


 académie Nancy-Metz MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE 	TECHNIQUE DU FROID ET DU CONDITIONNEMENT DE L'AIR		 Lycée des Métiers Gustave Eiffel académie Nancy-Metz 
	Tâche T4.2 : Mise en service des installations Compétence C1.2 : Classer, interpréter, analyser		
	Thème : S5 : Technologie des installations frigorifiques Séquence : S5.3 : Systèmes de conditionnement de l'air		
Séance : Les équipements de la centrale de traitement de l'air		Date :	

Objectif de la séance :

.....

.....

.....

1. Les silencieux acoustiques.

Antérieurement aux années 1960, la réduction des bruits dans les réseaux aérauliques, s'effectuait par :

- Chambres d'absorption tapissée de matériaux absorbants phoniques, peu efficace en basses fréquences et créant de fortes pertes de charge.
- Atténuateurs à interférence, trop sélectifs sur les bandes de fréquence.

Les ventilateurs génèrent des sons sur toutes les octaves, mais principalement entre **60 et 250Hz**.

Des silencieux *dissipatifs* très efficaces dans ces bandes de fréquence sont apparus :

- Silencieux à baffles
- Silencieux circulaires

D'autre part depuis quelques années, a été mis au point, grâce au progrès de l'électronique, le *générateur de contre bruit actif* qui annihile complètement les bruits de ventilateurs dans les réseaux aérauliques.

1.1. Les silencieux à baffles.

Ils sont constitués de cadres métalliques remplis d'absorbant phonique, installés en série dans le flux d'air.

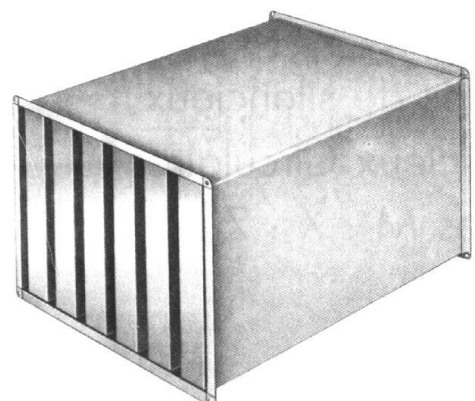
Les absorbants sont constitués de fibre de verre (\varnothing 10 à 15 μ m), noyées dans un liant phénolique pour éviter les problèmes de *défibrage*.

Si le silencieux est monté sur un réseau de reprise, utilisé pour le désenfumage, les baffles sont insérées dans des tôles perforées.

Si le réseau est susceptible de véhiculer des atmosphères corrosives, tôles et cadre sont en acier galvanisé.

Des sifflements d'origine aérodynamique dans les espaces inter baffles seront évités en respectant les vitesses d'air limites :

- 7 à 8m/s dans les réseaux hautes vitesses (systèmes à débit variable, induction, double conduit de soufflage).
- 3 à 4m/s dans les réseaux basses vitesses (systèmes à débit constant).



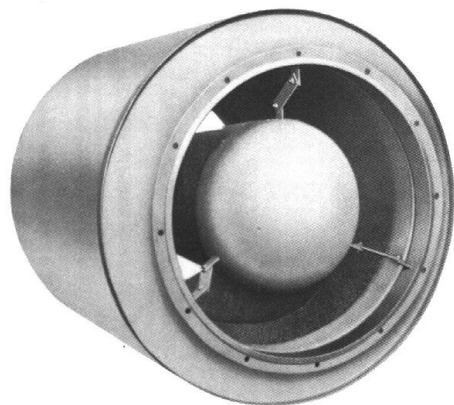
1.2. Les silencieux circulaires.

Ces silencieux possèdent soit un noyau central absorbant, soit une couche périphérique absorbante.

Leur atténuation est meilleure dans les fréquences médium.

On les utilise plus généralement dans les réseaux de VMC.

Leur atténuation maximale à 1000hz s'échelonne entre 15 et 30dB.



1.3. Les silencieux actifs.

Ces équipements récents (1995), disposent d'un microphone, relié à un système électronique d'analyse du signal acoustique.

Ils émettent un *bruit contraire* (harmoniques déphasées) dans les basses fréquences qui annihile les octaves les plus gênantes, et un absorbant périphérique pour les fréquences médium et aiguës.

Leur encombrement est réduit, les pertes de charge sont faibles et ils sont auto adaptatifs, donc particulièrement intéressants pour les systèmes à débit variable et hautes vitesses (*de 0 à 15m/s*).

Seul leur prix (*5 à 10kF pour des diamètres de 125 à 1250mm*) reste un frein à leur développement.



2. Les batteries de chauffage.

2.1. Les batteries à eau chaude.

Ce sont des échangeurs *air / eau* à courants croisés, monté en général *en parallèle* pour une meilleure protection antigel (*l'air froid attaque le rideau de tubes le moins chaud*).

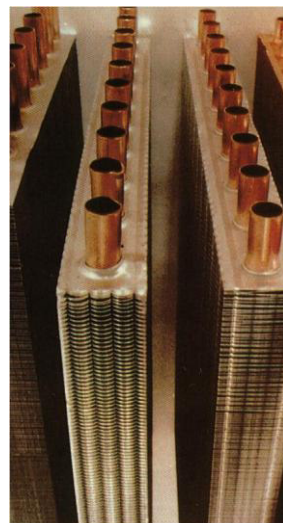
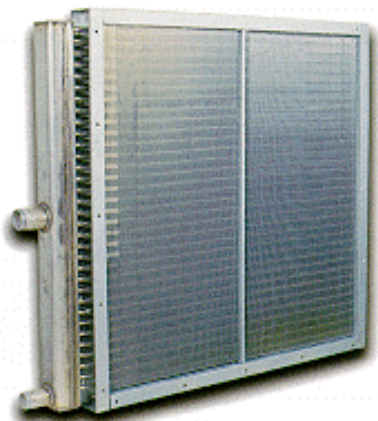
Leur coefficient d'échange varie entre 15 et $80\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ pour des puissances s'étageant entre $0,7$ et 3000kW .



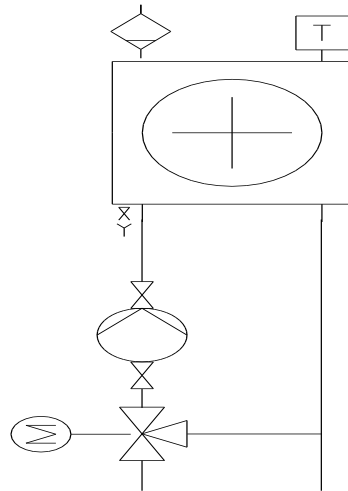
Les batteries sont alimentées en eau sous des pressions de $0,5$ à 10bars pour des vitesses de $0,5$ à 2m/s . La vitesse frontale de l'air doit être comprise entre 1 et 6m/s .

Elles sont constituées de un ou plusieurs rangs de tubes *cuivre 5/8"*, soudés sur des collecteurs aller et retour. Ceux-ci sont disposés en vis à vis (*tube simple passe*), ou côte à côte (*tube en U double passe*).

Les tubes cuivre sont munis d'*ailettes* en aluminium embouti, de formes diverses, d'épaisseur $0,2$ à $0,5\text{mm}$, espacées de 2 à 6mm .



Les batteries à eau chaude doivent être équipées d'un purgeur d'air au point haut de l'un des collecteurs, et d'un thermostat antigel à deux seuils, dont la sonde est placée sur le dernier ou avant dernier rang de l'échangeur. Elles sont réglées classiquement par *variation de température* au moyen d'une vanne trois voies à soupape, montée en mélange.



2.2. Les batteries à vapeur.

Ce sont des échangeurs *vapeur / air à changement de phase* (condensation de la vapeur d'eau).

Ils comprennent deux zones d'échange :

- Vapeur / air où la température est constante.
- Vapeur / film de condensats en ruissellement / air.

La totalité du débit massique de vapeur doit se condenser, et selon la température des condensats en sortie de la batterie, il peut être intéressant de les revaporiser.

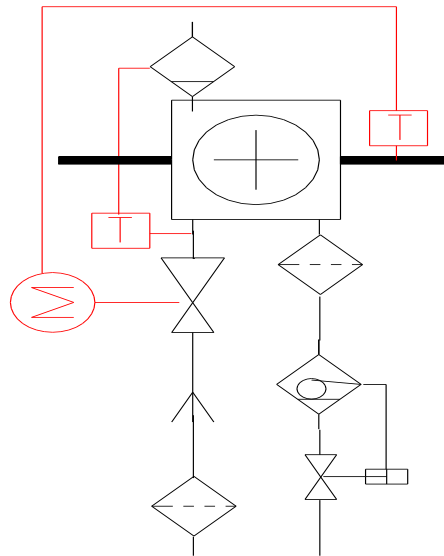
Ces batteries sont éprouvées jusqu'à *14bars*, mais la pression de service de la vapeur doit être comprise entre *4* et *8bars*. Les puissances s'échelonnent entre *1,4* et *700kW*.

Elles sont constituées de rangs de tubes ailetés, identiques à ceux des batteries à eau, mais les collecteurs sont en acier galvanisé.

Les batteries à vapeur comprennent des équipements spécifiques :

- Purgeur d'air thermostatique sur les collecteurs d'admission vapeur.
- Filtre sur l'admission vapeur.
- Filtre sur l'évacuation de condensats.
- Purgeur de condensats à flotteur avant retour vers une bêche, ou un pot de revaporisation.

La puissance est régulée par une *vanne thermostatique modulante*, en fonction de la température d'air en sortie de batterie, qui réalise une variation de débit et de température simultanée de l'admission de vapeur (*variation de débit \Rightarrow variation de pression dynamique \Rightarrow variation de température*).

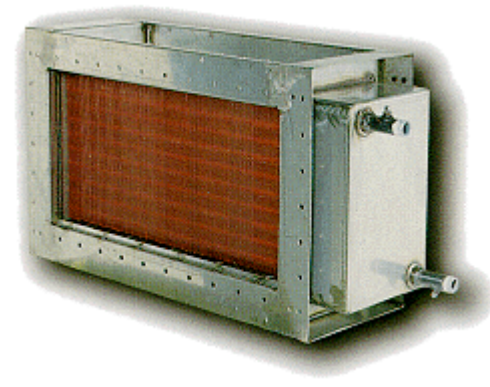


2.3. Les batteries électriques.

Elles sont constituées de résistances plongées directement dans la veine d'air :

- Fils ou bandes d'alliages NiCr tendus entre des isolateurs céramiques.
- Barres conductrices en acier ou en cuivre.
- Fils chauffants en spirale noyés dans du sable quartzique.

La gamme de puissance est restreinte, de 3 à 30kW, et ces batteries sont utilisées en équipements terminaux.



Les batteries électriques de faible puissance ($< 5kW$) sont constituées de résistances identiques sur trois phases, régulées en **TOR** par des thermostats d'ambiance, intégrés dans la partie opérative du schéma électrique. Pour les batteries plus conséquentes, on utilise des résistances étagées ($P/2$, $P/4$, $2xP/8$) raccordées à un commutateur à 3 étages, complété par un triac qui permet de linéariser la puissance émise, en fonction du signal d'un régulateur proportionnel (*cf. cours de régulation*).

Les batteries électriques nécessitent certaines sécurités vis à vis de l'incendie :

- Couplage avec l'alimentation du ventilateur.
- Temporisation à l'arrêt du ventilateur.
- Contrôleur d'écoulement d'air (girouette).
- Thermostat de surchauffe (110°C).
- Equilibrage des phases.

3. Les batteries de rafraîchissement et déshumidification.

Ces batteries diffèrent peu, dans leur constitution, des batteries à eau chaude.

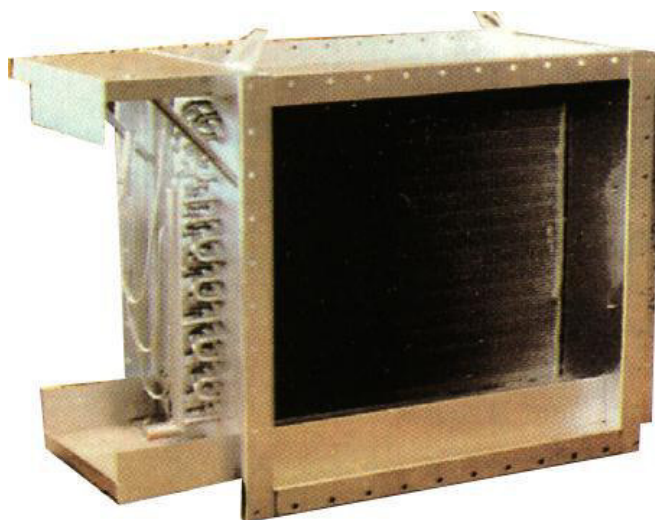
Les échangeurs sont plus compacts, et comprennent de 1 à 8 rangs de tubes cuivre (diamètre 3/8") ailetés.

Les collecteurs sont en acier galvanisé pour les batteries à eau glacée, et en laiton pour les échangeurs à détente directe.

Les ailettes peuvent être recouvertes d'un vernis époxy pour favoriser le ruissellement des condensats.

Ces derniers sont recueillis dans un bac en acier galvanisé ou inoxydable.

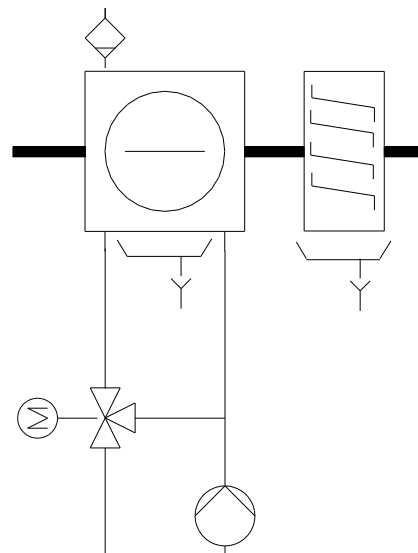
Pour des vitesses frontales d'air supérieures à $2,70\text{m/s}$, il est impératif d'adjoindre à la batterie un *séparateur de gouttelettes* réalisé en tôle galvanisée déployée, ou en nid d'abeilles PVC.



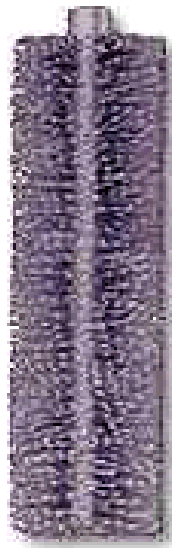
Pour éviter les problèmes de givrage, les échangeurs sont montés à contre courant (la veine d'air attaque le rang de tube le moins froid).

Les batteries à eau glacée sont régulées en :

- **Variation de débit**, au moyen d'une vanne trois voies à soupape en décharge inversée, si on souhaite réguler température et humidité.
- **Variation de température**, au moyen d'une vanne trois voies en mélange, si seul le rafraîchissement est régulé.



Au rayon des nouveautés technologiques, de nouveaux échangeurs sont apparus dans les petites unités intérieures (*évaporateurs*) de systèmes *multi-split* à détente directe, les *échangeurs* « *spine* » où les ailettes sont réduites à de simples tiges, mais dont la multitude leur confère un excellent coefficient d'échange ($> 150 \text{ W/m}^2\text{K}$).



4. Les humidificateurs.

4.1. La classification des technologies d'humidification.

Il est souvent nécessaire d'humidifier l'air dans un local conditionné pour des raisons :

- **Physiologiques** : une humidité relative ambiante de **50 %HR** est un minimum sinon la vitesse de propagation des infections augmente ainsi que les nausées, étourdissements, et irritations ORL.
- **Techniques** : la fabrication de produits à base de matériaux *hydrophiles* (textiles, papiers, tabacs,...) ou la conservation de certaines denrées alimentaires exigent une forte hygrométrie ambiante.
- **Economiques** : l'humidification de l'air repris dans un local permet un meilleur rendement des récupérateurs rotatifs (*cf. cours sur les systèmes économiseurs*).

Les technologies d'humidification sont très variées, mais on peut les regrouper selon trois principes :

- **Humidification par évaporation** : l'eau est évaporée naturellement à partir d'un réservoir ou d'un matériau imbibé d'eau dans le courant d'air traité.
- **Humidification par injection de vapeur** : on injecte de la vapeur directement en gaine d'air.
- **Humidification par pulvérisation** : l'eau est pulvérisée directement dans le courant d'air ou sur une surface de ruissellement.

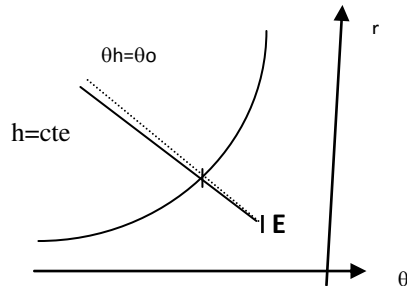
Le procédé par injection de vapeur est le plus utilisé actuellement, grâce aux propriétés de *stérilisation* de celle-ci.

4.2. L'humidificateur à évaporation.

Dans ces équipements l'air subit une évolution à *égale température humide* (souvent assimilée à une *isenthalpe*) jusqu'à saturation.

Où θ_0 désigne la température de l'eau dans le réservoir de l'humidificateur.

Ces systèmes sont quasiment abandonnés à cause de leurs débits d'humidification faibles (1 à 10 kg/h), et des problèmes sanitaires liés à la présence d'eau stagnante (germes microbiens, algues).



4.2. L'humidificateur à pulvérisation.

4.2.1. Principe :

L'eau est *pulvérisée* en très fines gouttelettes (*aérosol*) qui vont :

- soit s'évaporer *sans reliquat* directement dans l'air traité ;
- soit s'évaporer *avec reliquat* en mouillant un média (*matériau de grande surface développée*) de ruissellement, traversé par l'air traité.

L'évolution théorique est *une droite d'égale température humide* (assimilable à une *isenthalpe*), mais ces humidificateurs possèdent une efficacité variable de **0 à 100%**, et donc l'air n'atteint pas forcément la saturation, tout en se *refroidissant en température sèche*.

4.2.2. Technologies :

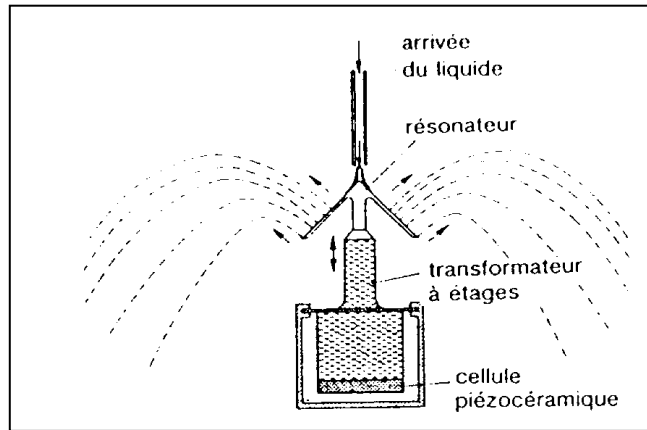
• Pulvérisateurs à ultrasons :

L'eau tombe goutte à goutte sur une membrane mise en vibrations à très haute fréquence (10^6 à 10^7 Hz) par un quartz piézo-électrique (*transducteur*) alimenté en basse tension (48V 50 Hz).

Les chocs produisent un brouillard de très fines gouttelettes (\varnothing 1 μ m).

Ces pulvérisateurs à ultrasons sont réglés en mode **TOR** ou **P** en fonction d'une sonde d'hygrométrie ambiante grâce à une électrovanne d'admission d'eau.

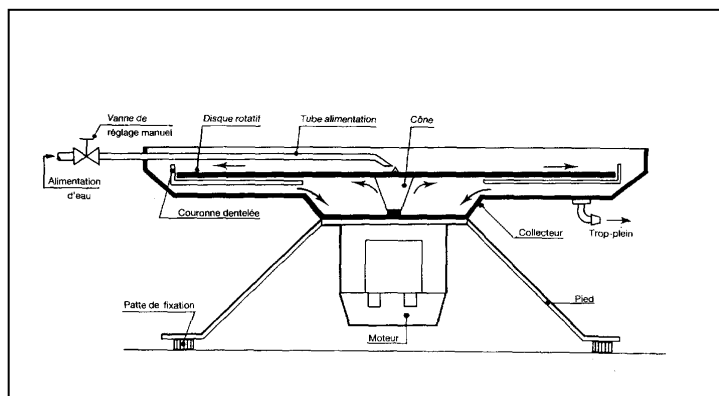
Un contrôle de la qualité de l'eau (*faible minéralisation*) est effectué, avec priorité sur la régulation d'ambiance par une sonde de conductivité électrique (*sensibilité inférieure à 20 μ S/cm*).



• Humidificateurs centrifuges :

L'eau arrive au centre d'un disque tournant à grande vitesse (**3000 tr/mn**) et se dirige par *centrifugation* à la périphérie.

Celle-ci est équipée d'une couronne dentelée sur laquelle l'eau s'atomise par chocs. L'eau non pulvérisée est recueillie par un collecteur et remontée par un cône sur l'axe de rotation.



• Humidificateurs à pulvérisation et ruissellement :

L'eau est pulvérisée sous pression (**1 à 14 bars**) dans une rampe de gicleurs, sur un média en nid d'abeilles (*pvc*) où elle ruisselle.

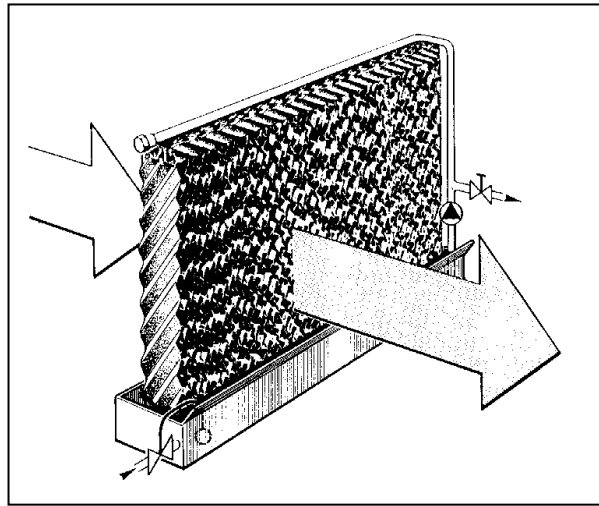
L'air en traversant perpendiculairement le média se charge en humidité selon *une droite d'égalité température humide*.

Deux efficacités sont possibles **60 et 85%**.

Pour de forts débits d'air, induisant des vitesses supérieures à **3,8 m/s**, un séparateur de gouttelettes (*tôle inox déployée*) est nécessaire.

L'eau est recyclée et il est nécessaire de calculer un débit d'appoint pour :

- Compenser le *débit évaporé* (de 160 à 1500 kgw/h).
- Compenser le *débit de purge* (géré par une vanne à flotteur dans une bache de recyclage) nécessaire pour la déconcentration en minéraux (*ions Ca^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-}*) et la réduction du **pH**.



L'encombrement est important (dimensions 600x600x475 à 2400x2400x500 mm), mais ces humidificateurs peuvent être intégrés dans des centrales modulaires.

Une sonde d'hygrométrie ambiante couplée à un régulateur **TOR ou P** autorise deux étages de fonctionnement :

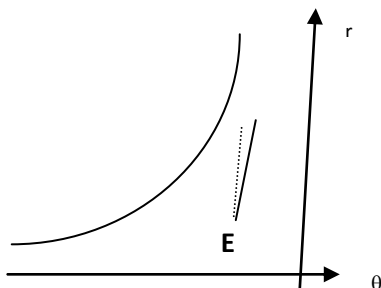
- Pompe de recyclage et vanne (électrovanne ou V2V motorisée) de recyclage ouvertes
- Vanne (électrovanne ou V2V motorisée) de suralimentation des gicleurs en eau de ville.

4.3. L'humidificateur à injection de vapeur.

4.3.1. Principe :

De la vapeur, issue d'un réseau de distribution existant ou produite par des thermoplongeurs dans une bêche d'eau, est *injectée directement en gaine*, sous le contrôle d'une électrovanne.

L'apport enthalpique est celui de la vapeur $H = H_v = m \cdot h_v$, où m désigne le débit de vapeur et h_v l'enthalpie massique de la vapeur ($2490 + 1,96\theta_v = 2686$ kJ/kgw à 100°C).



$J = H / m = h_v \approx 2700$ kJ/kgw, soit un angle d'évolution de 96° , donc quasi isotherme (92°).

La température d'air en sortie est supérieure de **1 à 2°C** par rapport à la température d'entrée.

L'intérêt psychrométrique majeur des humidificateurs vapeur est qu'ils permettent l'obtention de quasiment tout point sur le diagramme, alors que les autres types (évaporation ou pulvérisation) imposent un refroidissement et des points de sortie proches de la courbe de saturation. D'autre part ils ne provoquent presque aucune perte de charge sur l'air.

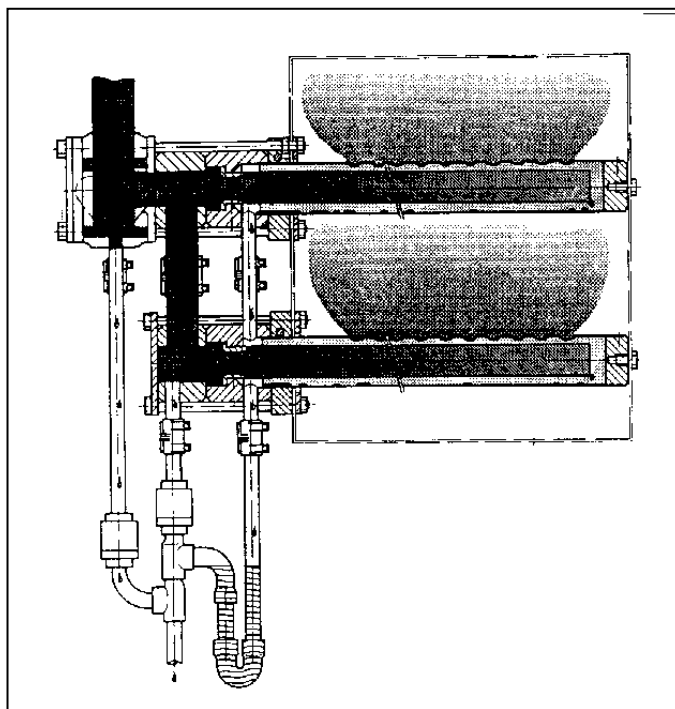
4.3.2. Technologie et régulation :

• Les humidificateurs à vapeur externe :

Ils sont raccordés à un réseau de vapeur surpressée ($0,2$ à 4 bars) et surchauffée (100 à 150°C) existant. La vapeur après détente et purge des condensats dans le corps d'une vanne d'admission (*à ouverture progressive réglée par un servomoteur*) est injectée, après traversée d'un silencieux acoustique, dans une ou plusieurs (5 maximum) **clarinettes** (*rampes trouées*) installées horizontalement en gaine d'air.

Dans certains équipements, le corps de vanne est réchauffé par la vapeur primaire pour limiter voire revaporiser les condensats.

Un thermostat de sécurité à minima, surveille la température du corps de vanne pour prévenir un engorgement en condensats de la vanne et des rampes d'injection. Les matériaux sont bien sûr résistants à la corrosion (*acier NiCr inox*).



La longueur utile de rampe est limitée à la largeur de la gaine moins 15cm , et elle peut être évaluée en se basant sur un débit d'injection maximal de 80 kgw/h.m. (débit global max. 750 kgw/h).

Il est important de prévoir une longueur de gaine **Bn** suffisante pour une absorption complète de la vapeur (350mm si $v_{\text{air}} < 5\text{m/s}$), les filtres seront placés entre 2 et 3 Bn selon leur nature, et les sondes ou **hygrostat limiteur** entre 4 et 5 Bn.

La maintenance est réduite à un nettoyage annuel du filtre et du purgeur.

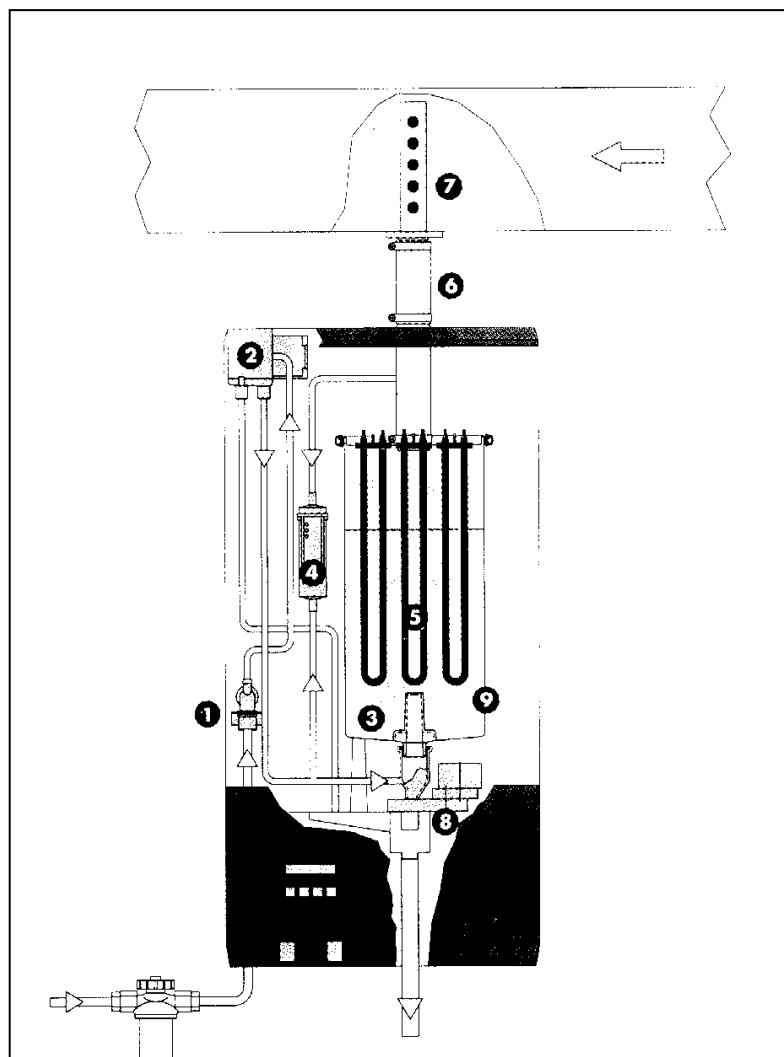
• **Les humidificateurs autonomes à vapeur :**

La production de vapeur est intégrée dans l'humidificateur, par une mise en ébullition d'eau brute dans une cuve en acier NiCr. Un aquastat maintient le niveau de liquide constant dans la cuve, et selon des cycles prééglés (2 secondes par heure), provoque une déconcentration par adjonction d'eau fraîche (1,8 à 13 l/h).

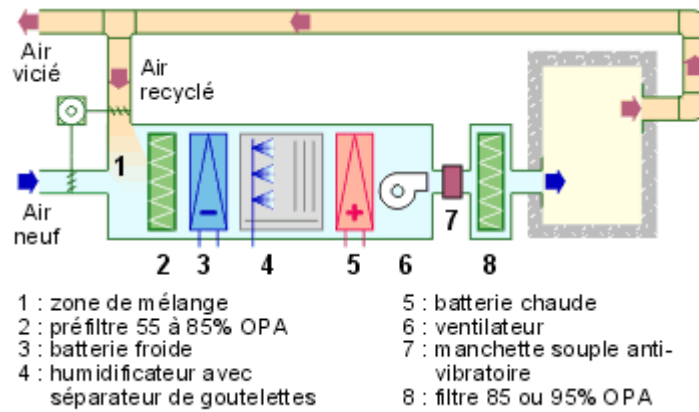
Les éléments chauffants (électrodes ou résistances NiCr) sont pilotés par une électronique de puissance et permettent une variation progressive ou par étages de la production de vapeur. Avant d'être injectée dans les rampes, elle est mise à la pression de l'air traité par un tuyau d'équilibrage. Les débits d'humidification s'échelonnent entre 0,1 et 336 kgw/h.

Les mêmes recommandations pour la distance minimale **Bn** d'absorption de la vapeur en gaine, s'appliquent à ces équipements. Il n'y a pas de purge de condensats, ils sont renvoyés dans la cuve grâce à une pente >10% de la liaison avec les rampes. Les sels minéraux sont recueillis dans un sac à calcaire interchangeable.

Les appareils récents comportent un port de communication RS 323C pour un pilotage par **GTB** (régulation et synthèse défauts).

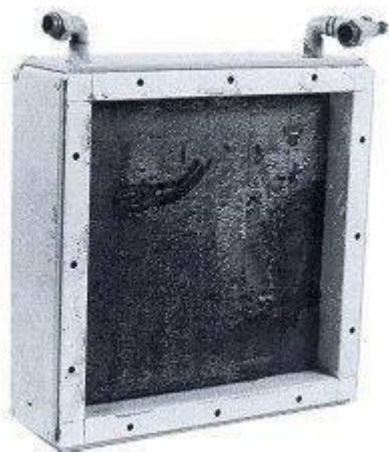


5. Les filtres.



5.1. Objectif de la filtration.

- Débarrasser l'air des polluants : champignons et bactéries allergogènes et pathogènes, des particules de fibre de verre, ...
- Protéger les équipements des locaux (électroniques, photographies,...) contre les poussières pour augmenter leur durée de vie et diminuer leur maintenance.
- Protéger l'installation de ventilation elle-même. Sans filtration, des dépôts apparaissent dans les conduits, leurs joints, dans les bouches de distribution, sur les batteries d'échange, les ventilateurs, les registres et les sondes de régulation. L'accumulation de poussières peut provoquer la prolifération de champignons, bactéries, ...



Batterie protégée par un filtre de performance insuffisante

- Éviter la propagation d'incendie par les poussières et les risques d'explosion.
- Protéger les terrasses et toitures en n'évacuant pas les particules directement vers l'extérieur.

5.2. Classification.

L'efficacité d'un filtre est synthétisée de façon précise par une série de **grandeurs** dépendant des caractéristiques de l'air entrant :

- température et humidité.
- teneur en poussières.
- granulométrie des poussières.
- nature et structure physique des poussières.

Concrètement, cela se traduit par une classification des performances en fonction des particules à arrêter.

Les filtres sont classés en fonction de leur capacité à arrêter des particules de plus en plus petites.

La dénomination de leur classe dépend de la méthode de mesure utilisée pour les essais. Par exemple, GRA signifie "méthode gravimétrique", OPA, "méthode opacimétrique".

Les filtres faisant l'objet d'un essai "DOP" atteignent 100 % d'efficacité par les méthodes opacimétrique et gravimétrique.

5.3. Filtres à couche poreuse.

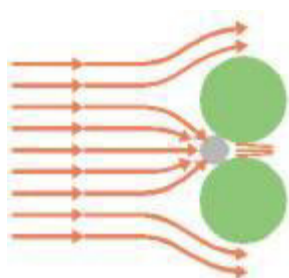
Fonctionnement :

Dans ces filtres, l'air à épurer traverse une couche poreuse ou fibreuse dans laquelle il abandonne ses poussières.

C'est le mode de filtration de l'air actuellement le plus répandu, tant pour la préfiltration "de protection" que pour la filtration de "confort", de salubrité (immeubles, bureaux), de haute et de très haute efficacité (salles blanches, salles d'opérations "stériles").

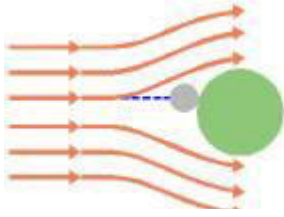
Dans ce type de filtre, l'interception des poussières se fait par :

Tamisage (ou effet de crible) :



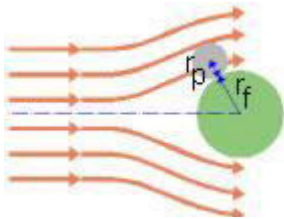
Il faut que les pores de l'élément filtrant aient des dimensions inférieures à celles des particules : ce peut être un amas de particules arrêtées par le filtre qui constitue un tamis filtrant vis-à-vis des particules plus fines se présentant ultérieurement.

Impact (ou effet d'inertie) :



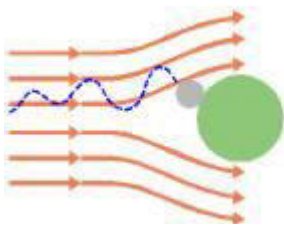
Les particules lourdes ne peuvent pas accompagner le courant d'air quand celui-ci s'incurve autour d'une fibre. Elles s'attachent alors à la fibre à l'endroit de l'impact.

Interception (ou effet de barrage) :



Les petites particules légères accompagnant le courant d'air seront interceptées si leur centre passe à une distance de la fibre inférieure à leur rayon. Ainsi, un média filtrant offrant un bon effet d'interception doit contenir un grand nombre de fibres fines, de même diamètre moyen que celui des particules à séparer.

Diffusion :



Les particules dont le diamètre est inférieur à $1 \mu\text{m}$ ont un mouvement vibratoire dû aux mouvements des molécules d'air. Elles se fixent sur les fibres si elles entrent en contact avec elles.

La probabilité d'impact croissant quand la vitesse, le diamètre des particules et le diamètre des fibres diminuent (l'amplitude du mouvement est de $7,4 \mu\text{m}$ pour une particule de $1 \mu\text{m}$ et de $37 \mu\text{m}$ pour une particule de $0,1 \mu\text{m}$).

Forces électrostatiques :

Les forces électrostatiques peuvent prendre naissance soit sur les poussières soit sur les filtres.

Elles provoquent l'agglomération des poussières entre elles et facilitent leur filtration.

5.4. Efficacité.

On classe les filtres à couche poreuse en fonction de leur efficacité :

Filtres à moyenne efficacité :



Filtre plan

La surface filtrante est composée de fibre de verre grossière ou de fibre synthétique maintenue dans des cadres en carton ou métallique.

Les filtres peuvent être plans ou légèrement plissés pour augmenter la surface filtrante, donc la longévité.

On trouve également des médias en mousse de polyuréthane ou polyester expansée, utilisée sous forme de couches planes ou des tricots en fil d'acier galvanisé ou inoxydable, montés dans des cadres.

Ils fonctionnent principalement par l'effet d'inertie des particules.

Filtres à haute efficacité :

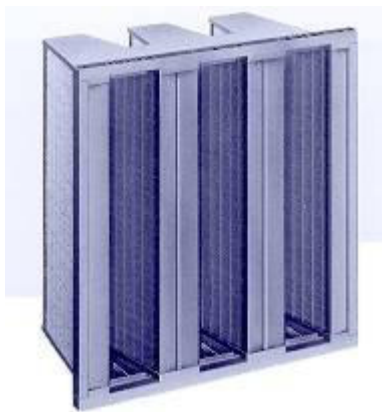


Filtre à poches

Ces filtres sont composés soit d'un papier-filtre plissé en cellulose ou en fibres de verre, soit de poches (on parle de filtres à poches) disposées dans un cadre sous forme de sacs flottants qui leur donnent une surface de filtration pouvant aller jusqu'à 27 fois la surface frontale.

Les filtres à poches ont une forte capacité de colmatage et un coût d'exploitation peu élevé.

Ils fonctionnent principalement par effet d'interception et de diffusion.



Filtre plissé

Filtres à très haute efficacité ou absolus :



Filtres absolus

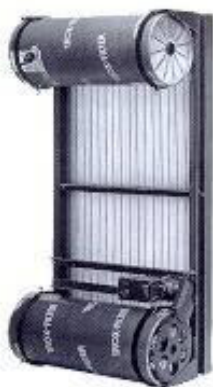
Le milieu filtrant est constitué de papiers de fibres de verre maintenues par un liant, pour les plus hautes efficacités, ou bien d'un mélange de fibres de cellulose et de fibres minérales.

Ces papiers sont plissés sur toute la profondeur du filtre.

Chaque pli est parfois maintenu par un séparateur ondulé. La surface de filtration peut atteindre 100 fois la surface frontale pour les filtres dits absolus.

Dans ces filtres, c'est l'effet de diffusion qui devient prépondérant.

Filtres à nettoyage automatique :



Filtre à déroulement automatique

Il existe des filtres plans à déroulement automatique, en fonction de la perte de charge qu'ils engendrent.

Il existe également des filtres nettoyés automatiquement : les éléments filtrants sont montés sur une chaîne sans fin et viennent tremper successivement dans un bac où se fait leur nettoyage avant de reprendre place dans le courant d'air à filtrer.

Le mouvement de rotation qui est très lent, peut être à commande manuelle et intermittent, ou mieux, mécanique et continu.

Il existe aussi des filtres en tricots métalliques ou plastiques nettoyés de façon cyclique par lavage à l'aide de rampes de pulvérisation d'eau.