le plus perfectionné qui existe comme propulseur ; il se prête à toutes les exigences réclamées par la ventilation proprement dite et, en outre, il permet d'obtenir depuis les pressions les plus faibles, utilisées lorsqu'il s'agit de la ventilation des édifices, des salles d'assemblée, jusqu'aux pressions les plus élevées qui peuvent être exigées dans les navires, les galeries d'avancement souterraines, les mines, les ateliers où se produisent des dégagements de poussière ou de vapeurs nuisibles à la santé.

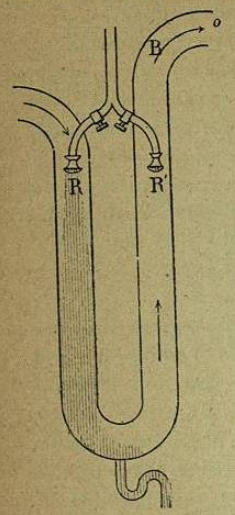

Fig. 28. — Ventilateur à eau en U.

b. *Ventilateur hélicoïdal.* — Le ventilateur hélicoïdal est établi avec cônes directeurs à l'entrée et à la sortie.

Le ventilateur hélicoïdal est appliqué à la ventilation des salles de réunion, des théâtres, des amphithéâtres, des locaux insalubres, laboratoires, etc., en un mot, de tous les lieux où il faut faire circuler de grands volumes d'air sous de faibles pressions.

Pour donner le mouvement aux ventilateurs, on emploie les moyens qui, dans chaque cas, conviennent le mieux ; transmissions par câbles, moteurs à vapeur, à eau, à air comprimé. La transmission électrique est appliquée dans plusieurs établissements publics (Hôtel de Ville, Ecole centrale, nouvelle Sorbonne et dans beaucoup d'établissements privés).

§ 4. — Chauffage

Le chauffage a pour but d'assurer dans nos abris une température supérieure à l'air ambiant.

A) — Échauffement en général

1° Milieu thermique. — Quels que soient les moyens physiologiques dont nous disposons pour maintenir notre température constante au milieu des variations thermiques du milieu, il est indispensable que, dans nos habitations, nous obtenions une température moyenne, ou tout au moins présentant de faibles écarts. Il nous faut lutter contre le froid et contre la chaleur. Quand on vit dehors, la température de l'air en mouvement et les radiations du sol et de ses reliefs exercent une certaine influence sur notre chaleur propre. L'air chaud ou froid cède ou prend au corps les calories qu'il apporte ou exporte par *convection*. Le sol et ses reliefs agissent de même par *radiation* réciproque. A l'air libre, l'influence de la première cause est dominante.

Mais quand on vit dans un espace confiné, dans une habitation, l'influence des parois acquiert une importance dominante. Les parois, en effet, sont beaucoup plus rapprochées de nous, elles nous entourent de toutes parts : plancher, murs, plafond, et l'on conçoit que toute variation de température en elles déterminera un échange de radiations caloriques positives ou négatives avec le corps. L'idéal, au point de vue du chauffage, serait une habitation qui n'emprunterait ni ne céderait aucune calorie à ses habitants. C'est là le type idéal d'un *intérieur thermique salubre* (E. Trélat).

Cette conception thermique du chauffage conduit à une déduction pratique : chauffer les appartements, non en élevant artificiellement et directement la température de l'air, mais en maintenant à une certaine température les parois. C'est à Trélat que nous devons cette conception rationnelle du meilleur mode de chauffage. Avant lui, suivant les idées de Péclet, on cherchait avant tout à chauffer l'air intérieur pour maintenir la température constante sans se préoccuper des parois.

2° Température optimum. — Une première question à résoudre est de connaître la température la plus favorable à la santé.

Il existe évidemment des dispositions particulières spéciales à chaque individu qui lui font rechercher une température donnée. Toutefois, on peut donner quelques indications générales.

Dans un cabinet de travail, une salle de cours, un salon, une salle à manger, c'est-à-dire dans les locaux où l'on reste immobile, la température de 16° est généralement suffisante. En Allemagne, les auteurs donnent 18 et 20°. Ces chiffres nous paraissent trop élevés, tout au moins pour les peuples de race latine, les races saxonnes et slaves étant beaucoup plus frileuses. Dans les ateliers, où les ouvriers s'agitent, se livrent à une dépense de mouvements, 10° suffisent. Quant aux chambres à coucher, le mieux croyons-nous est de supprimer tout chauffage pour les individus en bonne santé. Dans ces dernières pièces, le chauffage ne peut être réellement utile que s'il assure une meilleure ventilation. Il est bien entendu qu'il s'agit du chauffage continu, pendant le sommeil; au contraire, quand la pièce est humide, ou par les trop grands froids, un chauffage intermittent, portant la température à 12°, peut rendre des services.

Pour les chambres de malades, la température normale est fixée généralement à 18°. C'est là un chiffre maximum qu'il est utile de ne pas dépasser, 16° sont presque toujours préférables. Il est prouvé depuis longtemps que des températures inférieures ne sont nullement dangereuses; et les observations des médecins militaires pendant les campagnes de Crimée, de la guerre de Sécession, de France, montrent que les blessés et les malades ne souffrent réellement pas d'une température voisine de zéro.

Le grand inconvénient de maintenir une température trop élevée dans nos intérieurs est de nous rendre beaucoup plus susceptibles au refroidissement.

3° Répartition égale de la température. — Établir dans une pièce une température constante est souvent très difficile. Avec les cheminées ordinaires, chauffant par rayonnement, la région placée directement et à une faible distance du foyer a une température bien supérieure aux régions latérales ou éloignées, et les courants d'air intérieurs, déterminés par les inégalités mêmes des températures, ne suffisent pas pour assurer une égale répartition du calorique. Mais si la pièce est relativement restreinte, comme dans les appartements particuliers, cet

inconvénient est en réalité presque négligeable, et il est facile d'atténuer les effets d'un rayonnement excessif par un écran.

Dans les poêles, en faïence ou en fonte, si employés dans les pays du nord, l'inconvénient est déjà beaucoup moindre. Mais quand il s'agit de salles destinées à recevoir un certain nombre de personnes, et surtout s'il s'agit de pièces garnies de gradins, disposées en amphithéâtre, le problème se complique. L'air chaud ayant toujours une tendance à s'élever vers les parties supérieures.

4° Variations de l'état hygrométrique. — Nous avons insisté à propos de la vapeur d'eau atmosphérique sur l'importance, beaucoup plus grande en hygiène, que présente l'étude du *déficit de saturation* sur le degré hygrométrique. Ce qu'il importe, en effet, d'éviter, c'est l'exagération du pouvoir desséchant de l'air, qui agit non seulement sur notre organisme, mais encore sur tous les objets qui nous entourent.

Toute élévation de température d'une atmosphère confinée et sans évaporation d'eau doit nécessairement exagérer le déficit de saturation.

Ce déficit de saturation est déjà compensé, quoique faiblement, par l'exhalation aqueuse pulmonaire; quand un certain nombre de personnes sont réunies, la quantité de vapeur d'eau émise est déjà notable, néanmoins il est utile de mettre dans la pièce des récipients d'eau, qui, par leur évaporation lente, permet à l'air de maintenir un certain degré hygrométrique favorable (50 p. 100, soit 72° de l'hygromètre de Saussure).

Tous les appareils vaporisateurs préconisés sont une complication inutile, dangereuse même, car s'il est bon que l'air renferme une certaine quantité de vapeur d'eau, il faut aussi qu'il soit à un degré assez éloigné de la saturation, pour que, si la température vient à baisser, il ne se produise pas de condensation, et par suite des précipitations aqueuses sur les parois.

5° Produits gazeux de combustion. — Bien que Trélat veuille que l'on envisage séparément les deux problèmes de l'aération et du chauffage, il est impossible de séparer d'une façon

absolue ces deux problèmes, et l'éminent architecte que nous citons ne se montre si radical que pour réagir contre l'idée erronée de chauffer l'air des endroits habités.

Mais, si comme nous l'avons vu à propos de la ventilation, le chauffage est un puissant adjuvant de la ventilation ; si, bien compris, il assure le renouvellement et la purification de l'air, il peut, mal compris, devenir une source de contamination de l'air intérieur.

Les produits de la combustion sont principalement de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré, ces deux derniers se formant surtout avec le charbon de houille. Dans les systèmes de chauffage indirect, le foyer étant éloigné, il n'y a pas lieu de se préoccuper du dégagement de ces gaz dans les pièces chauffées ; mais il est de toute nécessité de veiller à la ventilation de la pièce même de chauffe. Les accidents déterminés sur les personnes chargées de l'entretien de ces appareils sont malheureusement assez fréquents.

Quand un appareil à chauffer direct, marche normalement, tous les produits de combustion doivent être entraînés nécessairement par la cheminée ; mais il peut se produire, soit par un vice de construction, soit pour des raisons passagères, un défaut de tirage et un renversement dans la direction du courant d'air ; les produits gazeux sont alors versés dans l'appartement. Les deux gaz dangereux sont principalement l'acide carbonique et l'oxyde de carbone.

Avec les cheminées à feu de bois ou même de charbon de terre, le danger est généralement peu réel. On est en effet prévenu du danger, parce que la cheminée fume, et, d'autre part, l'air arrivant toujours en quantité assez grande, il se produit peu d'oxyde de carbone ; mais surtout de l'acide carbonique moins délétère. Ce sont les poêles, et principalement les poêles dits à combustion lente, qui occasionnent les accidents d'intoxication.

Nous reviendrons plus loin sur les poêles mobiles ; mais nous nous bornerons ici à signaler le danger de l'oxyde de carbone. L'acide carbonique jouant un rôle effacé.

6° Oxyde de carbone. — Les travaux de Cl. Bernard ont montré le mécanisme spécial de l'intoxication par l'oxyde de carbone : la formation de la carboxyhémoglobine, amenant la perte fonctionnelle du globule rouge, incapable désormais de fixer l'oxygène et d'assurer l'hématose.

Théoriquement, la présence de l'oxyde de carbone, même en minime quantité, constitue un grand danger, puisque par la respiration, l'individu en faisant passer une certaine quantité de l'air du milieu, retient et accumule l'oxyde de carbone, en filtrant en quelque sorte cet air. Toutefois les recherches de Vogel tendent à montrer que l'action toxique de l'oxyde de carbone dépend aussi de la proportion d'oxygène dans l'atmosphère, que ce dernier empêche le passage de l'oxyde de carbone dans le sang.

L'opinion défendue par Grehant en France, par Zaleski en Allemagne, de la stabilité absolue de la carboxyhémoglobine est d'ailleurs combattue par Kreis, Gruber, de Saint-Martin, qui admettent la transformation possible de l'oxyde de carbone en acide carbonique dans le sang.

Quoiqu'il en soit, il est important de préciser la dose dangereuse de l'oxyde de carbone.

Uffelmann, Gruber et Hempel admettent que l'air respirable ne doit pas renfermer plus de 0,2 à 0,5 p. 1000 d'oxyde de carbone. C'est là un chiffre encore trop élevé, car dans les pièces habitées, il faut tenir compte de la durée de l'intoxication et de l'accumulation des produits toxiques dans le sang. En outre, les recherches de Marcacci ont montré que la mort survenait parfois, bien avant que la teneur en oxyde de carbone, fût suffisante pour amener l'asphyxie, par une syncope cardiaque réflexe : excitation inhibitrice des nerfs sensitifs ?

Pour reconnaître la présence de l'oxyde de carbone dans l'air, plusieurs procédés ont été proposés.

Les papiers réactifs au chlorure de palladium doivent être rejetés, ils ne donnent, en effet, la coloration brune caractéristique que lorsque l'air renferme déjà le chiffre excessif de 4 p. 100 du gaz toxique.

Les méthodes chimiques sont toutes trop compliquées pour

être pratiques : réduction de l'azotate d'argent ammoniacal (Berthelot), réduction de l'acide iodique pur à 250° (de la Harpe et Reverdin), etc.

L'emploi du grizoumètre de Coquillon, préconisé par Grehant, est au contraire très exact. On fait passer dans le grizoumètre (eudiomètre spécial) l'air suspect. On chauffe au rouge par un courant électrique un fil de palladium et on calcule, par la réduction du volume de l'air, la quantité d'oxyde de carbone.

En employant comme réactif l'organisme vivant, l'oiseau, Grehant est arrivé à reconnaître des quantités de $\frac{1}{10000}$ de carbone. Sans chercher à faire ces déterminations quantitatives, il suffit de laisser dans la pièce suspecte un moineau dans sa cage. Ces animaux sont très sensibles à l'oxyde de carbone, et une proportion de 0,5 p. 1000 suffit pour les tuer.

B) — Procédés de chauffage

Les procédés de chauffage peuvent se diviser en deux grands groupes : 1° le chauffage local ; 2° le chauffage central.

1° Chauffage local. — Dans le chauffage local, le foyer est placé dans la pièce même, il est représenté par trois types : le brasero, la cheminée, les poêles.

A. Brasero. — Le brasero est le type de chauffage primitif ; il n'est guère employé que dans les pays chauds, où l'on cherche surtout une action immédiate, *un air de feu* pour lutter plutôt contre l'humidité, que contre le froid véritable. A côté du brasero véritable, constitué par un panier de fer renfermant de la braise ou du charbon de bois, il faut mettre le foyer central où l'on brûle du bois et de la tourbe comme chez les tribus sauvages. Au point de vue de l'hygiène, le foyer central brûlant des matériaux produisant de la fumée est supérieur au brasero, en ce sens qu'il force nécessairement à une ventilation énergique, prévenant ainsi l'accumulation de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique. Ce sont là des procédés primitifs sur lesquels il est inutile d'insister.

B. Cheminée. — La cheminée est constituée par un foyer ouvert, surmonté d'un tuyau pour l'évacuation de la fumée et des produits de combustion.

C'est l'appareil de chauffage le plus simple, c'est aussi celui qui assure le mieux la ventilation, qui modifie le moins l'air intérieur de l'appartement. Elle n'a en réalité qu'un gros inconvénient : c'est son faible rendement en calorique ; 6 p. 100 avec le bois, 12 p. 100 avec le coke. La cheminée, en effet, ne chauffe que par rayonnement direct, et par suite n'assure pas une égale répartition de la température dans toute la pièce. C'est là un inconvénient sérieux, quand il s'agit d'un endroit où se trouvent immobilisés à leur place respective un certain nombre d'individus ; mais cet inconvénient disparaît dans les locaux particuliers, chambre, cabinet de travail, etc. Si la température n'est pas égale, il n'en est pas moins vrai que les murailles, les objets chauffés par rayonnement répartissent la chaleur, que l'air lui-même s'échauffe par convection, par suite du mouvement de ses molécules.

Les cheminées, quand le tirage est bon, déterminent une ventilation énergique, un appel d'air par tous les orifices. C'est là un inconvénient, s'il y a formation de courants d'air froid trop vifs et trop accentués, mais inconvénient qui peut être modéré et qui est d'ailleurs compensé par la ventilation même ainsi produite.

Les courants d'air froid peuvent être évités, en utilisant la chaleur développée dans le foyer et la cheminée, pour échauffer l'air pris dans les orifices extérieurs et destinés à la ventilation : cheminée à double enveloppe de Rubner et autres, tuyaux d'orgue en fonte placés derrière le foyer, etc. On augmente ainsi le rendement calorique des cheminées.

C. Poêles. — Les poêles sont constitués par des appareils de chauffage dont le foyer est clos et que l'on peut disposer au milieu de la salle. Par suite, la surface rayonnante est considérablement augmentée ; ils ont donc un rendement calorique supérieur à celui de la cheminée. Rendement que l'on peut encore augmenter en donnant aux tuyaux d'échappement un certain développement.

a. *Construction des poêles.* — Les poêles sont construits soit en briques ou faïences, soit en métal.

Les poêles en céramique, constitués par des enveloppes mauvaises conductrices, s'échauffent lentement, mais de même conservent cette chaleur plus longtemps et le rayonnement calorique subissant une certaine régulation n'offre pas les contrecoups des irrégularités dans l'activité du feu. Ils chauffent surtout par rayonnement.

Les poêles en métal, en fonte, presque toujours, grâce à la faible capacité calorique et à la conductibilité du métal s'échauffent rapidement, mais cessent de rayonner également vite, quand le feu tombe. La température de la surface extérieure étant beaucoup plus chaude que celle des premiers, ils chauffent par rayonnement et par contact.

Les poêles de fonte sont des appareils très économiques, peu coûteux d'achat et d'entretien. Le grand grief invoqué spécialement contre eux est qu'ils laisseraient passer à travers leur paroi de l'oxyde de carbone.

Cette accusation est plus théorique que réelle, la diffusion ne se produisant en quantité appréciable que lorsque le poêle a été porté au rouge.

Les règles suivantes données par Coulier sont applicables aux deux espèces de poêles.

1° Le cendrier doit avoir une porte pouvant fermer hermétiquement. C'est elle, et non la clef placée en aval du foyer sur le tuyau, qui doit régler le tirage. Son obturation, au lieu d'être un danger, comme l'est à un si haut degré la fermeture du tuyau d'évacuation, est au contraire une garantie contre le reflux des produits de combustion dans la pièce;

2° La clef doit être supprimée ; si on la conserve, le diaphragme doit être échancré de façon à ne pouvoir jamais obturer complètement le tuyau ;

3° La partie supérieure du foyer sera complètement ouverte pour l'introduction du combustible, et elle recevra, lorsque le poêle est allumé, une chaudière en cuivre ou en fer, à fond plat, s'adaptant exactement à l'orifice et pouvant contenir 5 à 6 litres d'eau à évaporer. Le foyer n'aura pas de porte latérale ;

4° Le tuyau devra partir de la partie la plus élevée du foyer et présenter à sa sortie une inclinaison de 45 centimètres de façon à ce qu'il ne puisse être obstrué par les cendres ou les escarbilles.

b. *Poêles à double enveloppe.* — En entourant les poêles d'une double enveloppe formant un espace annulaire dans lequel l'air vient s'échauffer, on a pu réaliser d'heureuses modifications : le rayonnement direct est amoindri, la chaleur, plus également répartie par l'air échauffé qui se répand à la partie supérieure du poêle. En amenant l'air extérieur dans les parties basses de l'espace annulaire, on contribue à la ventilation de la pièce, comme dans les cheminées ventilatrices. Enfin, on détermine la sortie de l'air vicié en plaçant le tuyau du poêle dans une gaine qui fait une cheminée d'appel pour rejeter l'air impur à l'extérieur.

c. *Poêles à combustion lente.* — Ces appareils visent avant tout l'économie de combustibles; ils sont construits en outre pour pouvoir être transportés facilement d'une pièce dans l'autre, d'où leur nom de poêles mobiles. Mais il est important de signaler que si leur mobilité même constitue un danger, ils restent encore dangereux, quand ils sont à demeure dans une cheminée. Le type le plus usité se compose essentiellement d'un cylindre à double enveloppe muni d'un conduit pour l'évacuation des produits de combustion placé à la partie inférieure. L'orifice supérieur par lequel se charge le poêle est muni d'un couvercle devant fermer hermétiquement en s'enfonçant dans une rainure garnie de sable fin. Une fois le poêle allumé au moyen de quelques charbons incandescents placés à la partie inférieure, on introduit le combustible, coke, anthracite, en menus fragments dans le cylindre intérieur, et l'on replace le couvercle. L'air pénètre par la partie inférieure, traverse la colonne de combustible, puis redescend en entraînant les produits de combustion dans l'enveloppe extérieure et s'échappe ensuite par le tuyau de fumée. Il y a donc tirage ascendant d'abord, puis descendant, ce qui le rend peu actif, et ralentit par suite la combustion.

L'acide carbonique, qui se forme à la partie inférieure du