par la respiration des individus qui y séjournent et par les produits de combustion et d'éclairage.

**Air confiné.** — Lorsque, pour une cause ou pour une autre, l'air ne se renouvelle pas ou se renouvelle insuffisamment dans un espace clos où respirent un certain nombre d'individus, il ne tarde pas à se produire chez ceux-ci des accidents plus ou moins graves. C'est d'abord un sentiment de malaise général, de la difficulté à respirer, de la céphalalgie, des vertiges, parfois des syncopes. Si les individus continuent à séjourner dans cette atmosphère viciée, les symptômes deviennent plus graves. La gêne de la respiration s'accentue et devient une véritable dyspnée. La soif est vive, les sueurs abondantes ; les sens s'obnubilent, le malade, quelquefois après une période de délire, perd connaissance et la mort arrive dans le coma. Ce sont là des symptômes que rappellent tout à fait ceux de l'asphyxie.

De nombreux faits enregistrés par l'histoire témoignent des terribles effets que peut occasionner le défaut du renouvellement de l'air dans les espaces clos. A Calcutta, 146 prisonniers renfermés dans une casemate succombèrent presque tous avec les symptômes de l'asphyxie. Des accidents analogues se produisirent après Austerlitz sur des prisonniers russes gardés dans une cave.

De pareilles catastrophes, dont il serait facile de citer d'autres exemples, sont heureusement rares et exceptionnelles, et le plus habituellement c'est à des malaises en général sans gravité, céphalalgie, nausées, gêne respiratoire, vertiges, parfois même perte de connaissance que se bornent les troubles morbides.

Mais ce ne sont pas là les seuls effets d'un air insuffisamment renouvelé. Le séjour habituel dans une pareille atmosphère a des conséquences lointaines, chroniques, beaucoup plus sérieuses. On sait quel rôle joue l'encombrement, au moins à titre de cause prédisposante, dans le développement d'une foule d'états morbides. Sans doute la viciation de l'air par la respiration humaine n'est pas le seul élément nuisible de cet ensemble de conditions qu'on désigne sous ce nom ; il y a aussi intervention d'autres facteurs, malpropreté du corps et des vêtements, promiscuités suspectes, mais le séjour dans une atmosphère souillée est certainement une des causes les plus puissantes de la dépression de l'organisme que prépare si bien le terrain pour l'éclosion des maladies infectieuses.



*Causes et nature de la nocuité de l'air confiné.* — Si tous les hygiénistes s'accordent sur les effets délétères de l'air confiné, nous sommes moins avancés sur les causes de sa nocuité.

Trois faits caractérisent la viciation de l'air des espaces clos par la respiration humaine : diminution de l'oxygène, augmentation de l'acide carbonique et dégagement des produits organiques de l'expiration.

La diminution d'oxygène est sans doute sensible, mais elle atteint rarement des proportions qui puissent apporter des troubles sérieux à l'hématose. Supposons en effet, un individu séjournant 10 heures dans un espace absolument clos de 10 mètres dont l'air ne peut se renouveler, condition qui ne se réalise jamais dans la pratique ; il n'aura appauvri au bout de ce temps l'air de cet espace que de 1 p. 100 d'oxygène. Leblanc, en analysant l'atmosphère d'un amphithéâtre de cours de 1000 mètres cubes où 1000 auditeurs étaient restés une heure,

ment, si l'air ne se renouvelle pas, un moment où la viciation de l'atmosphère dépasse la limite que l'économie peut tolérer. D'ailleurs des considérations économiques et la difficulté de réchauffer les grandes masses d'air empêchent d'étendre indéfiniment les dimensions des habitations. Il est donc indispensable d'assurer le renouvellement de l'air de toute pièce habitée. De même que pour le cube d'air attribué à chaque individu, les hygiénistes, suivant le point de vue auquel ils se sont placés, ont fixé des chiffres très différents au sujet de la quantité d'air du dehors qui doit entrer dans un espace clos par heure et par individu pour maintenir l'atmosphère à un degré de pureté suffisante.

| | |
|---|---|
| Péclet évalue cette quantité à | 7 à 9 m. c. |
| Le général Morin..... | 15 m. c. |
| Hudelo..... | 30 m. c. |
| Watzon ..... | 40 m. c. pour un adulte.<br>30 m. c. pour un enfant. |

D'après Layet, cette quantité ne saurait être fixe, mais elle doit varier suivant la grandeur du local à ventiler.

Rubner prend pour base du tarif de la ventilation, la limite de viciation tolérée et se sert pour déterminer ce tarif de la formule :

$$X = \frac{K}{p - q}.$$

X étant le tarif cherché, K la quantité d'acide carbonique produite par individu et par heure, p, la limite de tolérance de viciation de l'air représentée par la proportion de $CO^2$ tolérée et q, la quantité de $CO^2$ existant normalement dans l'air.



Avec cette formule, il arrive aux résultats suivants :

| Lim. de tolérance de $CO^2$ | Qant. d'air par heure et par indiv. |
|---|---|
| 0,6 p. 100..... | 226 m. c. |
| 0,7 » ..... | 113 m. c. |
| 0,8 » ..... | 75 m. c. |
| 0,9 » ..... | 55 m. c. |
| 1,0 » ..... | 45 m. c. |

On ne tient compte dans ce tableau d'aucune des autres sources d'altération de l'air, produits de combustion et d'éclairage, et c'est exclusivement la viciation par la respiration humaine que l'on a en vue.

Ces chiffres et ces formules, quelque intéressants qu'ils soient théoriquement, ne doivent être considérés que comme des indications générales, des moyennes auxquelles on ne saurait dans la pratique attribuer une valeur absolue, trop d'éléments pouvant faire varier les besoins de la ventilation. En tous cas il y a toujours avantage, comme pour le cubage de place, à exagérer en plus et à dépasser la quantité d'air reconnue nécessaire plutôt qu'à rester au-dessous.

*Ventilation naturelle.* — Quelle que soit la perfection avec laquelle sont construites nos demeures, elles ne sont jamais hermétiquement closes. Leur atmosphère intérieure est toujours en communication avec l'atmosphère extérieure, et par suite de la différence de température des deux atmosphères, de la pression des vents du dehors, il s'établit des courants et des échanges incessants entre eux. C'est à ces courants qu'on a donné le nom de ventilation naturelle.

Le moyen le plus simple et en même temps le plus

efficace de renouveler l'air d'une pièce est l'ouverture des croisées. Avec un vent de 1 mètre par seconde, c'est-à-dire peu sensible, il entre par deux croisées de 4 mètres de surface se faisant face 14,400 mètres cubes d'air par heure. Si les croisées sont sur un seul côté, cette quantité est réduite des 2/3 environ et n'est plus que de 4.000 mètres. On comprend d'après cela l'avantage qu'il y a à établir pour les habitations collectives, hôpitaux, casernes, où un abondant et rapide renouvellement d'air est si nécessaire, des croisées sur les deux façades opposées. S'il y a peut-être quelque exagération à laisser ouvertes nuit et jour les croisées des chambres habitées par les tuberculeux, comme le conseillent quelques médecins, on ne saurait user trop largement de ce puissant moyen d'aération pour tous les locaux habités en général, et plus particulièrement pour les locaux destinés aux malades, tout au moins pendant l'absence de ceux-ci.

Nos habitudes, non moins que les fréquentes vicissitudes des climats de nos régions, ne nous permettent de considérer au point de vue de la ventilation l'ouverture des croisées que comme une ressource précaire, intermittente, sur laquelle on ne peut guère compter au moment où elle serait le plus nécessaire, c'est-à-dire pendant la nuit. D'ailleurs l'aération par fenêtre n'est effective que tant qu'il existe une différence de température entre les deux airs. Quand l'air intérieur s'est mis en équilibre de température avec l'air extérieur, l'échange est à peu près nul quand l'atmosphère est calme. Il faut donc assurer le renouvellement de l'air par d'autres moyens, moins puissants peut-être, mais susceptibles d'agir en tous temps.



Les joints des portes et des fenêtres, quelque parfaits qu'ils soient, laissent toujours passer une certaine quantité d'air, surtout lorsqu'il existe une différence de température assez notable entre l'air intérieur et l'air du dehors.

La ventilation qui se fait par cette voie a été évaluée *grosso modo* au double du cube de la pièce dans les 24 heures ; mais trop souvent elle se produit sous forme de courants d'air fort pénibles à supporter, pour les gens impressionnables particulièrement, et, quelque service qu'elle puisse rendre au point de vue du renouvellement de l'air, elle est en général considérée comme un vice plutôt que comme une qualité de l'habitation.

Il n'en est pas de même de la ventilation par les tuyaux de cheminée. C'est là un des plus précieux agents de la ventilation naturelle.

1 kilog. de bois entraîne en effet en brûlant 100 mètres cubes d'air (Morin).

D'après Fodor :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Une cheminée au rez-de-chaussée, évacue | par h. | 750 m. c. | d'air. |
| au 1er ..... | — | 663 m. c. | » |
| au 2e ..... | — | 575 m. c. | » |
| au 3e ..... | — | 432 m. c. | » |

Même en été lorsqu'elle n'est pas allumée, la cheminée est encore un puissant moyen de ventilation. La partie du tuyau qui est au-dessus du toit, échauffée par les rayons solaires, aspire l'air intérieur, ainsi que l'a observé Franklin le premier. Avec une différence de température de 12° entre l'air intérieur et l'air du dehors, l'évacuation pourra atteindre 400 mètres cubes à l'heure. Le courant sera d'ailleurs dans les tuyaux non allumés tantôt ascendant, tantôt descendant, suivant

que l'air extérieur sera plus chaud ou plus froid que l'atmosphère libre.

L'un des grands inconvénients des cheminées comme agent de ventilation est que la quantité d'air qui peut pénétrer par les voies ordinaires de la ventilation naturelle, fissures et joints des portes et fenêtres, perméabilité des murs etc., etc., n'est pas en rapport avec le débit d'évacuation des cheminées ; d'où nécessité de suppléer par la vitesse à l'insuffisance de l'apport, ce qui donne lieu à de violents courants d'air. Il est donc indispensable pour établir une bonne ventilation d'assurer des voies d'entrées spéciales à l'air du dehors.

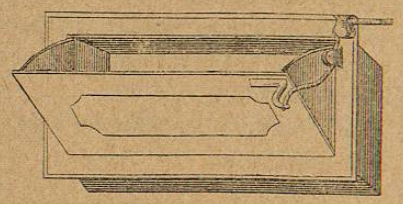

Fig. 4. — Ventilateur SHERRINGHAM [*Annales d'Hygiène*].

Ces bouches de ventilation présentent les dispositions les plus variées. Souvent situées à la partie supérieure des croisées, au niveau de l'imposte, d'autres fois à la partie inférieure des murs, le long des plinthes, ou même sur le plancher, elles consistent tantôt en des châssis mobiles s'ouvrant, à volonté et ayant l'ouverture tournée vers le haut, tantôt en des vitres à lames superposées et inclinées comme les lames de bois des persiennes, tantôt enfin en de simples orifices arrondis munis de grilles à mailles fines et d'obturateurs à registre permettant de graduer à volonté la vitesse du



courant. Parmi les modèles les plus employés, nous citerons le ventilateur Sherringham, la valve Arnott, etc., etc.

Tout récemment, sur les indications de Trélat, MM. Appert frères ont fabriqué des vitres perçées de nombreuses ouvertures de forme conique, à base tournée vers l'intérieur, de façon à faire étaler en large nappe

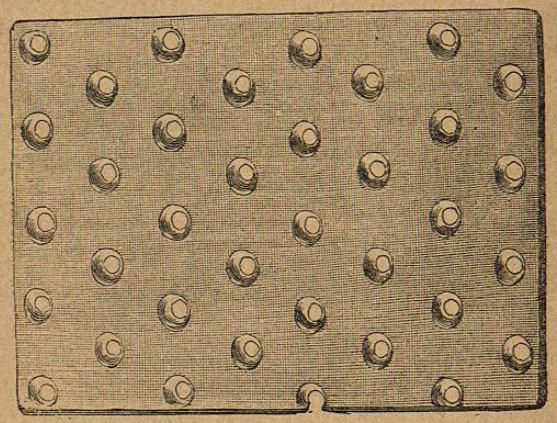

Fig. 5. — Vitres perforées (5000 trous au mètre carré) (1).

le courant d'air qui entre par ces orifices et à le rendre insensible. Ce système appliqué à plusieurs des nouvelles constructions, au lycée Janson, à Passy, entre autres, paraît donner des résultats satisfaisants. La ventilation est même parfois trop active lorsque le vent est un peu fort et pour éviter les courants d'air froid, il est bon de les munir de registres pleins pouvant obturer les orifices en cas de besoin.

(1) Nous devons la communication de ce cliché à l'amabilité de notre camarade M. Léon Appert. (N. de l'Ed.)

Les cages d'escaliers qui parcourent verticalement la maison du rez-de-chaussée à la toiture et qui sont souvent éclairées par une toiture de verre s'échauffant rapidement, forment aussi, en vertu des mêmes principes, de véritables gaînes de ventilation pour l'habitation.

Mentionnons encore la porosité et la perméabilité à l'air des murailles des habitations dont l'importance et les avantages sont, nous l'avons vu plus haut, fort contestés.

*Ventilation artificielle.* — Pour les demeures privées habitées ordinairement par un nombre restreint d'individus et où par suite les dangers de l'agglomération et de l'encombrement ne sont point à craindre, la ventilation naturelle complétée par les quelques dispositifs dont nous avons parlé est en général très suffisante. C'est la plus simple, la plus économique, celle qui fonctionne le plus régulièrement.

Il n'en est pas de même pour les locaux appelés à recevoir un grand nombre d'individus, salles de réunion, de cours, théâtres, et ceux destinés à abriter des malades atteints souvent d'affections transmissibles. Dans ces cas une ventilation aussi active que possible, introduisant dans l'unité de temps un volume considérable d'air est indispensable, et il faut avoir recours à des procédés artificiels. Les systèmes en usage peuvent se classer en deux groupes : le système de ventilation par appel et le système de ventilation mécanique.

**A. Ventilation par appel.** — Les divers systèmes de ventilation par appel sont basés sur les mêmes principes que la ventilation naturelle ; ils lui empruntent ses moyens d'action, différence de température et force du vent. Le procédé, quelle que soit la variété infinie des



appareils employés, consiste essentiellement à déterminer une raréfaction de l'air intérieur, de façon à y faire affluer l'air pur qui vient du dehors. C'est en somme la ventilation naturelle perfectionnée et complétée ; aussi Bertin-Sans, lui donne-t-il le nom de ventilation naturelle physique.

*Appareils fondés sur la différence de température.* — Les appareils qui ont pour principe d'action la différence de température des deux atmosphères sont presque toujours en même temps des appareils de chauffage, et c'est même un des reproches que leur adressent certains hygiénistes.

Le plus simple de ces appareils et celui qui peut servir de type est la cheminée dont nous avons déjà parlé. Mais l'évacuation de l'air par cette voie n'est pas sans présenter quelques inconvénients, ne serait-ce que la possibilité de voir, par suite d'interversion des courants, cet air rejeté dans la pièce avec les produits de combustion. Aussi, tout en utilisant la chaleur développée par le foyer, sépare-t-on dans la plupart des appareils usités aujourd'hui le conduit d'évacuation de l'air du conduit où passent les produits de combustion en établissant deux gaînes concentriques, l'une dans laquelle circule la fumée, l'autre par laquelle l'air vicié sort. C'est le système adopté dans la cheminée Douglas Galton et les innombrables types qui en sont dérivés, ainsi que dans le modèle de poêle construit par Geneste et Herscher pour les écoles de la ville de Paris, etc., sur lesquels nous aurons occasion de revenir en étudiant les appareils de chauffage.

Un grave défaut de ce système de ventilation et de tous les systèmes en général basés sur la différence de

température est de ne bien fonctionner que lorsque les foyers ou les appareils de chauffage sont allumés, c'est-à-dire pendant une partie de l'année seulement. Rubner évalue au 9e seulement de la moyenne annuelle l'activité de la ventilation naturelle pendant l'été. Aussi a-t-on cherché à remédier à ce grave inconvénient en plaçant sur le trajet du canal d'évacuation de l'air un foyer de chaleur quelconque. Un simple bec de gaz entraîne 2500 mètres cubes d'air par mètre cube de gaz consommé. C'est donc là un puissant moyen de venti-

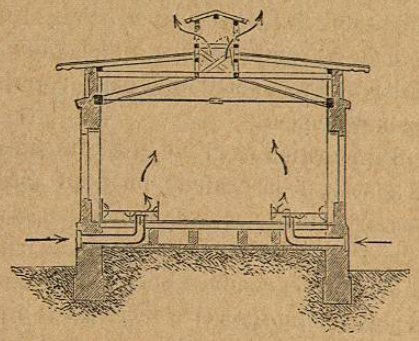

Fig. 6. — Ventilation par appel [d'après Rubner].

lation qui peut être utilisé dans bien des circonstances. A défaut de bec de gaz, dans les chambres de malades par exemple, lorsque la température ne permet pas d'avoir du feu, une simple veilleuse allumée dans la cheminée suffira à déterminer un énergique appel d'air.

Par cela même qu'elle se rapproche par ses procédés de la ventilation naturelle, la ventilation par appel plus ou moins méthodiquement appliquée est celle d'un grand nombre d'édifices publics. La plupart des théâtres



dont la construction remonte à plusieurs années n'ont d'autres moyens de ventilation que la coupole du plafond donnant passage au lustre. C'est par cette coupole surmontée d'une lanterne de faîtage que s'évacue l'air vicié qui s'accumule dans les parties supérieures de la salle. Quant à l'air du dehors, on ne s'est guère préoccupé de lui assurer des orifices d'entrée spéciaux, et ce sont les nombreuses portes des loges, galeries, orchestre qui sont chargées de lui donner accès, au grand détriment des spectateurs qui se trouvent sur le trajet des courants d'air froid parfois insupportables.

Daus les salles plus récemment construites, on a souvent associé la ventilation par appel pour l'évacuation de l'air altéré à la ventilation par propulsion pour l'air de renouvellement.

En fait d'application en grand et à tout un édifice du système d'appel par la chaleur, on peut citer comme type l'appareil installé par Duvoir et Leblanc dans l'aile gauche de l'hôpital Lariboisière. L'air frais pénètre dans les salles par des conduits horizontaux s'ouvrant au niveau du plancher, après s'être échauffé en hiver au contact de tuyaux et de poêles d'eau chaude. Quant à l'air vicié, il sort par des conduits ménagés dans l'épaisseur des murs et se rend dans une chambre établie dans les combles où un poêle à eau chaude détermine un puissant appel ; de là il est rejeté dans l'atmosphère extérieure par une cheminée qui s'élève au-dessus des toits.

Un autre procédé de ventilation fondé aussi sur la différence de température est celui qui consiste à faire communiquer la pièce à ventiler avec l'air extérieur par deux conduits d'inégale longueur et s'ouvrant à l'air libre à des niveaux différents. Une expérience très sim-

a trouvé que l'oxygène n'avait diminué en effet que dans ces proportions. Or, les expériences de P. Bert et les observations faites à de hautes altitudes ont prouvé que l'homme pouvait très bien vivre dans des atmosphères ne contenant que 15 p. 100 d'oxygène.

Il en est de même pour l'augmentation de l'acide carbonique. Un adulte élimine en une heure environ 22,6 litres de ce gaz. Au bout d'une heure, la proportion qui est normalement de 4 à 5 p. 10.000 sera de 27.6, soit 2,76 p. 1.000. Or les recherches de Cl. Bernard et de Pettenkofer montrent qu'à cette dose l'acide carbonique n'est point toxique et qu'hommes et animaux peuvent séjourner sans troubles bien manifestes dans une atmosphère en contenant 1 p. 100, soit 10 p. 1000.

Restent les produits de l'expiration autres que $CO^2$ et la vapeur d'eau, produits de nature organique, peu connus, encore mal définis. Les récentes recherches de Brown-Séquard et d'Arsonval semblent prouver que ces produits seraient doués d'une assez grande toxicité. En injectant le liquide où ils se sont condensés, ces observateurs auraient provoqué chez les animaux des accidents rappelant ceux déterminés par les ptomaïnes. Ajoutons toutefois que ceux que les expériences de Dastre et Loye à Paris, Russo Giliberti et Alessi, à Palerme n'ont pas confirmé ces résultats et que les animaux soumis par eux à l'action de ces produits n'ont éprouvé aucun trouble.

La question n'est donc point encore définitivement jugée.

*Mesure de la viciation de l'air des habitations.* — Bien que, d'après ce que nous venons de dire, on ignore encore les vrais facteurs de la nocuité de l'air confiné



et que l'acide carbonique ne paraisse jouer à ce point de vue qu'un rôle accessoire, néanmoins la proportion de ce gaz parait être en rapports assez intimes avec le degré de souillure de l'atmosphère des habitations et par suite c'est cette proportion qui a été prise pour mesure de la viciation.

Pettenkofer considère comme impur et irrespirable l'air dans lequel la proportion de $CO^2$ atteint 1 p. 1000. De Chaumont fixe cette limite à 0,7 p. 1000. Wiel et Guehm, d'accord avec Bertin Sans, pensent qu'on doit regarder comme suspect l'atmosphère des espaces clos, dès que la quantité de $CO^2$ dépasse de 0,1 à 0, 2 p. 100 la proportion normale qui est comme on sait de 0,5 p. 1000.

Il ne faut pas oublier que l'élévation du taux de l'acide carbonique est exclusivement due aux effets de la respiration, et que d'autres causes, transpiration cutanée, malpropreté du corps et des vêtements peuvent contribuer dans certains cas à accroître notablement cette souillure, sans que la proportion de $CO^2$ en soit sensiblement modifiée.

Le chauffage et l'éclairage par les produits gazeux de combustion qu'ils dégagent dans l'atmosphère, sont aussi des causes d'altération de l'air de nos demeures ; mais l'étude de ces produits sera mieux à sa place lorsque nous étudierons ces deux opérations.

**Moyens de prévenir la viciation de l'air des espaces clos.** — Deux moyens s'offrent à nous de prévenir la viciation de l'air ; d'une part fournir à chaque individu un volume d'air proportionnel au temps pendant lequel il doit séjourner dans cet espace, d'autre part assurer le remplacement de l'air vicié par de l'air

pur venu du dehors, au moyen d'une bonne ventilation.

*Cubage d'air.* — Plus la quantité d'air pur dans lequel se diffuse l'air souillé est considérable, plus il faudra de temps pour que l'altération de la masse totale atteigne la limite au delà de laquelle elle est nuisible à l'organisme. Supposons un espace de 40 mètres cubes dans lequel respire un individu : la quantité d'acide carbonique aura été portée au bout d'une heure de 20 litres à 42 litres, ou en d'autres termes de 0,5 à 1 p. 1000. Si le cube est doublé, soit 80 mètres cubes, comme la quantité absolue d'acide carbonique éliminée est la même, l'altération ne sera plus que de 0,78 pour 1000. On voit donc l'avantage des vastes pièces à ce point de vue.

*Rapport du cube d'air des habitations au nombre d'habitants. Cubage de place.* — La détermination du cube d'air par tête à donner à une habitation ou à une pièce est un problème qui se pose souvent dans la pratique, surtout pour les habitations collectives, et sa solution en est forcément un peu arbitraire, car le cube d'air doit être proportionné aux besoins, qui varient dans une large mesure suivant la destination de l'habitation, le nombre et la condition des habitants, leur état de santé, le temps qu'ils doivent séjourner, le plus ou moins de facilité de ventilation etc., etc. D'où une très grande divergence dans les chiffres fixés par les divers auteurs. Wiel et Guehm réclament un *minimum* de 25 mètres cubes par heure et par individu et une *moyenne* de 45 mètres cubes, soit, pour une pièce où les habitants doivent séjourner 8 heures, durée habituelle du sommeil, 168 et 360 mètres cubes, ce qui semble un peu excessif et difficile à réaliser dans la pratique.



Rubner fixe le cube d'air au tiers environ du tarif de ventilation, et à la moitié pour les hôpitaux.

D'une façon générale on peut poser en principe qu'on ne saurait être trop large dans la fixation du cubage de place, et que pour avoir assez d'air il faut en avoir trop, surtout dans les habitations destinées à une agglomération d'individus et dont les exigences, au point de vue de la salubrité, sont bien plus grandes que les habitations privées où ne vivent qu'un petit nombre de personnes.

Peut-être ne s'est-on pas toujours inspiré de ces principes dans les tarifs de cubage de place adoptés officiellement pour certaines de ces habitations collectives, ainsi qu'on pourra en juger par le tableau suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Casernes. France, Infanterie. | 12$^{mc}$ » | par homme. |
| » » Cavalerie.... | 13$^{mc}$ » | » |
| » » Syst. Tollet. | 18$^{mc}$ » | » |
| » Angleterre..... | 17 à 18$^{mc}$ | » |
| » Prusse..... | 13 à 15$^{mc}$ » | » |
| » Autriche..... | 15$^{mc}$ 3 | » |
| Hôpitaux parisiens (moyenne). | 43$^{mc}$ | » |
| Hôtel-Dieu (nouveau)..... | 60$^{mc}$ | » |
| Hôpital militaire de Bourges.. | 48$^{mc}$ | » |
| Hôpital Saint-Eloy de Montpellier ..... | 55$^{mc}$ | » |
| Hôpitaux militaires prussiens Régl. 1868..... | 37$^{mc}$ | » |
| Hôpitaux militaires anglais... | 33$^{mc}$ | » |
| Cellules pour 5 à 11 détenus.. | 11 à 12$^{mc}$ | » |
| Grands théâtres supposés pleins. | 10 à 12$^{mc}$ | » |

**Nécessité de la ventilation. — Tarif de ventilation.** — Quelque vaste que soit l'espace consacré à l'habitation, quelque considérable que soit le volume d'air attribué à chaque habitant, il arrive nécessaire-