joints, au lieu de toile, une plaque d'étain de $\frac{3}{8}$ de pouce environ d'épaisseur, en serrant fortement les écrous sur le métal aussi froid que possible, la réunion serait très solide et très sûre. Le plomb est trop compressible pour qu'on puisse l'employer au lieu de l'étain; aussi, autant que je puis le savoir, on n'en a jamais fait usage avec succès.

Quelques personnes se servent de ciment de fer pour les joints (1); mais quand on peut, sans inconvénient, employer la céruse et la chaux, on doit le faire de préférence.

126. Les joints dits en fausset, dont on fait ordinairement usage pour les tuyaux de conduite pour l'eau, ne conviennent pas aussi bien pour la vapeur, parce qu'on n'y prend pas de précautions pour fixer les parties l'une avec l'autre : ce défaut est commun à toutes les espèces de joints en dé.

On peut donner aux tuyaux qui sont coulés en morceaux peu allongés, la forme de toutes les courbes régulières, et les faire retourner à angles droits ou à embranchemens dans toutes les directions.

(1) Le ciment de fer se fait avec des rognures de fonte de fer. On en met 40 parties avec une partie de sel ammoniac et une demi-partie de soufre. Ces rognures doivent être nettes et exemptes de rouille, et grossièrement pilées. On emploie ce ciment en l'humectant légèrement et en mêlant les parties qui le composent; on le fait ensuite entrer dans les joints en l'enfonçant avec un ciseau et un marteau; après quoi on serre les joints le plus possible. Si l'on préparait plus de ciment qu'on n'aurait besoin d'en employer, il se gâterait. Quand il est bien fait, il devient très dur en un ou deux jours.

Les tuyaux de fer forgé se joignent en fixant les bouts qui doivent être réunis au moyen d'écrous qui passent dans un anneau de plus grand diamètre, et dans lequel on place ces bouts. On peut également les fixer par des écrous dans des tuyaux de fonte, des cylindres, etc., de manière à les faire servir comme tuyaux d'embranchement, tuyaux de suite ou autrement. Une noix pour serrer les joints est, dans quelques cas, considérée comme nécessaire.

Il faut observer que si l'on veut joindre, en les emboitant, deux métaux d'espèce différente au moyen d'écrous, le métal qui se dilate le plus par la chaleur doit être placé dans l'autre ; autrement, il y aurait très probablement de la vapeur qui s'échapperait aussitôt que les tuyaux seraient chauds. Par la même raison, les robinets ne devraient jamais être faits de deux sortes de métaux. On ne doit pas non plus avoir de confiance dans les joints que l'on soude ; dans tous ces cas, l'inégalité de dilatation affecte les joints.

Lorsque, à raison des angles et des détours, on ne peut pas éviter l'effet de la dilatation par d'autres moyens, on peut se servir de celui aussi simple qu'ingénieux qu'a employé le comte de Rumford. Il consiste à joindre les tuyaux avec un

tambour de cuivre mince d'un diamètre suffisant pour que la quantité de dilatation puisse le comprimer et l'étendre sans danger. Ces tambours étaient adaptés aux tuyaux à vapeur qui chauffaient la salle de lecture de l'institut royal.

On obtiendrait le même effet en joignant les tuyaux par un autre tuyau plus petit et court, qui glisserait par une boîte dans l'un des tuyaux; mais j'aime mieux employer le tambour.

127. Il est quelquefois nécessaire de placer la chaudière à quelque distance de l'endroit qu'on veut chauffer; et afin qu'il se perde dans le trajet aussi peu de chaleur que cela est possible, le tuyau qui reçoit immédiatement la vapeur de la chaudière ne doit pas être d'un diamètre plus grand que celui qui suffit pour remplir l'objet auquel il est destiné. L'instant où l'on a besoin d'une plus grande quantité de vapeur, est celui où les endroits qu'on veut réchauffer sont à la température la plus basse. Quand ils sont à 30° (environ 1° au-dessous de 0° R.), il faut 150 pieds de surface de tuyau pour condenser un pied cube de vapeur par heure. (Art. 46, note). Et comme il est facile de connaître la quantité entière qui serait condensée par une surface donnée, on pourra déterminer le diamètre du tuyau qui re-

coit immédiatement la vapeur de la chaudière, en multipliant par 0,3 le nombre de pieds cubes d'eau condensés en une heure; la racine carrée du produit sera égale à ce diamètre en pouces (1).

Exemple : Supposons que la surface d'un tuyau à vapeur soit de 960 pieds; alors on a $\frac{960}{150} = 6,4$ pour le nombre de pieds cubes d'eau qui

(1) Soit h la hauteur en pieds d'une colonne de vapeur équivalente à l'excès de force de la vapeur au-dessus de la pression de l'atmosphère; alors on aura $5\sqrt{h}$ = la vitesse en pieds quelle pourrait produire par seconde, en déduisant l'effet de contraction à l'ouverture. La vitesse par heure serait donc $5 \times 60 \times 60 \sqrt{h}$. Soit d le diamètre de l'ouverture en pouces, son aire en pieds sera exprimée par $\frac{0,7854d^2}{144}$, et $\frac{5 \times 3600 \times 0,7854d^2 \sqrt{h}}{144}$ sera égal à la quantité de pieds cubes de vapeur qui s'écoulera par l'ouverture en une heure de temps. Mais il est un peu plus commode pour notre objet de prendre pour mesure la quantité d'eau convertie en vapeur par heure. Soit donc c cette quantité en pieds cubes, et bc = le volume de l'eau réduite à l'état de vapeur, nous aurons

$$98,175d^2 \sqrt{h} = bc \text{ ou à peu près } \frac{0,0102bc}{\sqrt{h}} = d^2$$

Déterminons maintenant la valeur de h . Si nous faisons

seraient condensés en une heure. Et $0,3 \times 6,4 = 1,92$, dont la racine carrée $1,38$ à peu près, donne en pouces le diamètre du tuyau.

128. Il est nécessaire de donner aux tuyaux de toutes les parties d'un appareil de distribution assez d'inclinaison pour empêcher toute réunion

w = la hauteur d'une colonne d'eau équivalente à l'excès de force de la vapeur, h sera égal à bw et $\sqrt{h} = \sqrt{bw}$. Mais la vitesse tirée de cette valeur de h doit être réduite, parce qu'il faut déplacer une colonne d'air qui est égale à 830 fois le volume de l'eau; il faut donc substituer à \sqrt{h} l'expression $\frac{830}{b} \sqrt{bw}$. Dans l'équation $\frac{0,0102bc}{\sqrt{h}} = d^2$, et elle deviendra

$$\frac{0,0102b^2c}{830 \sqrt{bw}} = d^2 \text{ ou } 0,0000122720 \sqrt{\frac{b^3}{w}} = d^2.$$

Quand la vapeur est à 220° (84° R.) $w = 6,25$ pieds et $b = 1470$ (Voy. Tab. IV, art. 221), $0,248c = d^2$. Cette formule sert à trouver l'aire des tuyaux, dits grands tuyaux; mais il est plus sûr de prendre $0,3c = d^2$, afin de ne pas avoir une valeur trop petite pour d . Pour les tuyaux de sûreté et les soupapes, on peut prendre 225° (85° R.) pour la température, alors $w = 10,4$ pieds et $b = 1342$. Donc $0,187c = d^2$. Dans la règle donnée pour les soupapes de sûreté nous avons fait $0,2c = d^2$, ou $\frac{c}{5} = d^2$.

d'une trop grande quantité d'eau; car lorsque la vapeur entre dans les tuyaux, etc., et qu'elle y rencontre une surface d'eau qui s'y est arrêtée, elle se condense avec tant de rapidité, qu'il y a du danger pour la chaudière et pour les tuyaux qui ne seraient pas assez solides pour résister à la pression. Lorsqu'il est possible d'établir la chaudière à un niveau plus bas que celui des tuyaux et des autres vaisseaux à vapeur, ce qu'il y a de mieux à faire est de faire rentrer l'eau de la vapeur condensée dans la chaudière; non-seulement cela sert à économiser le combustible, mais on y trouve l'avantage d'avoir moins besoin de nouvelle eau pour entretenir la chaudière: c'est un objet digne d'attention, quand on est dans un endroit où l'eau est rare.

129. Cependant il est des cas où l'on doit chercher à réunir dans les tuyaux l'eau de condensation, pour se servir de sa chaleur quand la vapeur a cessé d'entrer dans les tuyaux. On peut alors employer des robinets qui servent soit à faire écouler l'eau des tuyaux, soit à en évacuer l'air, lorsqu'ils se remplissent de vapeur. Mais quand on fait rentrer l'eau dans la chaudière, on ne peut se ménager l'avantage de ce supplément de chaleur. L'ouvrier qui soigne le feu sera chargé d'ouvrir toujours les robinets avant que la vapeur

n'entre dans les tuyaux, et de les fermer aussitôt que ces tuyaux seront remplis de vapeur.

150. Il est très commun de voir des appareils qui vident d'eux-mêmes leur eau de condensation ; de tous les moyens qu'on emploie pour cela, celui dont l'effet est le plus sûr est le siphon renversé.

ABC, fig. 9, pl. 111, représente un siphon de cette espèce. Les tuyaux sont fixés de manière que A est le point le plus bas, en sorte que, quelle que soit la quantité d'eau qui s'y condense, elle s'écoulera dans le siphon en A, et ira se perdre en C, à moins qu'on n'en dispose autrement. La profondeur de A en B ne doit pas être moindre que ce qu'il faut pour équivaloir à la force de la vapeur qui est dans les tuyaux ; elle sera déterminée par la table que nous avons donnée à l'art. 100 : de sorte que si l'on a de la vapeur dont la force soit de 4 livres par pouce carré, la colonne d'eau BC ne doit pas être de moins de 10 pieds ; et même, avec cette pression, il y aura des oscillations considérables, à moins qu'on ne place une soupape à quelque point D. Quand les deux branches sont pleines d'eau et en repos, la soupape doit être ouverte, et elle doit être construite de manière à se fermer chaque fois que l'eau peut tendre à remonter dans le tuyau.

Ce siphon doit être assez large pour que toute l'eau de condensation puisse aisément s'y écouler; mais il ne faut pas qu'il le soit trop, parce que la branche AC se trouvant remplie de vapeur, il y aurait une perte de chaleur (1); dans tous les cas, le siphon doit être soigneusement garanti contre la gelée.

On est dans l'usage de lier au siphon un robinet qui permet à l'air de s'échapper des tuyaux lorsqu'on y fait entrer la vapeur. Ce robinet et le tuyau sur lequel il est placé se voient en E. On le fait répondre avec la partie la plus basse du tuyau à vapeur, parce que l'air, qui est plus pesant, se place naturellement dans cette partie basse.

En arrangeant toutes ces choses, il faut se souvenir que les tuyaux se dilatent quand on les chauffe. Cette dilatation peut être employée comme moyen pour ouvrir le robinet E et donner passage à l'air.

131. Lorsqu'il n'est pas facile d'avoir assez de profondeur pour un siphon, on emploie une trappe ou soupape à vapeur, qui s'ouvre au moyen d'un

(1) Quand A est à 6 pouces au-dessus du niveau de C, le tuyau se trouvera toujours vide d'eau si $\sqrt{0,0408c}$ = le diamètre du tuyau en pouces, c représentant la quantité de pieds cubes d'eau qui se condense en une heure.

flotteur. Elle est très commode : voici la manière de l'exécuter. Soit BC, *fig. 10*, une boîte carrée fixée à l'extrémité A du tuyau à vapeur, et D un cylindre creux en cuivre fixé à une soupape conique E. Quand la vapeur est condensée, la boîte carrée se remplit d'eau et fait flotter le cylindre creux ; par conséquent, l'eau doit s'échapper par le tuyau F, toutes les fois qu'il se trouve dans la boîte plus d'eau qu'il n'en faut pour faire flotter le cylindre ; et lorsqu'il n'y en a pas autant qu'il en faut pour le soulever, la soupape doit rester fermée (1). La soupape ne doit pas être plus large que cela n'est nécessaire pour faire écouler l'eau ; et, en établissant le cylindre qui sert de flotteur, on doit avoir égard, dans les proportions qu'on lui donne, à la pression de la vapeur sur la soupape. Il est encore nécessaire, dans ce cas, d'avoir un robinet S, qui donne passage à l'air pendant que les tuyaux se

(1) Le principe est expliqué dans les Essais de Buchanan, sur le combustible. On trouve une autre méthode, mais moins simple, pour faire écouler l'eau, dans les Transactions de la Société des Arts, vol. XXXV, p. 179. Cette dernière pourrait servir dans les cas où il faut une soupape de sûreté aux tuyaux, parce que toutes les fois que la vapeur dépasse une certaine pression, il faut qu'elle puisse s'échapper.

remplissent de vapeur. Le mouvement que ces tuyaux éprouvent quand ils sont dilatés par la chaleur, peut être employé pour ouvrir ce robinet.

132. Toutes les fois qu'on n'est pas dans le cas de retenir l'eau dans les tuyaux pour conserver de la chaleur après qu'on a éteint le feu, on doit la faire rentrer dans la chaudière. Le moyen le plus simple, celui qui se présente d'abord, est de donner aux tuyaux une pente vers la chaudière, quand on peut placer celle-ci assez bas. Mais cet arrangement n'est cependant pas le meilleur, parce que la vapeur ne circule pas aussi librement dans les tuyaux, à raison du retour de l'eau qui tend à la condenser.

Il est plus avantageux d'établir un petit tuyau particulier pour ramener à la chaudière la vapeur condensée. Les tuyaux à vapeur se rendent par la ligne la plus courte à la plus grande élévation où il est nécessaire de faire arriver la vapeur, et descendent ensuite jusqu'au point le plus bas d'où part le petit tuyau destiné à reporter à la chaudière la vapeur condensée. A moins qu'on n'ait besoin de chaleur dans les endroits où passe ce petit tuyau, on doit l'entourer avec de faibles conducteurs de chaleur, pour qu'il s'en dissipe le moins possible.

133. Mais tous ces arrangemens sont souvent impraticables, parce qu'on ne peut pas toujours placer la chaudière à une profondeur assez grande au-dessous du niveau le plus bas, d'où doit partir la vapeur. En se reportant à l'article 101, on verra que la vapeur est capable de supporter une colonne d'eau d'une hauteur déterminée. Ainsi, toutes les fois qu'on pourra placer la chaudière à une profondeur qui soit dans la limite de cette hauteur, on n'aura qu'à employer le moyen suivant pour faire remonter l'eau à un niveau plus élevé.

A, étant le réservoir où l'eau doit être ramenée (fig. 111), et B la partie la plus basse du tuyau à vapeur, on placera de A en B un autre tuyau AB, tel qu'on le voit dans la figure, portant une soupape en C, pour empêcher l'eau que la pression de la vapeur dans le conduit à vapeur force d'y entrer, de pouvoir remonter. Pour que cet appareil puisse remplir l'objet qu'on se propose, le point D doit être au-dessus du niveau de l'eau du réservoir, et la hauteur DB ne doit pas être de plus de 9 pieds, quand la pression de la vapeur est de 4 livres sur un pouce carré.

Moyens de retenir la chaleur.

134. L'art d'empêcher la chaleur qu'on conduit dans une place où l'on se propose de l'employer à quelque objet d'utilité, de se perdre dans le trajet, est très important à étudier. Rumford et Leslie (1) en ont fait connaître les principes. Le premier a montré comment on pouvait retenir la chaleur au moyen de mauvais conducteurs; le second a fait voir l'effet qu'on obtient en faisant alterner les surfaces. Chacun de ces moyens a son mérite particulier; mais, dans la pratique, les deux méthodes se trouvent toujours combinées.

Les mauvais conducteurs employés à retenir la chaleur dans les tuyaux doivent être secs et préservés, autant que possible, de l'humidité; car la plupart de ces corps ont la propriété d'absorber l'eau et de la retenir fortement. Mais aussitôt que l'humidité les pénètre, leur faculté conductrice se trouve de beaucoup augmentée. Les substances qui peuvent servir pour cet objet sont le charbon pilé, les cendres, la sciure de bois sèche, le son, la chaux pulvérisée, la brique en poudre, etc. On

(1) Essais de Rumford, et Recherches sur la nature de la chaleur, par Leslie.

doit former avec ces matières une enveloppe très épaisse autour du tuyau ou du vaisseau exposé à perdre de la chaleur. L'épaisseur doit être réglée sur la température du corps échauffé; elle doit être de deux à trois pouces pour les tuyaux à vapeur. La matière employée comme mauvais conducteur ne doit pas être trop pressée dans la place qu'elle occupe; et, dans quelques circonstances, on peut l'enfermer dans une caisse de bois; mais cette caisse doit être impénétrable à l'eau, partout où l'on a à craindre l'humidité; on peut la construire en métal, en pierre, ou de toute autre matière. On peut voir, planches I et II, l'application de ces moyens de retenir la chaleur dans les chaudières.

Les corps solides qui sont de mauvais conducteurs peuvent être souvent employés avec avantage pour retenir la chaleur : tels sont le liége et d'autres bois, certaines briques légères et poreuses, les pierres. Parmi ces dernières, les tufs (1) et d'autres concrétions spongieuses, les pierres-ponces,

(1) Le tuf a été employé par les anciens constructeurs pour remplir les vides dans la charpente de leurs voûtes gothiques. On en tirait jadis des carrières, et on l'employait pour bâtir en divers endroits des comtés de Derby et de Gloucester. (*F. Farey's Derbyshire report*, vol. I, et *Rudge's Gloucestershire*.)

sont de très faibles conducteurs (1) ; mais quand on emploie au grand air quelque'un de ces corps pour retenir la chaleur, on doit le recouvrir d'un enduit qui ne soit pas susceptible de se pénétrer d'humidité. Quelques personnes ont vanté la brique comme le meilleur des matériaux pour la construction des maisons, parce qu'elle est mauvais conducteur de la chaleur ; mais elle contracte tant d'humidité, dans les temps pluvieux, qu'il n'est pas étonnant qu'à peine il se trouve un bâtiment construit avec cette matière dont les briques ne soient pas altérées. La vérité est qu'on ne devrait s'en servir que dans les endroits où elles peuvent être à l'abri de l'humidité ; car leur force d'affinité avec l'eau est si grande, qu'elles peuvent l'attirer de trois jusqu'à cinq pieds de hauteur dans un mur dont la base repose sur un terrain mouillé.

Les fluides enfermés sont de faibles conducteurs de chaleur, et les fluides gazeux sont les plus lents : leur force conductrice est beaucoup diminuée par une diminution de densité. D'après des idées plus

(1) M. Gill a nouvellement employé la pierre-ponce avec beaucoup de succès dans la construction des fourneaux de cuisine. Alberti connaissait sa propriété de faible conducteur. (Liv. X, chap. XIII.)

ou moins complètes sur ces propriétés, Alberti construisait les murs avec des vides (1); le comte de Rumford mit de doubles enveloppes aux chaudières, et M. Watt enveloppa d'étoffes les machines à vapeur (2). La force conductrice relative des fluides est à peu près dans la proportion du tableau suivant :

(1) Alberti, l'un des plus anciens auteurs italiens qui ait écrit sur l'architecture, s'exprime en termes si appropriés au sujet que nous traitons, que le lecteur ne sera pas fâché de trouver ici un extrait de ce qu'il dit.

« Il faut ajouter, dit-il, toit sur toit, muraille à muraille; et plus l'espace qu'on laissera entre elles sera considérable, et plus notre ombrage sera frais, plus il sera impénétrable à la chaleur; car cet intervalle qui les sépare a presque le même effet pour cet objet qu'aurait un mur de la même épaisseur; il est même plus avantageux sous un rapport, car le mur retiendrait plus long-temps, soit la chaleur du soleil, soit le froid qui l'aurait pénétré, tandis que ces doubles murailles conservent une température égale. Dans les endroits où le soleil est excessivement ardent, un mur bâti en pierres-ponces est celui qui retiendra le moins de chaleur. » (Liv. X, chap. 13.)

(2) Il peut être utile de remarquer que lorsqu'on emploie une couverture d'étoffe sur le cylindre d'une machine à vapeur, la quantité d'eau condensée cesse de pouvoir servir de mesure à la chaleur qui se perd; mais on peut aisément en évaluer la quantité par la température de la surface extérieure de la couverture.

Le mercure.....	2
L'huile de lin.....	1,111
L'eau.....	1
L'air ordinaire.....	0,26

On a très souvent fait usage de fenêtres doubles pour empêcher la chaleur de se perdre ; on peut remplir le même but avec plus de commodité, en mettant un double vitrage dans le même châssis, de manière que les carreaux de chaque vitrage soient éloignés d'environ un demi-pouce, ou même de plus, et que les vitres du dedans ne soient pas tellement impénétrables à l'air par la manière dont elles sont fixées, qu'elles puissent être exposées à être cassées par la dilatation de l'air échauffé entre les panneaux. Plusieurs doubles de laine sèche ou de toile de coton peuvent servir à retenir la chaleur, surtout si le tissu en est lâche ; mais une seule couverture de l'une ou de l'autre de ces substances tend à accélérer le refroidissement des métaux polis. (*Voy.* art. 115.) La toile de chanvre réussit moins comme mauvais conducteur, que le coton ou la laine.

Si l'on place simplement un tuyau à vapeur dans un autre tuyau d'un plus grand diamètre, et qu'on le retienne au milieu avec des substances qui soient de mauvais conducteurs, il perdra très peu de sa chaleur ; et dans plusieurs cas on pourra

établir entre les deux tuyaux' un courant d'air utile, soit pour la ventilation, soit pour fournir de nouvel air échauffé; et lorsqu'on pourra le faire, on s'apercevra à peine de quelque perte de chaleur. Pour réussir à établir ce courant, il faut qu'il y ait une différence de niveau entre la place par où l'air frais est introduit et celle par laquelle on fait sortir l'air chaud.

Si l'on conduit un tuyau à vapeur à une distance considérable sous terre, dans un sol qui soit sec, on peut établir une saignée et en remplir le fond de briques cassées ou de petites pierres, ou bien d'autres matériaux de cette nature. Ce tuyau doit être entouré d'environ trois pouces d'épaisseur de cendres sèches, recouvertes en dessus d'un lit de terre grasse bien corroyée pour en tenir l'eau éloignée, et de plus d'une quantité de terre suffisante pour empêcher le tuyau d'être dérangé.

CHAPITRE VII.

Chauffage et ventilation des maisons d'habitation, des églises, des tribunaux, des collèges, des théâtres, des filatures de coton, des ateliers, etc.

« A quoi servent les plus riches présens
» des cieux, quand la santé est chance-
» lante et que l'abattement s'empare de
» nous? Combien peu de prix nous atta-
» chons alors à tout ce qu'on peut nous
» offrir! La santé est la première, la prin-
» cipale source du bonheur. »

THOMSON.

135. Les chapitres précédens contiennent les principes généraux de la construction et des proportions des appareils à vapeur, et, ce qui est encore plus essentiel, les conditions nécessaires pour obtenir une bonne ventilation. Il ne reste plus maintenant qu'à donner des exemples de

leur application dans la pratique, en conciliant l'économie avec ce qui intéresse l'agrément et la santé. Je vais indiquer les méthodes qui me paraissent convenir le mieux aux cas particuliers que je considère, en ne sortant pas des limites de la température convenable à chacun. Il ne sera pas difficile d'y faire les changemens que des manières différentes de considérer les cas particuliers pourraient nécessiter dans les proportions.

*Chambres, passages, etc., des maisons
d'habitation.*

La vapeur ne paraît pas devoir être employée toute seule pour chauffer les maisons d'habitation ; mais on peut toujours, dans les maisons considérables, s'en servir comme d'un moyen accessoire pour procurer de la chaleur et aider à la ventilation.

Une chambre un peu vaste peut rarement être convenablement chauffée par des feux de cheminée, et les longues salles, les escaliers et les passages ne sauraient l'être de cette manière sans une dépense considérable en combustible. La méthode la plus avantageuse semble donc devoir être celle où l'on fait usage des deux principes de chauffage à la fois, c'est-à-dire où l'on emploie

dans les appartemens la chaleur rayonnante d'un feu de cheminée, en y entretenant en même temps de l'air en partie réchauffé, tandis que les passages, les grandes salles et les escaliers sont chauffés par des vaisseaux à vapeur convenables. Il vaut mieux réchauffer immédiatement l'air qui se trouve dans ces endroits, que d'y introduire de l'air chaud, parce qu'il faut moins de combustible et que la ventilation se fait mieux; cette méthode est surtout bien préférable à celle de tirer de l'air réchauffé de places qui se trouvent au-dessous du sol de la maison; car cet air est trop souvent stagnant et trop mauvais pour pouvoir être introduit sans danger dans un appartement. Partout où l'on fait entrer de l'air échauffé, il faut le tirer d'un niveau plus élevé et d'une place où il soit exposé à être agité par les vents. Il suffit de connaître les premiers principes de l'hydrodynamique, pour savoir qu'il n'est nullement difficile de se procurer cette espèce d'air pur.

On ne peut pas faire usage des tuyaux à vapeur ordinaires pour les maisons d'habitation, et l'on s'en passera facilement en ayant recours à divers moyens pour faire servir les vaisseaux à vapeur comme objets de décoration. Ce but peut être rempli en donnant aux vaisseaux mêmes une forme agréable, et appropriée

au local où ils se trouvent placés. Les tuyaux communs pourraient cependant être rassemblés dans une seule masse, et recouverts d'une claire-voie, de marbre ou de toute autre matière, de consoles, etc. (Pl. III, fig. 12), de panneaux à jour; ou bien ils pourraient être cachés dans les murs, et l'air échauffé introduit par des registres. La seule attention à avoir est que l'air puisse arriver librement aux surfaces échauffées, et qu'il ait une issue convenable quand il a acquis le degré nécessaire de chaleur.

Lorsque la chaleur employée dans les corridors, les longues salles, les escaliers et les galeries, est assez forte pour y entretenir un degré de température qui ne surpasse pas 56° (11° R.), on n'a pas besoin de plus d'air chaud dans les appartemens que de ce qui peut y arriver des passages, etc., à moins qu'il ne s'en trouve dans le nombre dont l'étendue soit très considérable; et ceux-ci pourraient être chauffés avec des tuyaux couverts d'ouvrages propres à servir de décoration aux appartemens où on les place.

Quand on se propose de réchauffer de l'air qu'on destine à chauffer un appartement, on ne doit pas élever sa température au-delà de 56° (11° R.), et l'ouverture par laquelle on le fait entrer dans l'appartement ne doit pas être à plus

d'un pied du plancher. Le lecteur qui a suivi avec attention le chapitre où l'on traite de la ventilation (ch. IV), sentira aisément la raison de ces limites. Les appartemens qui ne sont employés que pendant des temps très courts, et qui, le reste du temps, sont complètement aérés au moyen des fenêtres, n'exigent pas autant d'attention pour la ventilation; mais il est à propos, dans tout autre cas, de ménager un renouvellement continu d'air; et dans les chambres qui n'ont pas de feu de cheminée, ce renouvellement continu demande que la ventilation ait lieu vers le plafond. Le même ornement qui entoure l'anneau où l'on pend le lustre, peut couvrir la place par où l'air impur doit s'échapper. (*Voyez* art. 62 et 75.)

136. Un exemple peut mieux que toute autre explication donner au lecteur une idée de la manière de calculer la quantité de chaleur que demande un espace déterminé. Supposons que nous ayons une longue salle, un escalier et deux passages à entretenir à la température de 56° (11° R.), lorsque l'air extérieur est à 0° (14° R. au-dessous de la glace); que la salle ait deux fenêtres, de 10 pieds sur 4 chacune, et que sa porte ne s'ouvre pas immédiatement à l'air extérieur. Supposons que l'escalier soit éclairé par un vitrage en dôme de 8 pieds de diamètre, et élevé de 50 pieds au-

dessus du sol ; enfin qu'il y ait deux fenêtres de 7 pieds sur $5 \frac{1}{2}$ pieds à chacun des passages,

La surface du vitrage sera :

Pour la salle, de 80 pieds.

Pour l'escalier, 100

Pour les passages, 98

Total, 278 pieds de surface de vitrage.

Cette quantité de surface en verre doit refroidir (art. 67) 417 pieds cubes d'air par minute (1).

Nous avons maintenant à calculer la quantité d'air échauffé qui se perdra par le dôme et les autres ouvertures des fenêtres, etc., dans les passages du haut. Toutes ces issues peuvent être égalées à une ouverture dans le dôme vitré qui aurait un demi-pied de surface, et par laquelle l'air s'échapperait avec une vitesse dépendante de la hauteur de la colonne d'air raréfié, hauteur qui est ici de

(1) Dans tous les cas, plus la quantité de vitrage sera considérable, plus la quantité de chaleur nécessaire sera grande ; mais il ne faut pas que de simples motifs d'économie nous fassent oublier l'influence qu'une grande étendue de lumière a sur la santé et la force des hommes, surtout dans les écoles et les salles de travail ; car, plus on retranchera de lumière et d'air, et plus les personnes qui y séjourneront seront pâles et languissantes. En faisant les fenêtres doubles, la perte de chaleur peut être réduite à moins d'un tiers, sans diminuer sensiblement la quantité de lumière.

30 pieds; en conséquence, la différence de température étant de 56° (111° R.), nous trouverons par la règle de la note de l'art. 64, que la quantité de pieds cubes d'air qui s'échappera par minute, sera égale à $\frac{100 \sqrt{30}}{2}$, ou à 275. Nous aurons donc à chauffer $417 + 275 = 692$ pieds cubes d'air par minute, pour remplacer la perte de chaleur, en négligeant la perte qui a lieu en ouvrant et en fermant les portes, etc.

Mais la règle donnée à l'article 44 nous conduit à l'équation $\frac{692 \times 56}{2.1 \times (200 - 56)} = 128$. Il faudra donc 128 pieds de surface de tuyaux à vapeur pour chauffer cette quantité d'air. Ces tuyaux peuvent être groupés dans les endroits les plus convenables sur les parquets; et comme nous avons supposé que toutes les pièces communiquaient, et que les portes en étaient fermées de manière à empêcher la libre circulation de l'air, il ne faut, dans ce cas, employer qu'une petite quantité de surface de tuyau pour le chauffage particulier de l'escalier, attendu que tout l'air échauffé des autres places vient s'y porter à raison de son élévation.

J'ai choisi cet exemple, qui se présente très fréquemment, pour montrer le désavantage d'un

dôme vitré pour l'éclairage d'un escalier dont la température doit être entretenue à un degré plus élevé que celui de l'air extérieur (1). Cependant, ce dôme favorise la ventilation pendant l'été; et il suffirait, pour en diminuer les inconvéniens en hiver, d'y ajouter un second vitrage horizontal qui, fermant passablement, ferait l'effet d'une espèce de fenêtre double. Cette addition, dans le cas que nous venons d'examiner, économiserait environ un tiers de combustible, et une grande partie des frais de l'appareil pour chauffer l'espace, tout en rendant l'appartement infiniment plus agréable à habiter pendant l'hiver.

Églises, chapelles.

137. Les églises et les chapelles sont ordinairement vastes et élevées, de sorte qu'en hiver, si l'on veut les chauffer, on n'a pas besoin d'une ventilation considérable, le temps que l'on y reste assemblé étant toujours assez court; mais en été il y faut une ventilation abondante. Je vais examiner d'abord les moyens de les chauffer en

(1) L'air échauffé est entraîné vers les ouvertures d'un semblable vitrage, par la force d'une colonne d'air raréfié de 30 pieds de hauteur.

hiver, et ensuite je m'occuperai de leur ventilation d'été.

Supposons une église faite pour pouvoir contenir 1200 personnes, et dont le nombre moyen de celles qui s'y réunissent en hiver soit de 600. Supposons que sa capacité intérieure soit de 100,000 pieds; qu'il y ait 28 fenêtres offrant 1000 pieds de surface de vitrage, et qu'on veuille l'entretenir à 60° (12° R.), quand l'air extérieur est à 30° (1 au-dessous de 0 R.), c'est-à-dire à une température de 30° (13° R.), plus élevée que celle de l'air extérieur.

Dans ce cas, on trouvera, par la règle de l'article 68, que la perte de chaleur occasionnée par le vitrage sera de 1500 pieds cub.;

que la ventilation, pour
600 personnes, sera de. 2400

et que la perte d'air échauffé
par les ouvertures des 28 fe-
nêtres sera de 300

On aura donc, pour la quan-
tité d'air à chauffer par mi-
nute, en tout 4200 pieds cub.

La quantité de surface de tuyau à vapeur nécessaire pour produire cet effet, est de 428 pieds (voy. art. 44); et puisque l'église est de 100,000 pieds cubes, en divisant ce nombre par

4,200, quantité qu'il faut réchauffer, par minute, le quotient 24 sera le nombre de minutes que la chaudière devra être en pleine activité pour chauffer tout l'air contenu dans l'église.

De simples tuyaux à vapeur en fonte, et d'environ 4 pouces de diamètre, sont ceux qui conviennent le mieux dans ce cas-ci pour distribuer la chaleur. Ils doivent se placer d'après les convenances : il ne faut pas qu'ils s'élèvent beaucoup au-dessus du pavé; et presque toujours on peut, avec avantage, les faire passer au-dessous des bancs où l'on s'assoit.

Si l'on emploie des tuyaux de 4 pouces de diamètre, il en faudra autant de pieds en longueur qu'on a calculé qu'il en fallait de pieds en surface, attendu qu'un tuyau de 4 pouces n'a guère plus d'un pied de circonférence; et alors la chaudière devra contenir 37 pieds cubes de vapeur : c'est la quantité qu'on trouvera être nécessaire pour remplir la totalité des tuyaux (Table IV, art. 219). *Voy.* pl. VII.

138. La ventilation d'une église ou d'une chapelle, pendant l'été, est un objet important, quand ce ne serait que parce que tout malaise corporel rend l'esprit peu propre aux devoirs qu'on vient y remplir. Il faut avoir grand soin d'éviter les courans d'air froid auxquels une per-

sonne d'une constitution délicate peut être exposée par un système mal entendu de ventilation. Il serait bien malheureux, en effet, qu'une personne délicate se trouvât exposée, sans nécessité, à se rendre malade, en venant dans son temple adorer le Créateur. Je vais donc examiner avec une attention particulière les causes d'une mauvaise ventilation, et les moyens d'en diminuer les mauvais effets.

Quand l'air d'une église est plus chaud que l'air extérieur, si l'on ouvre, en partie, une de ses fenêtres latérales, à une certaine hauteur au-dessus du pavé, et qu'on en ouvre en même temps une autre du côté opposé, il s'établit un courant d'air, et l'air plus frais qui se trouve du côté ombragé est porté avec beaucoup de vitesse sur la tête des personnes placées à peu de distance du mur par lequel il entre. En ménageant l'ouverture de manière à ce que le courant qui entre se dirige vers le haut, on en diminue l'effet jusqu'à un certain point, parce qu'on l'écarte davantage; mais il n'en doit pas moins descendre, quoique avec moins de vitesse, sur la tête des personnes qui se trouvent au-dessous. De petites ouvertures pour faire entrer l'air frais ne peuvent servir qu'à en augmenter la vitesse, et, par conséquent, à le rendre plus dangereux, surtout lorsque celles par lesquelles l'air chaud s'échappe, sont grandes