

## CHAPITRE 4 : LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE

### 1. BESOINS EN EAU CHAUDE

#### 1.1. TEMPERATURE D'UTILISATION DE L'EAU CHAUDE

Eviers, timbres d'office :	60 à 65 °C	Lavabos :	30 à 40 °C
Baignoires :	34 à 37 °C	Douches :	32 à 40 °C

L'eau chaude est produite et stockée entre 60 et 80 °C (souvent à 65 °C).

- ⇒ Elle ne doit pas être distribuée à plus de 60 °C pour éviter l'entartrage et les brûlures.
- ⇒ En cuisine professionnelle, buanderie ou laverie, elle peut être stockée et distribuée jusqu'à 90 °C maximum, mais il faut alors le signaler.

Quand l'eau chaude n'est pas utilisée à sa température de distribution, elle est refroidie par mélange avec de l'eau froide (mélangeur, mitigeur "thermostatique")

**Pour économiser l'énergie l'eau chaude ( en collectivités notamment ) est souvent distribuée, voire produite à des températures proche de 40 °C. or les Légionella se développent dans une eau stagnante entre 25 et 42 °C. Une température supérieure à 50°C en tout point de l'installation de production et de distribution d'eau chaude est donc nécessaire face au risques de légionellose**

#### Document :

### **Traquez les Légionella**

Vos systèmes de distribution d'eau chaude et de climatisation doivent être parfaitement entretenus sinon vos clients risquent d'être victimes d'une maladie respiratoire grave voire mortelle : la légionellose.

**Qu'est-ce que la légionellose ?** La légionellose est une maladie pulmonaire grave, une pneumonie aiguë qui peut entraîner le décès des personnes fragilisées : personnes âgées, alcoolo- tabagiques, immunodéficientes ou présentant des insuffisances respiratoires importantes. Le nombre de cas diagnostiqués en France est d'environ 500 par an, mais on estime le nombre réel entre 2000 et 3000 cas par an.

**Quelles sont les bactéries à l'origine de cette maladie ?** Ce sont les Légionella. Ces bactéries ont été décrites pour la première fois en 1977 à la suite d'une épidémie d'infections pulmonaires observées en juillet 1976 chez 221 anciens légionnaires participant au 58<sup>ème</sup> congrès de l'American Légion dans un hôtel à Philadelphie. 34 d'entre eux sont décédés. Les médecins ont donc donné le nom de Légionellose ou Maladie des Légionnaires à cette nouvelle épidémie. En 1997, de nombreux touristes français ont été gravement contaminés par des Légionella dans des hôtels en Turquie. Et en 1998, pendant la Coupe du monde à Paris, une vingtaine de personnes ont attrapé la légionellose. 4 sont décédées.

**Où peut-on attraper cette maladie ?** Dans les immeubles collectifs, des hôtels ou des hôpitaux. En 1997, en France, 20 % des cas déclarés étaient liés à un séjour en hôpital ou en clinique et 10 % suite à un voyage à l'étranger. L'utilisation d'eau chaude sanitaire et les tours aéro- réfrigérantes ont été le plus souvent incriminées dans les épidémies. Les Légionella prolifèrent en effet dans les circuits d'eau (ballons de stockage d'eau chaude, bras morts de tuyauteries) lorsque celle-ci stagne et que la température s'élève au-dessus de 25 °C et jusqu'à 42 °C. En région parisienne, les enquêtes ont montré que près de 70 % des équipements collectifs de distribution d'eau chaude contenaient des Légionella. D'autres dispositifs peuvent aussi être colonisés : appareils individuels d'humidification de l'air, bains bouillonnants à remous ou jets utilisés pour la détente, la balnéothérapie ou le thermalisme, les équipements de thérapies respiratoires par aérosols, les fontaines décoratives...

**Comment cette maladie se transmet-elle ?** Les installations techniques (jets, douches, bains bouillonnants, pommeaux de douches (dépôts de tartre), humidificateurs, fontaines décoratives, tours aéro- réfrigérantes) produisent des aérosols ou micro- gouttelettes. Si ces installations techniques sont contaminées par des Légionella, les aérosols qu'elles produisent sont eux mêmes contaminés. Et la contamination de l'homme se fait par inhalation de ces aérosols qui véhiculent les Légionella à longue distance. Pour les tours aéro- réfrigérantes, cette distance peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Ces aérosols peuvent entrer à l'intérieur des immeubles par l'intermédiaire des fenêtres ou des prises d'air des systèmes de ventilation ou de climatisation mais aussi contaminer des lieux de rassemblement des personnes à l'extérieur (arrêts de bus, quais, installations de sports ou de loisirs ... ).

En Hôtellerie et Restauration, la présence de Légionella dans l'eau n'est pas une condition suffisante pour provoquer la maladie. On estime qu'en dessous de 1000 UFC par litre d'eau, le risque d'apparition de légionellose est négligeable. (L'UFC ou Unité Format Colonie est l'unité de dénombrement pour la quantification des bactéries).

### Comment les hôteliers et restaurateurs peuvent-ils limiter une contamination par *Légionella* dans leur établissement ?

- Commencez par détartrer, désinfecter efficacement vos installations d'eau chaude sanitaire et de climatisation (videz les ballons d'eau chaude, détarrez les pommeaux de douchettes et désinfectez-les à l'eau de javel ... ) cf circulaire DGS n° 97-311 du 24/04/97.
- Puis faites réaliser une recherche de *Légionella* par un laboratoire habilité pour vérifier l'efficacité de cet entretien.
- Si les résultats des analyses révèlent la présence d'au moins 1000 *Légionella* par litre d'eau, des contrôles supplémentaires devront être entrepris. Alors, si nécessaire, faites réaliser un diagnostic de vos installations d'eau chaude sanitaire et de climatisation par une équipe technique qualifiée afin d'identifier les risques et points critiques (contactez la DDASS de votre département).
- Dans tous les cas, continuez à respecter rigoureusement les mesures de bonnes pratiques d'entretien spécifiques à chaque type d'installation.
- Évaluez la qualité de cet entretien au moins une fois par an ou plus pour la recherche de *Légionella*. Le diagnostic, le protocole de maintenance et d'entretien, les résultats des analyses effectuées doivent être portés sur un carnet sanitaire tenu à la disposition des contrôleurs officiels.

*B. Gutel en collaboration avec M. Goudier et Mme Brun-Rageul de la DDASS du Val-de-Marne et le Dr Fabien Squinazi du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris.*

*L 'Hôtellerie – n° 2623 Juillet 1999*

## 1.2. CONSOMMATIONS, ESTIMATIONS STATISTIQUES

**Consommation domestique** : suivant le nombre de personne au foyer et l'équipement sanitaire, elle se situe entre 5 et 15 m<sup>3</sup> par personne et par an.

Dans un restaurant , en moyenne, on compte une consommation d'eau à 60 °C de :

- en restauration classique : 12 l par couvert (7 l pour la préparation du repas et 5 l pour le lavage de la vaisselle).
- en restauration collective : 8 l par couvert.
- en cafétéria, snack : 1 l par client.

Dans un hôtel, évaluation des besoins en eau chaude (à 60 °C) par chambre occupée et par jour :

Hôtel *	80 à 120 l	Hôtel **	100 à 120 l
Hôtel ***	130 à 180 l	Hôtel ****	180 à 200 l
Hôtel **** luxe	200 à 250 l	Buanderie	8,5 à 13 l à 90 °C par kg de linge

## 1.3. CONSOMMATION, DETERMINATION PAR LE CALCUL

Soit : T ( en °C ) température d'utilisation de l'eau

T<sub>f</sub> ( en °C ) température de l'eau froide d'alimentation

T<sub>c</sub> ( en °C ) température de distribution de l'eau chaude

V ( en litres ) volume total d'eau nécessaire à la température T

V<sub>f</sub> ( en l. ) volume nécessaire d'eau froide à la température T<sub>f</sub>

V<sub>c</sub> ( en l. ) volume nécessaire d'eau chaude à la température T<sub>c</sub>

Si on néglige les pertes de chaleur dans les canalisations, on peut confondre température de distribution (au poste de puisage) et température de production (au générateur), sinon on tiendra compte d'un coefficient de pertes.

On considère que l'eau chaude et l'eau froide ont la même chaleur massique c = 4 180 J/kg.°C et la même masse volumique (on néglige la dilatation volumique de l'eau chauffée): 1 kg/l.

Quantité de chaleur perdue par V<sub>c</sub> litres d'eau chaude, en se mélangeant à V<sub>f</sub> litres d'eau froide :

$$Q_c = V_c \times 1 \times 4\,180 \times (T - T_c)$$

Quantité de chaleur gagnée par V<sub>f</sub> litres d'eau froide, en se mélangeant à V<sub>c</sub> litres d'eau chaude :

$$Q_f = V_f \times 1 \times 4\,180 \times (T - T_f)$$

Si on considère que l'eau chaude et l'eau froide n'échangent de chaleur qu'entre elles (on néglige les pertes):

$$Q_f = -Q_c \quad \Rightarrow \quad V_f \times 1 \times 4\,180 \times (T - T_f) = -[V_c \times 1 \times 4\,180 \times (T - T_c)]$$

$$\text{or } V_f = V - V_c \quad \text{il vient : } (V - V_c)(T - T_f) = V_c(T_c - T)$$

$$\text{d'où } V(T - T_f) = V_c(T_c - T) + V_c(T - T_f) \quad \text{et : } V(T - T_f) = V_c(T_c - T_f)$$

L'utilisation de V litres d'eau à T °C consomme V<sub>c</sub> litres d'eau chaude produite à T<sub>c</sub> °C :

$$V_c = V \frac{T - T_f}{T_c - T_f}$$

**Ex :** eau froide à 10 °C, eau chaude à 60 °C, bain à 34 °C dans une baignoire de 150 l :

$$150 \times \frac{(34 - 10)}{(60 - 10)} = 72 \text{ l d'eau à } 60 \text{ °C}$$

### 1.4. DEBITS

Débits minimum à respecter (les canalisations doivent être calibrées en conséquence.) :

Lavabos:	3 l/min	Bidets:	6 l/min	Eviers:	12 l/min
Douches:	15 l/min	Baignoires:	20 l/min	Plonge:	20 l/min

La répartition de la consommation d'eau chaude n'est pas uniforme sur la journée, Il faut donc tenir compte des débits de pointes pour dimensionner l'installation et choisir le type d'appareil :

- ◆ débit horaire de pointe (en m<sup>3</sup>/h) : consommation maximale d'eau chaude à l'heure .
- ◆ débit instantané de pointe (en l/min) : se détermine statistiquement en fonction de la nature et du nombre de points de puisage. C'est la quantité d'eau chaude susceptible d'être demandée en même temps.

## 2. MODE DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE

- ❖ **centralisée** soit liée au chauffage central, soit indépendante.
  - ⇒ rendement : de 25 à 50 % à cause des pertes en chaufferie et dans les canalisations.
  - ⇒ calorifugeage soigné des appareils et des conduites nécessaire.
- ❖ **fractionnée et décentralisée** :
  - ⇒ appareils plus proches des points de puisage,
  - ⇒ circuits de distribution réduits,
  - ⇒ rendement meilleur (environ 75 %),
  - ⇒ plus grande souplesse d'utilisation avec la possibilité d'isoler des parties de l'installation
- ❖ **mixte** : un générateur par groupe de postes de même utilisation. Par exemple :
  - ⇒ un générateur à 60 °C pour la cuisine, les services techniques.
  - ⇒ un générateur à 40 ou 45 °C pour les sanitaires.
  - ⇒ un générateur à 90 °C pour les secteurs laveries.

## 3. MODE DE DISTRIBUTION D'EAU CHAUDE

Deux modes :	SANS CIRCULATION	AVEC CIRCULATION.
<b>Principe</b>		
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation simple et moins coûteuse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confort d'utilisation, l'eau chaude est immédiatement disponible au robinet.</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaspillage d'eau : avant d'obtenir de l'eau chaude au robinet, il faut soutirer l'eau refroidie qui remplit la canalisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prix élevé de l'installation,</li> <li>• Pertes thermiques importantes dans les canalisations, à cause de l'incessante circulation de l'eau chaude, à moins d'un calorifugeage rigoureux qui est assez coûteux.</li> </ul>

## 4. TYPES D'APPAREILS DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE

### 4.1. PRODUCTEURS D'EAU CHAUDE INSTANTANEE

- production immédiate d'eau chaude.
- pas de limitation du volume ou du temps de puisage.
- mais débit limité : la température de l'eau chaude diminue quand son débit augmente et inversement.
- bien adaptés à des puisages fréquents mais à de faibles débits de pointes.

### 4.2. PRODUCTEURS D'EAU CHAUDE A ACCUMULATION

- stockage de l'eau chauffée.
- limitation du puisage en temps et en quantité, liée à la capacité du ballon: l'eau chaude soutirée est remplacée par de l'eau froide qui tend à abaisser la température dans le ballon qu'il faut alors réchauffer.
- pas de limitation de débit.
- bien adaptés à des consommations importantes, régulièrement espacées dans le temps.
- nécessité d'un calorifugeage rigoureux du ballon
- la cuve doit être protégée contre la corrosion et l'entartrage.

### 4.3. PRODUCTEURS D'EAU CHAUDE SEMI-INSTANTANEE OU SEMI-ACCUMULEE

Ce système permet d'adapter étroitement la fourniture d'eau chaude à l'irrégularité de la demande :

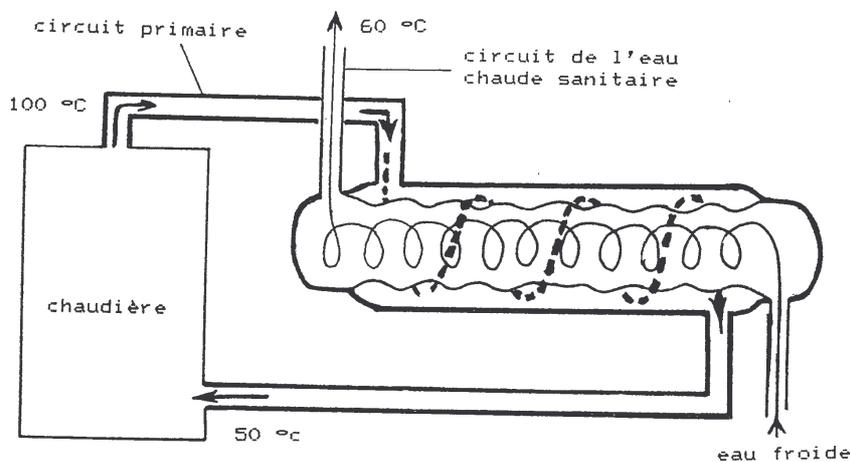
- ➔ il évite l'installation onéreuse et encombrante de ballons de grande capacité qui font face aux demandes importantes pendant les pointes de consommation mais maintiennent en température inutilement de grandes quantités d'eau pendant les heures creuses de consommation.
- ➔ il n'utilise pas de chaudières de production instantanée coûteuses car nécessairement surpuissantes pour satisfaire les besoins importants en débit, lors des pointes de puisages intensifs, et dont le fonctionnement intermittent est peu rationnel : il est plus rentable, pour une même consommation d'énergie, d'utiliser une chaudière de faible puissance 24 h sur 24, plutôt qu'une chaudière très puissante seulement quelques heures par jour.

**Principe:** Une chaudière alimente en eau très chaude (entre 90 et 105 °C) un circuit fermé primaire qui traverse un échangeur à contre-courant. L'eau du circuit primaire arrive par le haut de l'échangeur, l'eau froide sanitaire à chauffer pénètre par le bas, se réchauffe progressivement au contact du circuit primaire jusqu'à une température d'environ 60 °C. L'écart de température entre les surfaces de circuits primaire et secondaire en contact n'est jamais important puisque quand l'eau froide (par ex. 15 °C) arrive en bas de l'échangeur l'eau du circuit primaire a déjà été refroidie (vers 45 à 50 °C) et en haut de l'échangeur l'eau très chaude (90 à 105 °C) venant de la chaudière est en contact avec de l'eau sanitaire déjà réchauffée (à 60 °C). Cette particularité est essentielle :

- ⇒ elle assure un rendement optimal de l'échange,
- ⇒ elle freine l'entartrage de l'appareil,
- ⇒ elle évite une dénaturation de l'eau chaude : précipitation des sels minéraux, perte de limpidité, couleur blanchâtre, élimination des gaz en solution...

Ce système accumule l'eau chaude dans les échangeurs en quantité limitée pour ne pas gaspiller de chaleur quand la consommation est insignifiante mais suffisante pour satisfaire une brusque demande importante en débit. Quand le puisage d'eau chaude s'intensifie, l'échange de chaleur entre l'eau très chaude venant de la chaudière et l'eau sanitaire est quasi-instantané, avec un débit suffisant assuré par les échangeurs. Le circuit primaire est de faible capacité et la chaudière n'a qu'une petite quantité d'eau à chauffer et donc une puissance raisonnable.

#### Document : Système de production d'eau chaude semi-instantanée



## 4.4. APPAREILS INDEPENDANTS A GAZ

### 4.4.1. Appareils instantanés

#### Fonctionnement :

- les gaz chauds provenant de la combustion traversent un échangeur et cèdent leur chaleur à l'eau froide qui circule dans un serpentin (en général en cuivre, bon conducteur de la chaleur) de petite section (faible volume d'eau à chauffer).
- l'évacuation des gaz se fait par un conduit de fumée.
- l'allumage des brûleurs est provoqué par le puisage de l'eau ( déclenchement par un pressostat ).
- ce sont, en général, des brûleurs atmosphériques équipés d'un allumage piézo-électrique et d'une sécurité par thermo-couple ou par ionisation de flamme .

#### Caractéristiques :

- puissances de 7 à 30 kW, pour des débits de 5 à 20 litres/min. selon la température atteinte
- différence de température maxi : environ 50 °C.
- rendement, en général, autour de 75 % (à cause des pertes de chaleur dans les fumées et gaz brûlés).
- Pour des besoins importants, il existe des chaudières plus puissantes : jusqu'à 330 kW, jusqu'à 5 000 l/h d'eau à 65 °C, écart maxi de température 75 °C. brûleur à air soufflé et à sécurité par ionisation de flamme et à allumage électrique.

Exercice : Performances des chauffe-eau instantanés à gaz, vérification par le calcul  
La température de l'eau avant chauffage est 15 °C :

Puissance thermique utile	débit à 40 °C en l/min	débit à 65 °C en l/min
8,7 kW	5	2,5
13,9 kW	8	4
17,4 kW	10	5
22,3 kW	13	6,5
26,4 kW	15	7,5

L'eau a une chaleur massique de 4 180 J/kg.°C. 1 litre d'eau a environ une masse de 1 kg.

Vérification qu'une puissance thermique utile de 26,4 kW permet un débit de 7,5 l d'eau à 65 °C :

Pour porter 7,5 l d'eau de 15 à 65 °C il faut une quantité de chaleur de :  $7,5 \times 4\,180 \times (65 - 15) = 1\,567\,500 \text{ J}$

Pour assurer un débit en eau à 65 °C de 7,5 litres par minute (1 min = 60 s) il faut donc fournir à l'eau une puissance de chauffe de :  $\frac{1\,567\,500}{60} = 26\,125 \text{ W} = 26,125 \text{ kW}$

L'écart constaté avec la valeur du tableau vient du fait qu'une petite partie de la puissance de chauffe est utilisée pour réchauffer le corps de chauffe de l'appareil (serpentin en cuivre contenant l'eau à chauffer).

Si le rendement du brûleur est 75 % , la puissance absorbée (en gaz) est :  $\frac{26,4 \times 100}{60} = 35,2 \text{ W}$

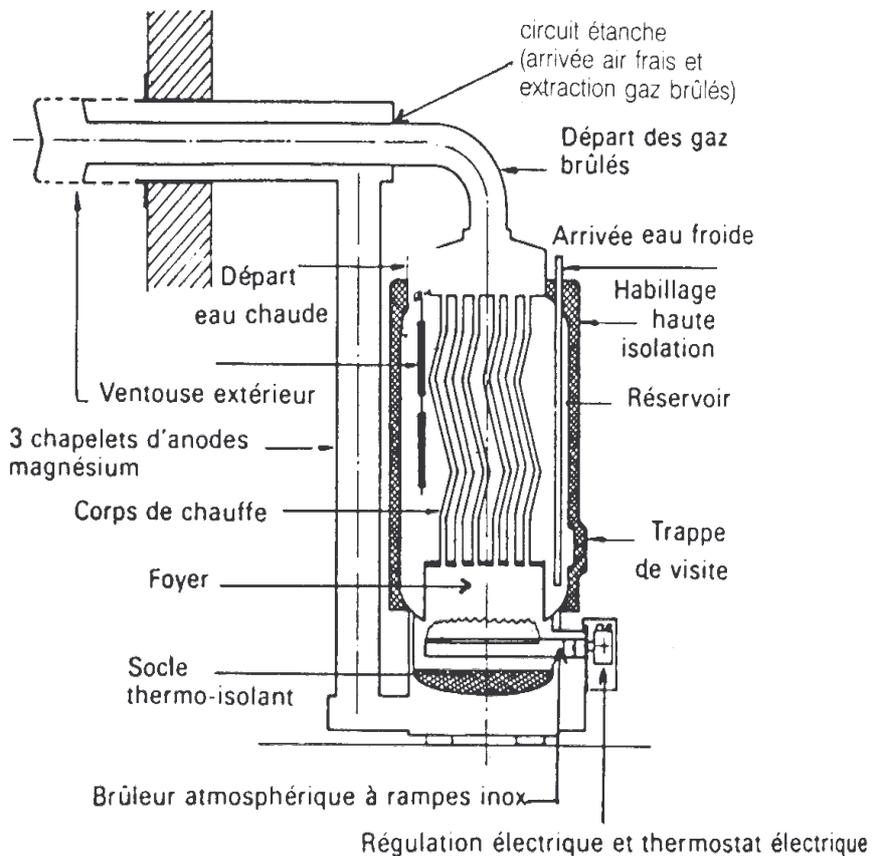
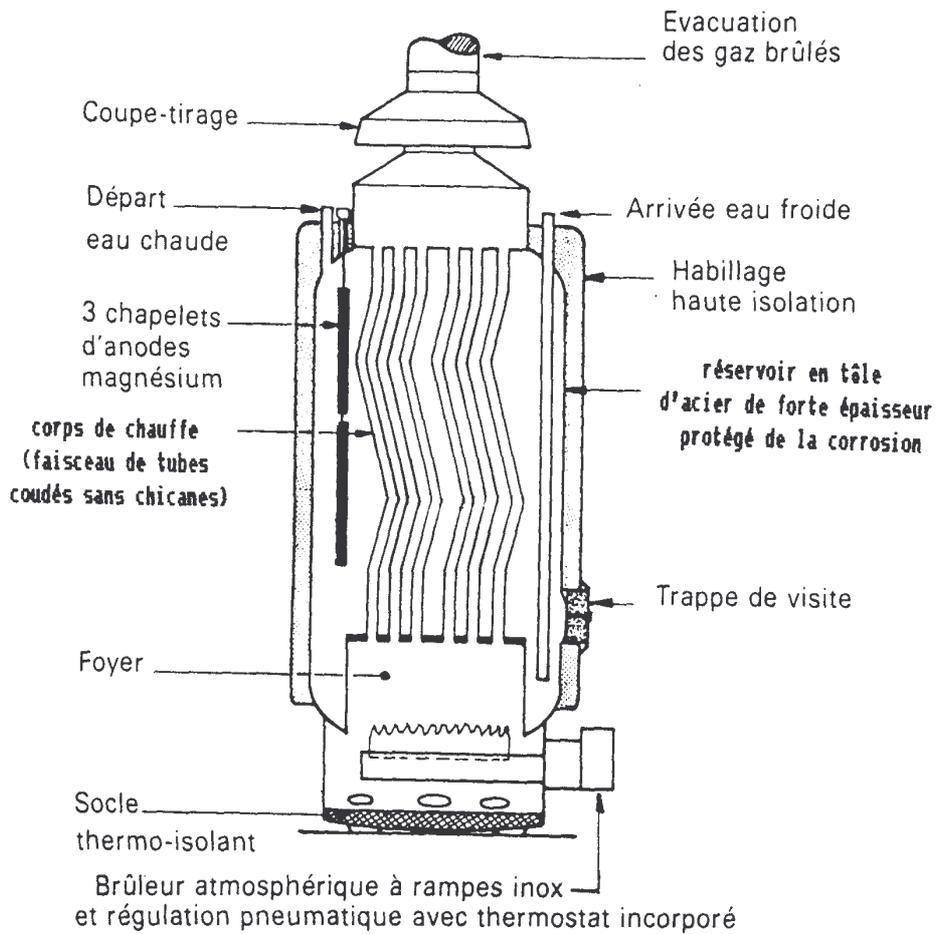
En 1 heure (3 600 s), le brûleur aura absorbé une quantité d'énergie (provenant du gaz) de :  $35,2 \times 3\,600 = 127\,620 \text{ J}$

Si l'appareil utilise du gaz naturel dont le pouvoir calorifique est 35 900 kJ/m<sup>3</sup>, le débit de consommation de gaz de l'appareil sera :  $\frac{127\,620}{35\,900} = 3,53 \text{ m}^3/\text{h}$

### 4.4.2. Appareils à accumulation

- il s'agit de ballons de stockage calorifugés équipés de brûleurs qui se déclenchent dès que la température de l'eau en réserve baisse.
- ils répondent à des besoins importants (limités au volume du ballon) et intermittents (remontée en température après puisage).
- évacuation par conduit de cheminée.
- régulation automatique avec plage de réglage suffisamment étendue (40 à 90 °C).
- possibilité de programmation.
- écart de température maximal 75 °C.
- aux pertes de chaleur dans les fumées et les gaz brûlés, s'ajoutent les pertes par conduction à travers les parois du volume de stockage.

**Document : Générateur d'eau chaude à gaz à accumulation ( doc STYX – CEGELEM )**



caractéristiques principales :

- capacité en litres et durée de chauffe du volume stocké (temps de reconstitution de la réserve).
- puissance utile de l'appareil : c'est la puissance thermique du brûleur (rendement de 75 à 80 %)
- pertes de chaleur à travers les parois du réservoir.
- dépense d'énergie pour maintenir l'eau stockée à sa température.

Gamme courante et temps de montée en température de 15 à 65 °C de la quantité d'eau disponible après puisage, en fonction de la puissance du brûleur déterminée par l'allure de chauffe.

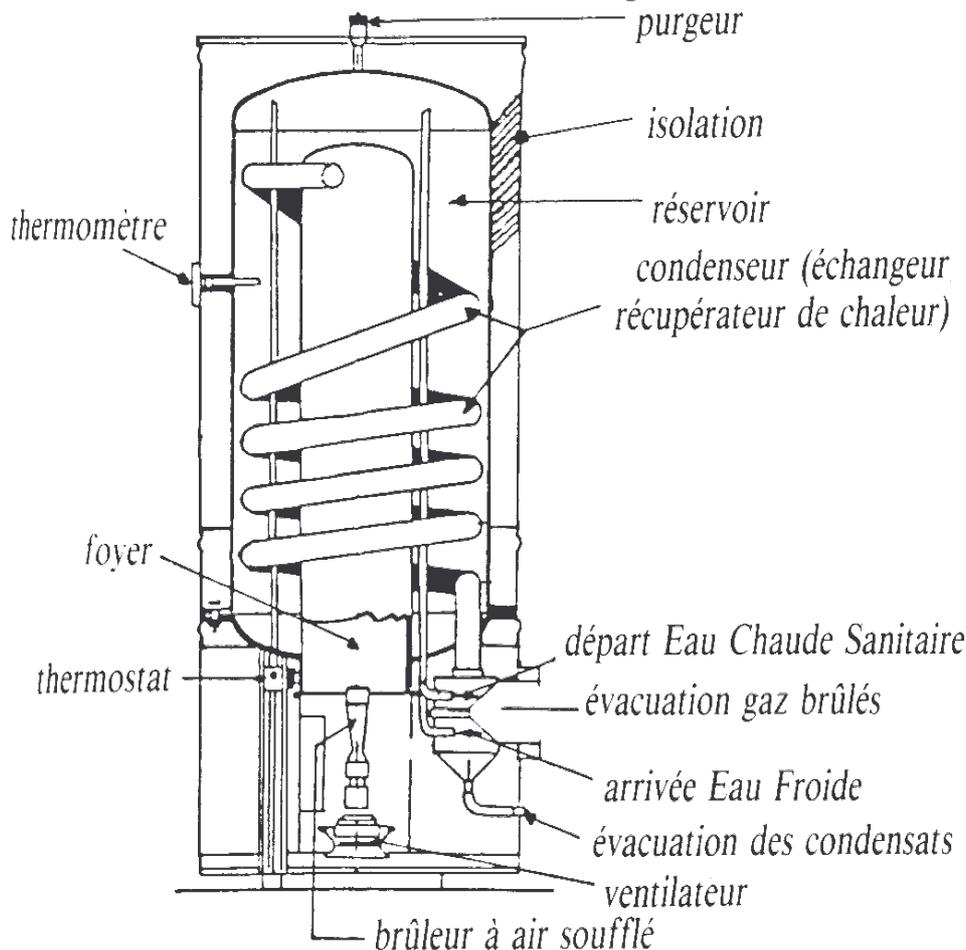
Exemples (sources "chauffage et gaz-CEGELEM" et GDF) :

chauffe	capacité 75 l		capacité 150 l		capacité 300 l		capacité 400 l	
	puissance utile	temps en min						
normale	----	---	3,9 kW	180	18 kW	60	18 kW	81
rapide	7 kW	40	8,7 kW	80	36 kW	34	36 kW	38
ultra-rapide	14 kW	20	24 kW	25	60 kW	18	60 kW	25

### 4.4.3. Appareils à condensation

- ils fonctionnent comme les chaudières à gaz à condensation : la chaleur des gaz chauds est récupérée en condensant environ 50 % de la vapeur d'eau qu'ils contiennent sur un échangeur à la sortie du foyer avant que ces gaz soient évacués vers l'extérieur.
- rendement élevé du brûleur proche de 95 % .
- élévation maximale de température de l'eau : 75 °C.
- conviennent bien à de gros besoins continus ou intermittents.
- leur brûleur est le plus souvent atmosphérique, composé de torches et équipé d'un allumage électrique et d'une sécurité par électrode de contrôle (ionisation de flamme).
- l'évacuation des gaz brûlés se fait par conduit ou par ventouse avec un appareil alors à circuit étanche.

**Document : Générateur d'eau chaude au gaz à condensation**



Exemples de performances de chauffe-eau à gaz à condensation (température de l'eau avant chauffage 15 °C) :

puissance thermique du brûleur en kW	capacité de la cuve en l.	température eau chaude	temps de montée en température en min	débit horaire continu en l/h	débit en l/min
12	80	55 °C	20 min	260	4,3
40	250	65 °C	20 min	680	11,3
70	500	65 °C	20 min	1 200	21

## 4.5. APPAREILS ELECTRIQUES INDEPENDANTS

### 4.5.1. Principe

La chaleur est produite par transformation de l'énergie électrique par effet Joule dans des résistances.

avantages :

- grande souplesse,
- facilité et précision de la régulation,
- propreté, absence de pollution.

La puissance des appareils électriques de production d'eau chaude est importante et influe beaucoup sur le type d'abonnement souscrit auprès d'EDF.

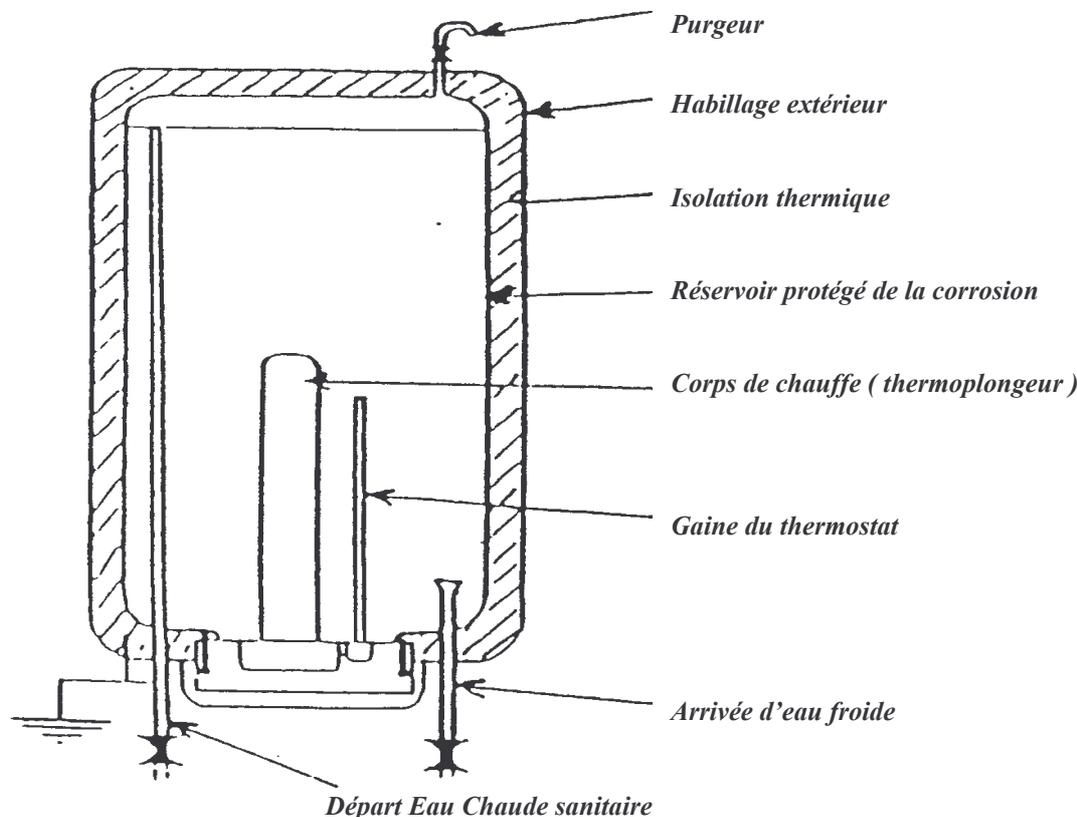
Il faut bien apprécier leurs périodes de fonctionnement et veiller à ce qu'alors leur mise en route n'occasionne pas de dépassement de puissance. Un système de programmation est très utile.

Son coût variable selon les tarifs et les périodes d'utilisation rend l'électricité mal adaptée à la production instantanée d'eau chaude mais très intéressante en cas d'accumulation : l'eau peut être réchauffée pendant les périodes à tarif réduit (heures creuses).

### 4.5.2. Appareils à accumulation

- une résistance électrique commandée par thermostat (réglé à 60 °C) plonge dans le ballon et réchauffe l'eau.
- possibilité de programmation.
- caractéristiques principales : capacité, rapidité de chauffe et puissance.
- en moyenne, réchauffage du ballon en 8 h. et puissance de 10 à 12 W par litre de stockage.
- grande variété d'appareils correspondant à presque tous les besoins, capacités de 100 à 1 000 litres.
- isolation renforcée du ballon (par ex. 4 cm de polyuréthane) qui limite les déperditions à un maximum de 5 % .

Document : Coupe d'un cumulus électrique



### 4.5.3. Installation "hydroaccumulation 8 heures."

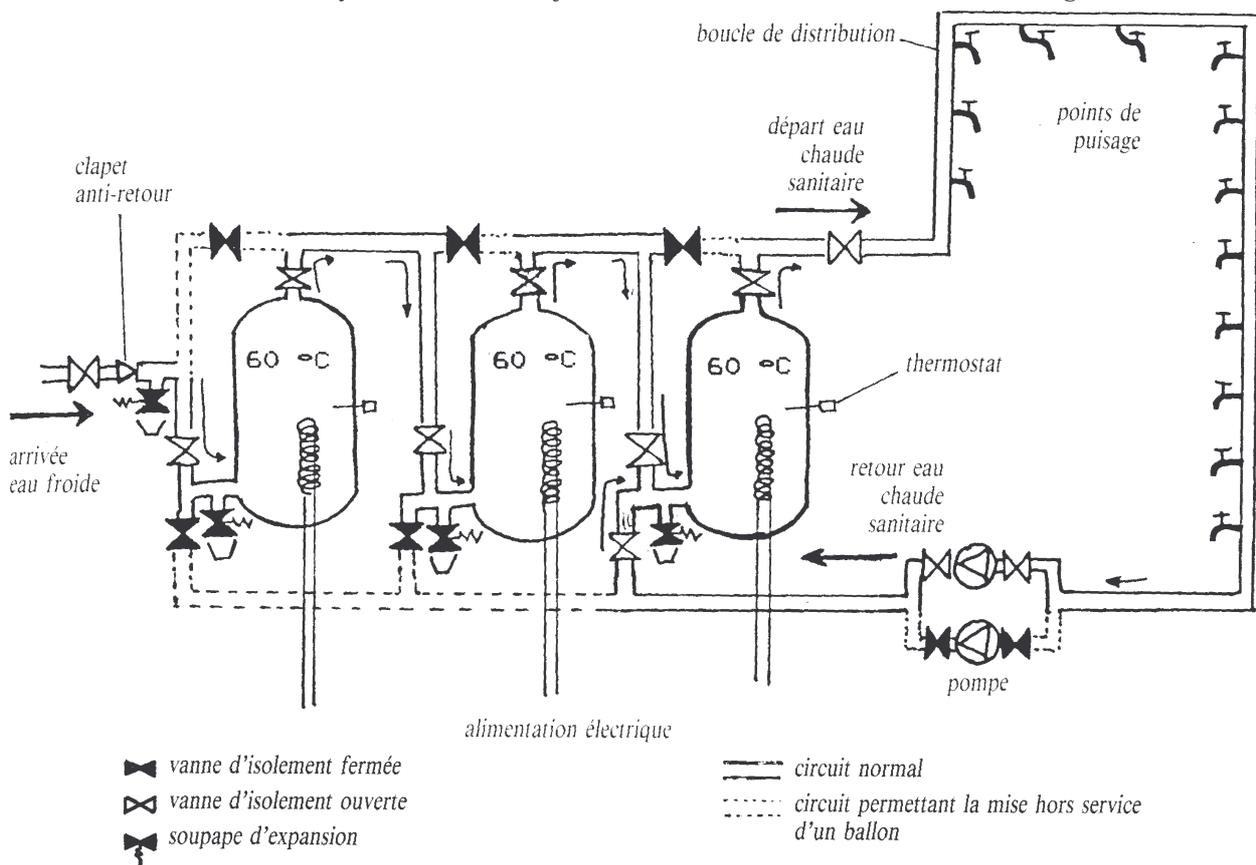
- ◆ **programmation** : un relais asservi à l'horloge du compteur électrique n'autorise le fonctionnement que pendant les 8 heures creuses de tarification, sauf relance manuelle volontaire en heures pleines, auquel cas il repassera en "marche automatique" au premier changement de période tarifaire qui suivra.
- ◆ **capacité globale de stockage** : elle doit être égale à la totalité des besoins maximaux journaliers. Il est possible d'associer plusieurs appareils en batterie (fonctionnement en cascade). Les ballons doivent pouvoir être rendus indépendants les uns des autres, pour intervenir sur l'installation (entretien, dépannage) et pallier à toute défaillance de l'un d'entre eux.
- ◆ **réchauffage de boucle de distribution** : un appareil électrique supplémentaire de chauffage de l'eau permet de puiser instantanément de l'eau chaude en maintenant la température dans les tuyauteries. Il fonctionne uniquement pendant les heures d'utilisation de l'eau chaude (programmation par horloge) et se déclenche dès que la température dans la boucle de distribution est de 10 °C inférieure à celle de stockage. Le volume d'eau contenu dans les canalisations étant petit, la puissance de cet appareil est assez faible.

### 4.5.4. Installation "hydroaccumulation 8 h avec relance"

Ce système permet de diminuer la capacité totale de stockage, égale ici au besoin moyen journalier (au lieu du besoin maximal). L'énergie électrique est utilisée en priorité pendant les heures creuses. Les jours où le besoin dépasse la moyenne, le dernier ballon, dit ballon de relance, se met automatiquement en marche en heures pleines. Il sert également de réchauffeur de boucle de distribution.

La puissance du ballon de relance doit être suffisante pour compenser les pertes dans les canalisations et pour porter le volume d'eau qu'il contient, de la température de l'eau froide à la température de distribution, en 1 heure au maximum, soit 50 à 60 W par litre de capacité.

*Document : Hydroaccumulation, fonctionnement en cascade, schéma de montage*

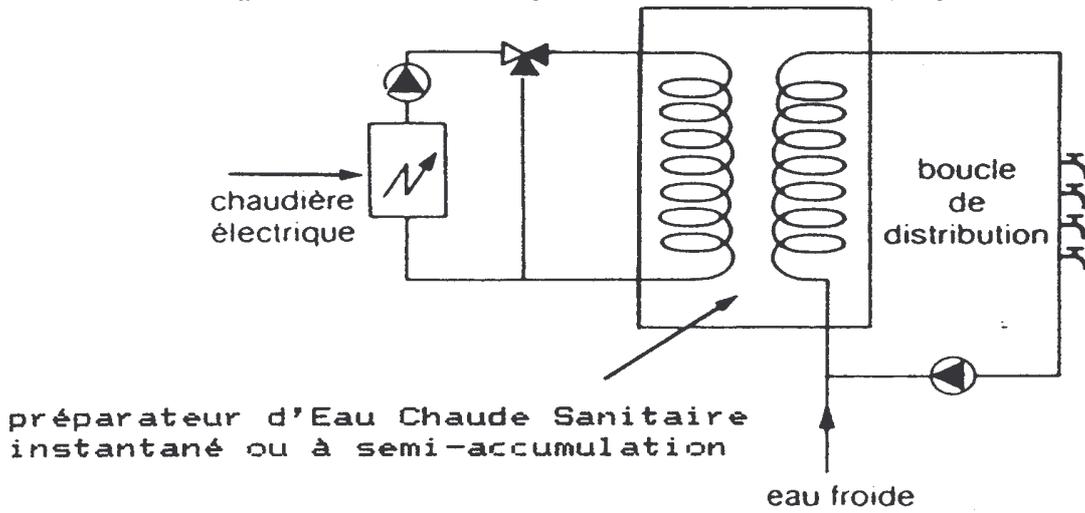


### 4.5.5. Chaudière électrique semi-instantanée

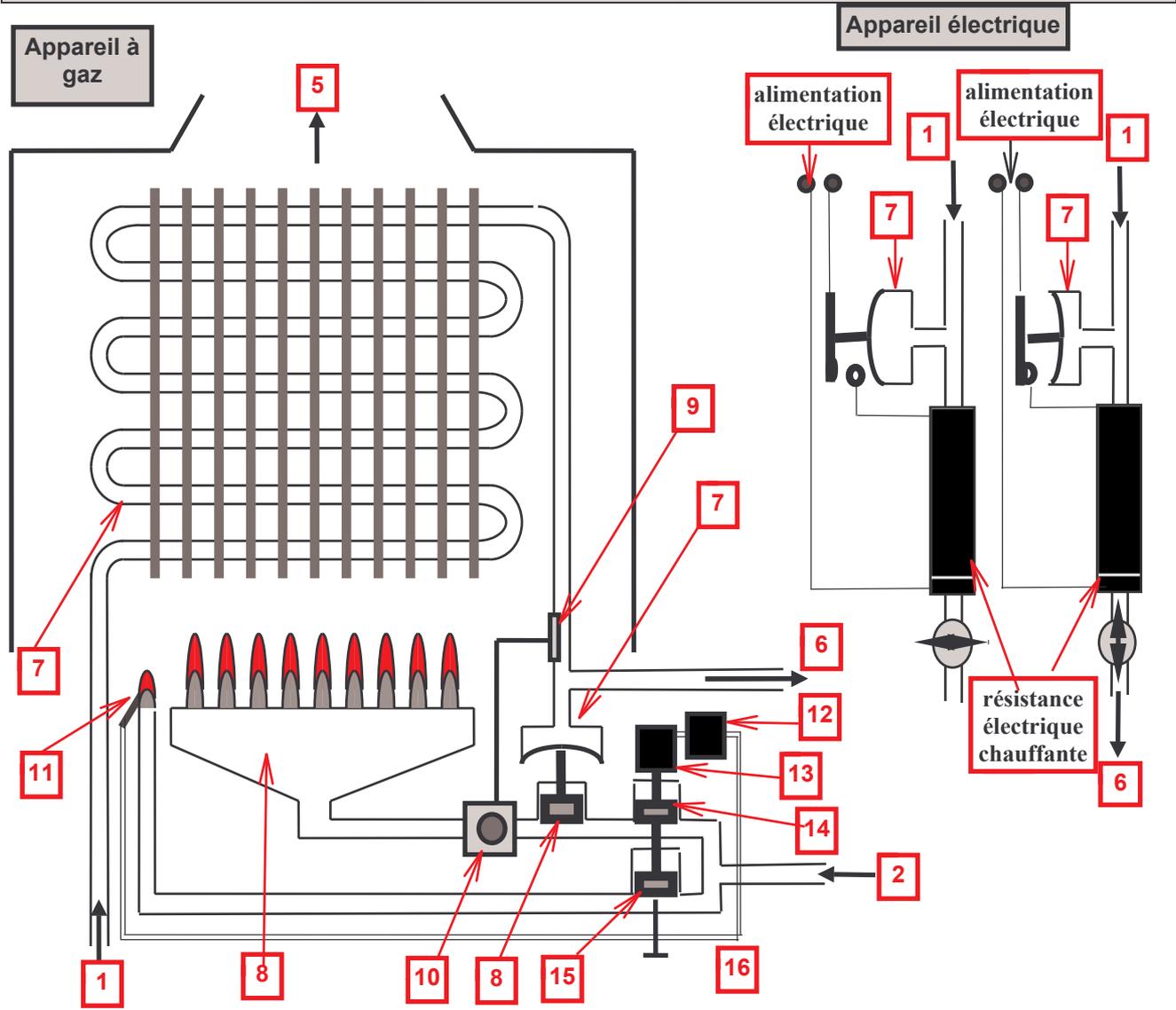
Suivant la capacité du préparateur d'eau chaude sanitaire (l'échangeur), le réchauffage se fait en 1 à 3 heures et la puissance de la chaudière est comprise entre 30 et 100 W par litre d'eau sanitaire dans l'échangeur. Si l'échangeur à un volume faible, on parle alors de chaudière électrique directe, la production d'eau chaude est quasi-instantanée.

Ces chaudières sont le plus souvent installées en relèvement d'une chaudière utilisant une autre source d'énergie, et ne fonctionnent qu'en heures creuses. Ou bien elles permettent en été la production d'une eau chaude, assurée habituellement par l'installation de chauffage central des locaux.

Document : Schéma de montage d'une chaudière électrique semi-instantanée ou directe ( d'après doc EDF )



Document : Principe des appareils instantanés de production d'eau chaude sanitaire

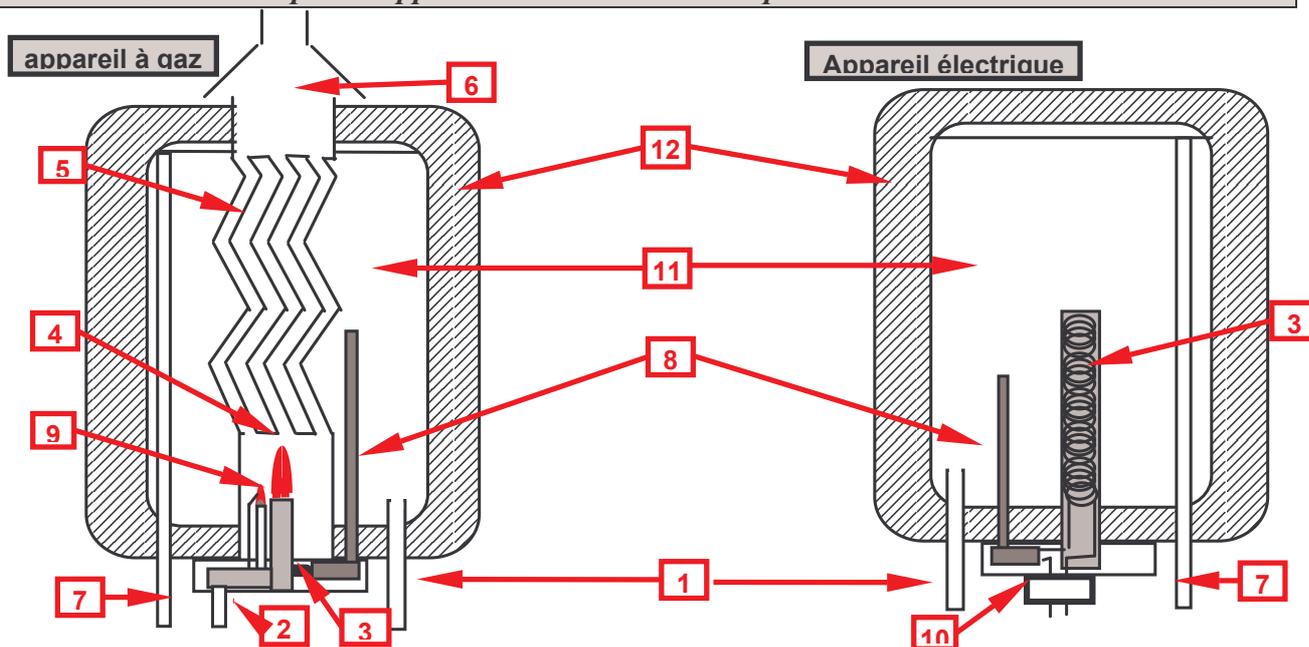


La production d'eau chaude sanitaire ( ou E.C.S. ) et sa consommation sont simultanées. Le déclenchement du chauffage est commandé par le puisage de l'eau chaude : la baisse de pression dans la canalisation agit alors sur la membrane du pressostat qui en se rétractant commande l'alimentation en énergie du producteur de chaleur.

Numéro	Légende	Fonction
1	arrivée d'eau froide	<i>alimenter en eau</i>
2	arrivée de gaz	<i>alimenter en combustible</i>
3	brûleur	<i>produire la chaleur</i>
4	échangeur : serpentín à ailette	<i>chauffer l'eau</i>
5	conduit d'évacuation des gaz brûlés	<i>extraire les gaz de combustion ( sécurité )</i>
6	sortie d'eau chaude	<i>distribuer l'eau chaude sanitaire ( ECS )</i>
7	pressostat à membrane	<i>commander l'allumage du brûleur et le chauffage de l'eau</i>
8	clapet du pressostat	
9	sonde du thermostat	<i>réguler la température de l'eau chaude</i>
10	dispositif de régulation	
11	veilleuse et thermocouple	
12	convertisseur amplificateur	<i>assurer la sécurité du brûleur</i>
13	électro-aimant	
14	clapet du brûleur	
15	clapet de la veilleuse	
16	bouton poussoir de l'allumage	<i>commander l'allumage de la veilleuse</i>

Chauffe eau	instantané à gaz	instantané électrique
<b>Fonctionnement</b>	Les gaz chauds provenant de la combustion traversent un échangeur et cèdent leur chaleur à l'eau froide circulant dans un serpentín ( en général en cuivre, bon conducteur de la chaleur ) de petite section ( faible volume d'eau à chauffer ). L'évacuation des gaz se fait par un conduit de fumée. Les brûleurs sont, en général, atmosphériques équipés d'un allumage piézo-électrique et d'une sécurité par thermo-couple ou par ionisation de flamme	L'alimentation en énergie électrique de la résistance chauffante est commandée par l'ouverture du robinet d'eau chaude. La chaleur est produite par effet Joule et transmise à la tuyauterie par conduction
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• production immédiate d'eau chaude qui est toujours disponible,</li> <li>• pas de limitation du volume ou du temps de puisage,</li> <li>• débit limité : la température de l'eau chaude diminue quand son débit augmente et inversement,</li> <li>• bien adaptés à des puisages fréquents mais à de faibles débits de pointes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pose facile,</li> <li>• souplesse d'utilisation.</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• débit limité : il baisse en cas de puisage simultané à trop de postes,</li> <li>• rigueur nécessaire de l'entretien et de la maintenance.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inertie après puisage,</li> <li>• très faible débit,</li> <li>• entartrage.</li> </ul>
<b>Utilisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• installation fractionnée et décentralisée ou en batterie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• restreinte à 1 seul robinet.</li> </ul>

**Document : Principe des appareils à accumulation de production d'eau chaude sanitaire**



La production d'E.C.S. et sa consommation sont différée. L'E.C.S. produite est stockée dans un réservoir et est ainsi disponible en grande quantité. Le déclenchement du chauffage est commandé par le thermostat, quand la température de l'eau baisse.

Numéro	Légende	Fonction
1	arrivée d'eau froide	<i>alimenter en eau</i>
2	arrivée de gaz	<i>alimenter en combustible</i>
3	brûleur ou résistance	<i>produire la chaleur</i>
4	chambre de combustion	<i>chauffer l'eau</i>
5	échangeur à chicane	
6	conduit d'évacuation des gaz brûlés	<i>extraire les gaz de combustion ( sécurité )</i>
7	sortie d'eau chaude	<i>distribuer l'eau chaude sanitaire</i>
8	sonde du thermostat	<i>réguler la température de l'eau chaude</i>
9	veilleuse et thermocouple	<i>assurer la sécurité gaz</i>
10	dispositif de sécurité ( fusibles ... )	
11	réservoir d'eau chaude	<i>stocker l'eau chaude</i>
12	isolation thermique	<i>limiter les pertes thermique</i>

Cumulus	à gaz	électrique
<b>Fonctionnement</b>	Il s'agit de ballons de stockage calorifugés équipés de brûleurs atmosphériques ou à air soufflé qui se déclenchent dès que la température de l'eau en réserve baisse.	La chaleur est produite par transformation de l'énergie électrique par effet Joule dans des résistances qui plongent dans le ballon et réchauffent l'eau.
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>débit de puisage non limité par l'appareil : le débit de distribution est indépendant du débit de production et seulement lié à la tuyauterie : possibilité de puiser à plusieurs postes en même temps sans voir le débit d'eau chaude baisser.</li> <li>possibilité de programmation.</li> <li>régulation automatique avec plage de réglage suffisamment étendue ( 40 à 90 °C ).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>régulation plus facile et précise.</li> <li>propreté, absence de pollution.</li> <li>possibilité de bénéficier du tarif heures creuses.</li> <li>pose très simple.</li> <li>entretien limité à un détartrage après quelques années si nécessaire.</li> <li>grande variété d'appareils correspondant à presque tous les besoins, capacités de 100 à 1 000 litres.</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>limitation du puisage en temps et en quantité, liée à la capacité du réservoir, et baisse de la température de l'eau en cas de puisage important : l'eau chaude soutirée est remplacée par de l'eau froide qui tend à abaisser la température dans le ballon qu'il faut alors réchauffer.</li> <li>encombrement des appareils.</li> <li>pertes de chaleur à travers les parois du réservoir pendant le stockage et nécessité d'un calorifugeage rigoureux du ballon ( par exemple, 4 cm de polyuréthane ) qui doit limiter les déperditions à un maximum de 5 %.</li> <li>la cuve doit être protégée contre la corrosion et l'entartrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>énergie coûteuse en cas de besoin en heures pleines.</li> </ul>
<b>Utilisation</b>	Bien adaptés à des consommations importantes ( limitées au volume du ballon ), intermittentes et régulièrement espacées dans le temps ( pour permettre la remontée en température après puisage ).	

#### 4.6. CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Un ballon de stockage est installé en série sur une batterie de capteurs solaires. En France, 1 m<sup>2</sup> de capteur produit, selon les régions, 30 à 75 l d'eau à 40 °C par jour.

L'eau circule dans le capteur, se réchauffe en absorbant le rayonnement solaire grâce à l'effet de serre du capteur, elle est puisée ensuite au fur et à mesure dans le ballon. Le fonctionnement est amélioré par un circulateur et une régulation par thermostat.

Il faut restreindre les canalisations afin de limiter les pertes. L'implantation des capteurs (exposition, inclinaison, intégration architecturale) demande beaucoup de soin.

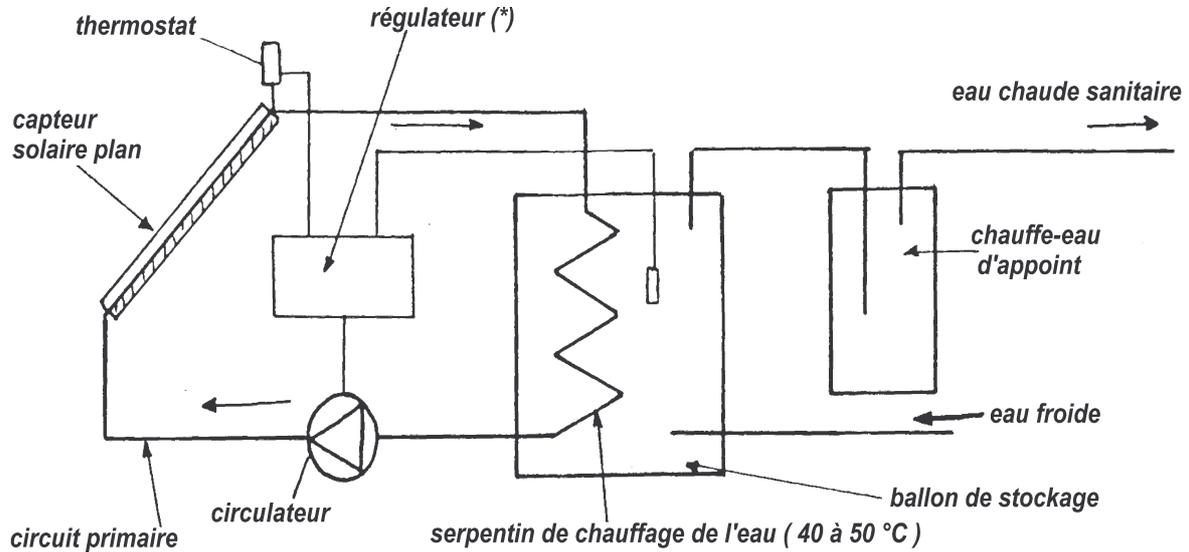
Pour les périodes où l'ensoleillement est insuffisant, il faut prévoir un appoint en une autre forme d'énergie :

- ➔ résistances électriques immergées dans le ballon,
- ➔ générateur gaz ou électrique, ou chauffage central en relève.

Le chauffe-eau solaire peut alors être monté :

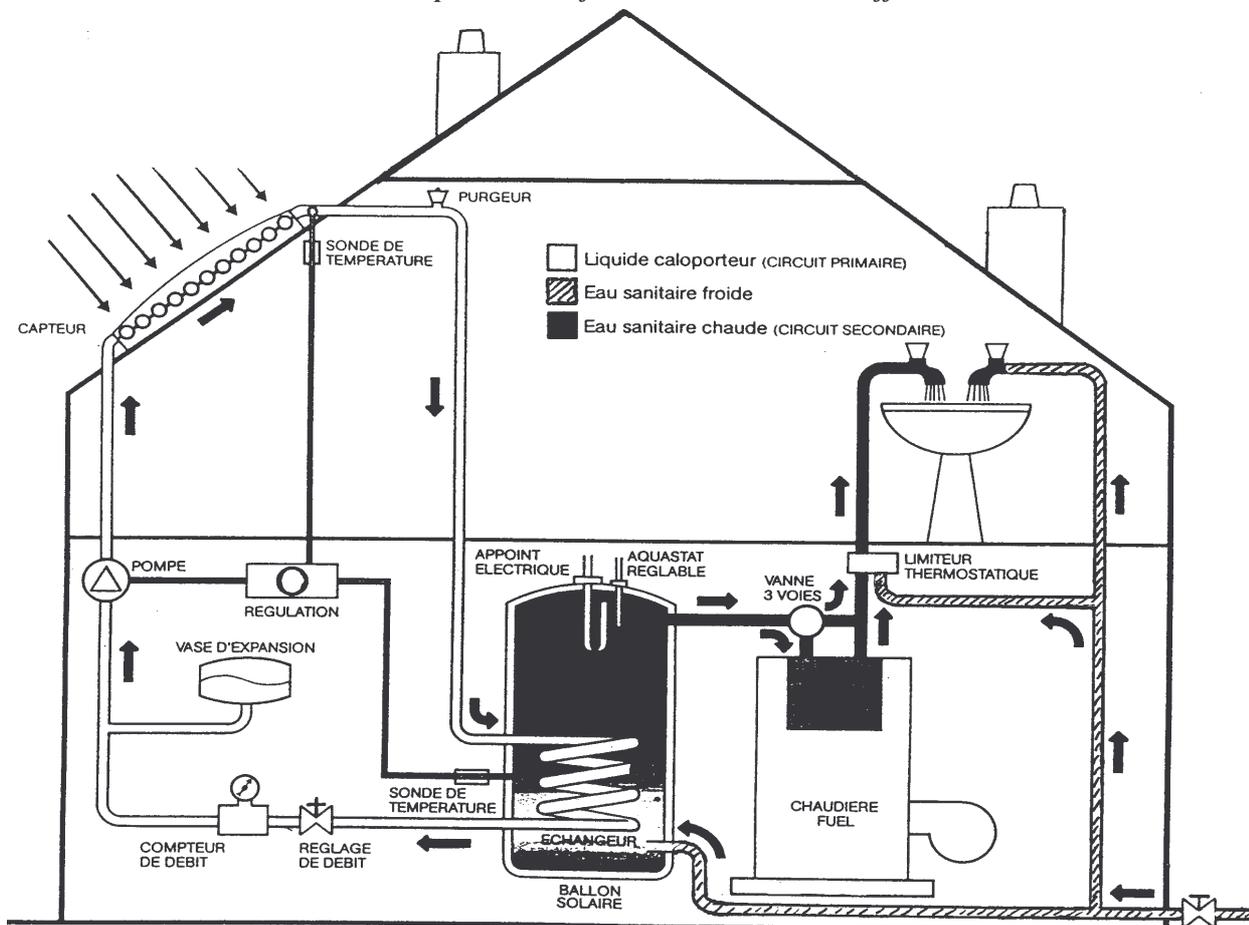
- ➔ en série avec un chauffe-eau instantané ou à accumulation, électrique ou au gaz.
- ➔ en parallèle, avec possibilité d'indépendance de l'eau chaude solaire par rapport à la production classique.

**Document : Montage d'un chauffe-eau solaire**



(\*) la régulation déclenche le fonctionnement du circulateur, lorsque la température à la sortie du capteur est supérieure à celle de l'eau dans le ballon

**Document : Implantation et fonctionnement d'un chauffe-eau solaire**



Le recours au solaire peut permettre de substantielles économies d'énergie par rapport à une production tout électrique ou tout gaz. Mais il convient, dans chaque cas de calculer la rentabilité de l'investissement.

#### 4.7. POMPE A CHALEUR SPECIALISEE EN EAU CHAUDE SANITAIRE

Un ballon d'accumulation et une pompe à chaleur sont associés. La pompe à chaleur, soit absorbe la chaleur dans un local à refroidir (ex : cave) ou sur l'air extérieur, soit récupère de la chaleur perdue (chaufferie, ventilation, eaux usées...).

Le réchauffage du ballon se fait en quelques heures.

La pompe à chaleur doit présenter un CoP (coefficient de performance) de 3 environ.

La puissance électrique consommée par la pompe à chaleur est de 2 W par litre de stockage.

Le coût de l'installation est élevé ainsi que le coût de l'entretien. La rentabilité de cet investissement doit être soigneusement évaluée.

#### 4.8. PRODUCTION D'EAU CHAUDE LIEE AU CHAUFFAGE DES LOCAUX

Un ballon d'accumulation est soit intégré soit accouplé à la chaudière de chauffage central à gaz ou au fioul.

Les chaudières biénergie Electro-fioul permettent de produire l'eau chaude sanitaire ou de chauffage des locaux en choisissant entre le fioul et l'électricité selon les périodes de l'année :

- utilisation à tout moment de l'énergie la moins chère (tarification de l'EDF avantageuse en été et en heures creuses).
- sécurité : pas de risque de rupture de production, deux énergies sont disponibles.
- réduction des contraintes de l'approvisionnement en fioul (en quantité et en fréquence).

#### 4.9. ENTRETIEN

Ces appareils sont menacés par l'entartrage et la corrosion :

- ⇒ utiliser une eau adoucie,
- ⇒ éviter des températures de réglage élevées,
- ⇒ choisir des appareil comportant :
  - soit une cuve émaillée ou galvanisée et une anode
  - soit un réservoir en alliage inoxydable, en cuivre
  - soit des tubes en cuivre.

#### 4.10. REGULATION, SECURITE

##### 4.10.1. Thermostat :

L'organe sensible (canne thermostatique) est placée dans une gaine plongée dans l'eau.

##### 4.10.2. Alimentation en eau :

- le débit d'alimentation doit être suffisant, au moins égal au débit maximal de puisage.
- l'appareil doit être isolé du réseau de distribution par un dispositif anti-retour.
- un régulateur de pression à l'entrée de l'appareil peut être utile (si la pression d'alimentation est trop élevée).
- un robinet de barrage est indispensable sur l'arrivée d'eau à l'appareil.

##### 4.10.3. Raccordement en gaz :

- un robinet de barrage sur la canalisation d'arrivée de gaz à l'appareil est indispensable.
- il est souhaitable d'asservir l'alimentation en gaz à l'extraction des gaz brûlés et au renouvellement de l'air de la pièce (coupure du gaz en cas d'arrêt de la ventilation).

##### 4.10.4. Ventilation

Aération : Un dispositif de ventilation doit assurer un apport d'air extérieur neuf suffisant (0,96 m<sup>3</sup>/h pour 1kw de puissance installée) dans le local où se trouve un appareil de production d'eau chaude au gaz.

Extraction : Les appareils à gaz doivent être raccordés à un conduit d'évacuation en bon état, généralement tubé, par un tuyau d'aluminium, muni éventuellement d'un coupe tirage anti-refouleur.

Certains appareils peuvent être à ventouse quand il n'y a pas de conduits de cheminée.

##### 4.10.5. Alimentation électrique

Les appareils doivent être mis à la terre et protégés par disjoncteurs différentiels.

Ils sont équipés d'un deuxième thermostat, le thermostat de sécurité qui coupe l'alimentation en cas de surchauffe et de défaillance du thermostat de régulation.

### L'EAU CHAUDE SANITAIRE

L'eau chaude sanitaire (E.C.S.) constitue un élément de confort essentiel dans l'habitat d'aujourd'hui.

Le confort passe par la disponibilité permanente d'eau à la température adéquate.

Divers équipements performants ont été développés pour satisfaire ces objectifs.



### USAGES, QUANTITÉS, TEMPÉRATURE

Cuisine : tableau indicatif

température de l'eau °C	50/60	45/50	35/45
volume par puisage en litres	10	2	8
	vaisselle	cuisine	entretien

Pour les usages "cuisine" la température est élevée (de l'ordre de 50° C) alors que les volumes puisés sont faibles. Ces besoins diminuent avec l'usage du lave-vaisselle.

Salle de bain : tableau indicatif.

température de l'eau °C	30/35	30/40	35	30/35
volume par puisage en litres	10	30	10	2
	toilette lavabo	douche bain	lessive délicate	lavage mains

### CONSOMMATION et CÔÛT\*

Postes à alimenter	Nombre de personnes au foyer	Besoins annuels en m³ à 60° C	Coût annuel moyen en F (TTC)	
			Fuel	Elec**
Evier + lavabo	1-2	18 à 25	430 à 600	725 à 1 000
			480 à 720	805 à 1 205
Lavabo + petite baignoire	3-4	20 à 30	590 à 890	805 à 1 205
			835 à 1 080	1 030 à 1 810
Evier + lavabo + douche	3-4	35 à 45	955 à 1 320	1 180 à 2 210
			1 200 à 1 700	1 470 à 2 815
Evier + lavabo + grande baignoire (+ douche)	5-6	50 à 70	1 700 à 2 065	2 065 à 2 815
			1 320 à 1 620	1 620 à 2 210

Le prix du m³ d'eau froide est intégré dans le tableau et compté à 10 F.

\* Coût au 01.10.88 calculé en tenant compte d'un rendement moyen des appareils, des primes fixes, des taxes.

\*\* Avec un coût du kWh en tarification "heures creuses" (0,52 F moy. TTC).

### LES MÉTHODES DE PRODUCTION

#### 2 principes :

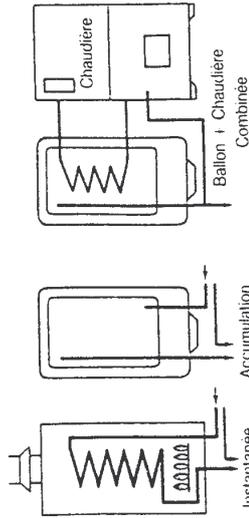
##### Production instantanée

L'eau est chauffée au moment même de la demande.

##### Production par accumulation

L'eau est chauffée et maintenue en température dans un réservoir soigneusement calorifugé.

Notez qu'il existe aussi une solution hybride, compromis des deux principes : la production combinée.



### LES APPAREILS DE PRODUCTION

#### ... CHAUFFE INSTANTANÉE

Énergie : Fuel

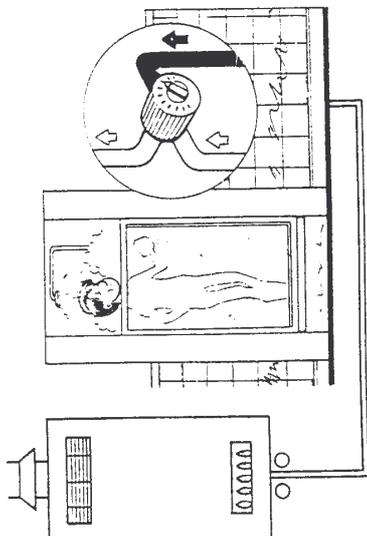
Il n'existe pas de systèmes indépendants qui assurent à eux seuls la production E.C.S.

Énergie : Électrique

Ces appareils n'ont qu'une diffusion restreinte, compte tenu du coût de la puissance à souscrire par la clientèle (10 kW et plus).

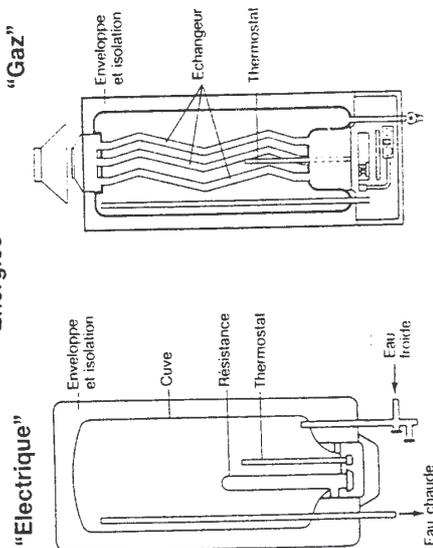
Energie : Gaz

Type d'appareil	Chaufe-bains ou chaudières double-service			
	Chaufe-eau	17,5	22,7	28
Puissance installée en kW	8,7			
Débit en l/min pour une élévation de température de 25°C	5	10	13	16



... PAR ACCUMULATION

Energies



ACCUMULATION ELECTRIQUE

A partir de 100 litres, il est préférable de choisir le "double tarif jour-nuit".

La mise en température du volume d'eau se fait la nuit pour bénéficier d'un tarif préférentiel.

Le label PROMOTELEC fixe les capacités suivantes :

Nombre de pièces	Volume de stockage	Nombre d'occupants	Puissance installée
1	75l	1	1 kW
2	100l	2-3	1,2 kW
3 à 5	200l	3-4	2,4 kW
+ de 5	300l	4-6	3,6 kW

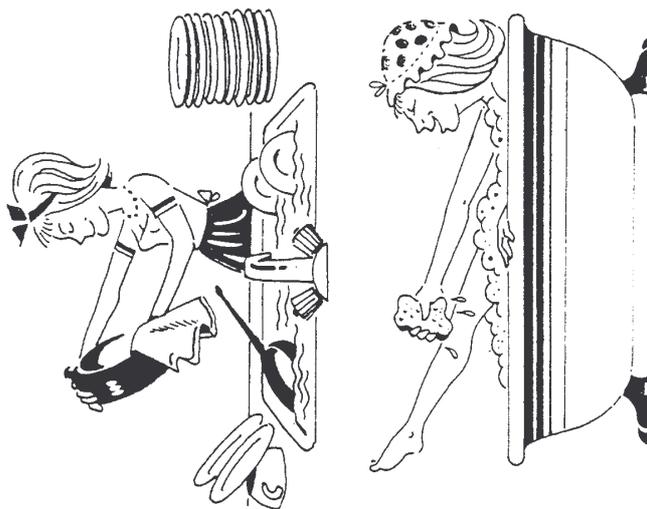
ACCUMULATION AVEC LA CHAUDIERE

(Fuel, gaz, bois, charbon)

Capacité en litres	Quantité d'eau disponible à 40° C (°) en litres	Temps de réchauffage après puisage de cette quantité en minutes
75	125	20 maximum
100	165	20 maximum
150	235	20 maximum
** 75	240	7 environ
100	300	10 environ
150	360	14 environ

\* Chaudière mixte ou double service de 23,2 KW associée à un ballon équipé d'un échangeur.

\*\* Chaudière double service de 23,2 KW qui permet de puiser sur le ballon, la chaudière, ou les deux à la fois.



ACCUMULATION GAZ

Capacité en litres	Puissance utile en kW	Quantité d'eau disponible à 40° C (°) en litres	Temps de réchauffage après puisage de cette quantité en minutes
75	7	140	43 environ
75	14	140	21 environ
100	9	180	60 environ
150	10,5	270	75 environ
150	14	280	43 environ
200	12,5	360	75 environ

(°) L'eau chaude est stockée à 65° C, la température de l'eau froide est de 15° C et la température de 40° C est obtenue par mélange.

## VERS UN CONFORT ÉCONOMIQUE

### Énergie électrique

Adaptez votre puissance souscrite en fonction de la capacité du ballon.  
 inférieur à 100 litres → Tarif simple  
 100 litres et plus → Double tarif

### Énergie Gaz

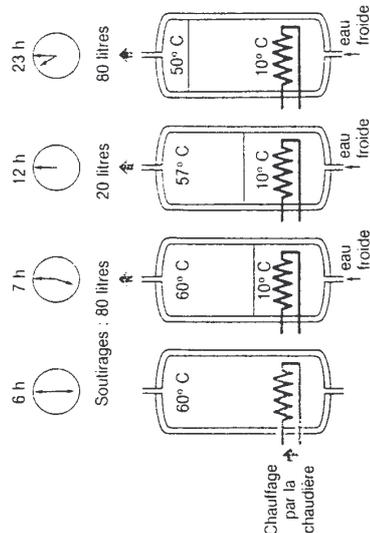
La majorité des appareils disposent d'un système automatique piézoélectrique allumant une veilleuse, d'autres bénéficient de l'allumage automatique sans veilleuse et permettent un gain d'énergie appréciable. Une veilleuse fonctionnant 24 h sur 24 consomme en moyenne 1 200 kWh l'an, pour rien. N'hésitez pas à interrompre son fonctionnement la nuit.

### Énergie Fuel

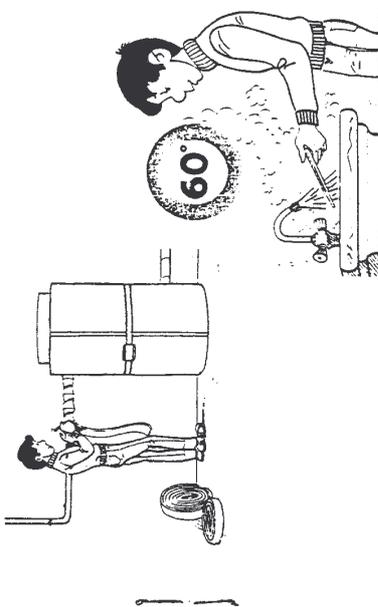
Une chaudière fuel ou gaz, assurant le chauffage et la production E.C.S. a un rendement qui diminue en fin de saison de chauffage pour devenir minimum l'été.

Une solution parfois intéressante ; le ballon de stockage extérieur à la chaudière avec une mise en température programmée.

### Évolution des températures dans un ballon de stockage de 200 litres.

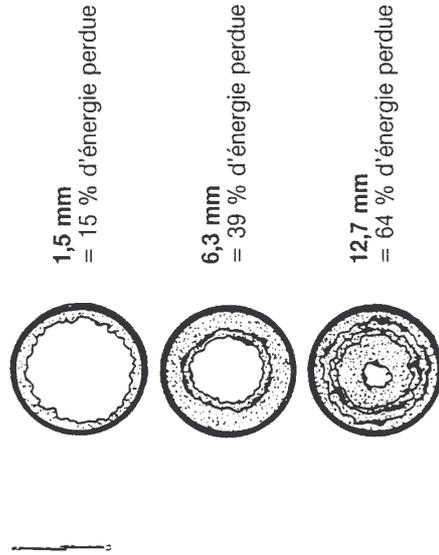


Quelle que soit l'énergie utilisée, il est recommandé de limiter la température au robinet (évier, lavabo) à 50/60° C. L'obtention d'une température plus élevée exige plus d'énergie. En outre les phénomènes d'entartrage et de corrosion sont beaucoup plus intenses.



### Le tartre

Suivant les régions il est parfois rentable d'installer après le compteur d'eau un poste de traitement de l'eau de ville.



### E.C.S. AVEC LE SOLÉAUX

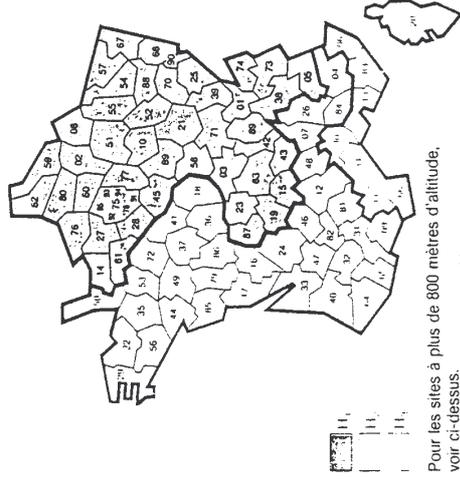
Le chauffe-eau solaire permet selon les régions de couvrir 40 à 60 % des besoins annuels.

A titre indicatif le tableau suivant indique les surfaces de capteurs et la capacité de stockage correspondante.

Nombre de personnes	M2 de capteurs	Ballon de stockage
2	1 à 2	50 à 150 l
3	1,5 à 2,5	100 à 200 l
4	2 à 3	150 à 250 l
5	2,5 à 4	200 à 300 l
6	3 à 5	250 à 400 l

Pour les zones H 1 et H 2 prévoir une surface de capteurs supérieure, 20 à 50 % environ.

Toutefois, les constructions situées à plus de 800 mètres d'altitude sont en zone H 1 lorsque le département est indiqué comme étant en zone H 2 ; et elles sont en zone H 2 lorsque le département est indiqué comme étant en zone H 3.



Pour les sites à plus de 800 mètres d'altitude, voir ci-dessus.

\* Demandez la fiche Chauffe-eau solaire individuel N° 744.

**AVEC POMPE A CHALEUR \***

La solution est onéreuse à l'achat mais très économe en énergie à l'exploitation quand l'appareil est libéré pour la production d'eau chaude.

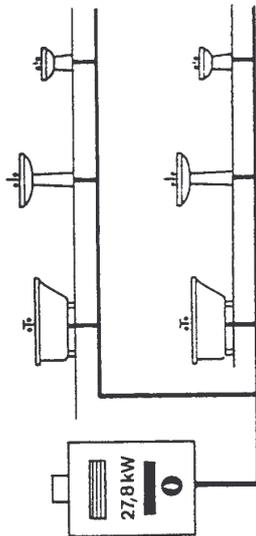
**A QUALITÉ DU SERVICE**

Il est l'aptitude qu'a l'installation de répondre, à tout moment, aux exigences du consommateur pour son confort.

**Température** : ni trop chaud ni trop froid avec une stabilisation au cours du puisage sans la nécessité d'un réglage "périlleux" (température,

\* voir la fiche "Pompe à chaleur" N° 829.

**Le volume** : quantité permettant de répondre en permanence aux besoins de l'utilisateur.



**Le débit** : disposer d'un débit suffisant à bonne température.

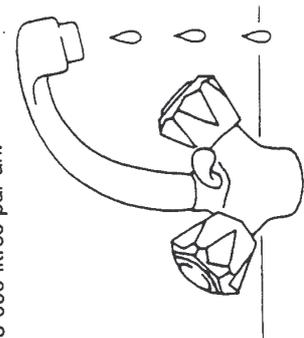
Les exigences de confort sont élevées pour une douche, moindres pour le bain, faibles pour les travaux ménagers.

**Les solutions existent**

- Réduisez dans la mesure du possible les distances qui séparent l'appareil de production des robinets.
- Pour les grandes distances, prévoyez un appareil par groupe de robinets.
- Évitez tout stockage d'E.C.S. dans une pièce non chauffée.
- Choisissez des appareils dont la puissance et le volume de stockage sont adaptés aux besoins attendus.

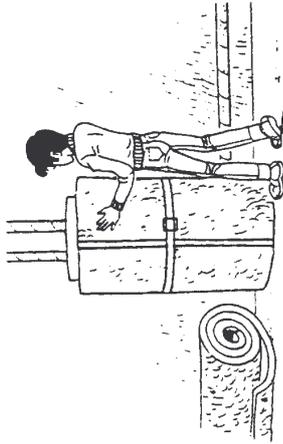
**Supprimez les fuites**

Par un robinet qui goutte vous perdez entre 2 000 et 8 000 litres par an.

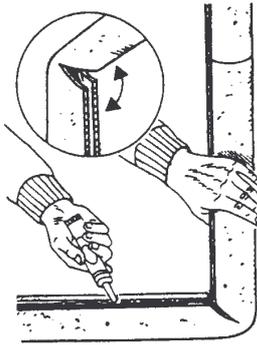


**Calorifugez (ballon et canalisation)**

En une année les pertes d'un ballon de 200 litres peuvent atteindre 500 kWh soit l'équivalent de la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température de 8 600 litres d'eau de 50° C.



Placé dans les mêmes conditions 10 m de tuyauterie reliant le ballon aux points de puisage perdront 65 kWh en une année.



**Utilisez rationnellement l'E.C.S.**

Un certain nombre de dispositifs permettent de limiter les dépenses en énergie en garantissant un meilleur confort.

**Le réducteur de pression**

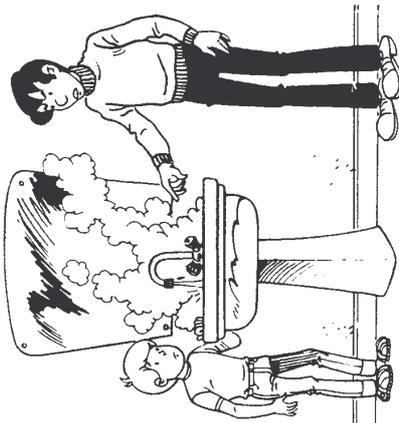
Généralement placé à l'entrée de l'installation, il assure un meilleur fonctionnement et une usure moindre des robinets.

**Le réducteur de débit**

Visé en bout de robinet ou des pommes de douche, il réduit de 9 à 6 litres/mn le débit tout en conservant le même confort.

**PRIX DE REVIENT E.C.S.\***

Le mitigeur thermostatique permet l'obtention d'une température d'eau programmée à l'avance ce qui supprime les tâtonnements et les brûlures.



**QUE CHOISIR ET COMMENT ?**

C'est l'énergie choisie pour le chauffage de l'habitation qui conditionne la solution E.C.S.

Pavillon tout électrique E.C.S. par ballon accumulation avec option tarifaire "double tarif".

Chauffage gaz (gaz de réseau : gaz naturel) (gaz de pétrole liquéfié : butane propane) E.C.S. par chauffe-eau, chauffe-bain ou chaudière mixte, instantanée et accumulation.

Chauffage FUEL, BOIS, CHARBON E.C.S. par la chaudière et ballon incorporé ou désolidarisé. E.C.S. avec chaudière électrofuel et tarification E.D.F. E.J.P. (Efficacement jour de pointe).

NATURE DES INSTALLATIONS 1986 / 1987	Nature abonnement GDF - EDF	EAU CHAUDE SANITAIRE		
		Consommation annuelle (Unité de facturation)	Depense annuelle F.T.C./an	F.T.C./m³ eau chau.
CHAUFFAGE "DIVISE" CHAUFFAGE CENTRAL MONO-ENERGIE	CHAUFFAGE: convecteur	15 TS	2240	56,1
	EAU CHAUDE: ballon	15 TD	1490	37,2
	CUISINE:	18 TD	1580	39,3
	CHAUFFAGE: chaudière	6 TS	3670 kWh PCS	17,3
	EAU CHAUDE: chaudière	B21 9 TS		
	CUISINE:	6 TS	3130 kWh PCS	15,2
	CHAUFFAGE: chaud. condens.	B1 9 TS		
	EAU CHAUDE: chaud. condens.	6 TS	280 kg	29,6
	CUISINE:	9 TS		
	CHAUFFAGE: chaudière	6 TS	420 litres	19,3
	EAU CHAUDE: chaudière	9 TS		
	CUISINE:	6 TS	3100 kWh	44,8
CHAUFFAGE: chaudière	9 TS			
EAU CHAUDE: ballon	9 TD	2070	51,9	
CUISINE:	12 TD			
CHAUFFAGE: chaudière	9 TS	2460	61,4	
EAU CHAUDE: ballon	9 TD			
CUISINE:	12 TD	2130	53,2	
CHAUFFAGE: chaudière	9 TS			
EAU CHAUDE: ballon	9 TD	2460	61,4	
CUISINE:	12 TD			
CHAUFFAGE CENTRAL BI-ENERGIE	CHAUFFAGE: Pac air-eau + chaudière	FIQUL + 9 TD	1360	34,1
	EAU CH.: ballon	FIQUL + 12 EJP	1380	34,6
	CHAUFFAGE: chaudières + ballon	FIQUL + 12 TD	1290	32,2
	EAU CH.: ballon	FIQUL + 12 EJP	1300	32,6
	CHAUFFAGE: chaudière	9 TS	2460	61,4
	EAU CHAUDE: ballon	9 TD	1830	45,8

\* Extrait des fiches "Energie quelles dépenses ?"

# CHAPITRE 5 : TRAITEMENT DE L'AIR

## 1. FONCTIONS DES SYSTEMES DE CONDITIONNEMENT DE L'AIR

### 1.1. ROLE DU CONDITIONNEMENT DE L'AIR

Il vise à assurer une sensation de confort que les conditions atmosphériques, climatiques et phoniques des milieux extérieur et intérieur ne permettraient pas.

- pureté et propreté de l'air entretenue
- cubage suffisant de 10 à 15 m<sup>3</sup> d'air au moins par personne,
- teneur en CO<sub>2</sub> inférieure à 1/1000 (d'où un renouvellement minimum nécessaire de l'air de 30 à 50 m<sup>3</sup>/h par personne),
- température l'hiver de 16 à 19 °C pour les sédentaires, de 12 à 16 °C pour les actifs et l'été de 22 à 24 °C ( 5 à 7 °C maxi en dessous de la température extérieure afin de ne pas exposer les occupants à des variations thermiques désagréables et génératrices de maux de gorge.)
- degré hygrométrique d'environ 50 % ,
- vitesse de circulation de l'air inférieure à 0,5 m/s (dans les locaux pour individus au repos : 0,1 à 0,25 m/s maximum),
- niveau sonore confortable. (Le niveau de bruit provoqué par les installations de climatisation doit être inférieur à 40 décibels.)

Il doit donc :

- ◆ maintenir l'ambiance des locaux dans la zone de confort,
- ◆ épurer l'air de renouvellement et l'air recyclé,
- ◆ ne pas élever le niveau sonore ambiant,
- ◆ assurer :
  - le refroidissement ou le réchauffement,
  - l'humidification ou la déshydratation,
  - le filtrage et le dépoussiérage,
  - l'introduction d'air neuf,
  - l'extraction de l'air vicié,
  - la mise en mouvement de l'air.

### 1.2. FONCTIONS TECHNIQUES DU CONDITIONNEMENT D'AIR

- ◆ Aspiration de l'air pur par un ventilateur.
- ◆ Régulation de sa température dans des échangeurs thermiques alimentés en eau chaude (ou autre calorifère) produite par un système de chauffage ou en eau glacée produite par une machine frigorifique.
- ◆ Humidification ou dessiccation dans un récipient laveur (si celui-ci contient de l'eau plus chaude que l'air, l'air s'humidifie, sinon il se dessèche).
- ◆ Dépoussiérage sur des filtres.
- ◆ Refoulement de l'air conditionné dans le local par un ventilateur.

Fonctions	Systèmes de traitement de l'air		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraction de l'air vicié</li> <li>• Filtration de l'air extrait</li> <li>• Renouvellement de l'air : aération ou introduction d'air neuf</li> </ul>	<b>VENTILATION</b>	<b>CLIMATISATION</b>	<b>CONDITIONNEMENT TOTAL OU PARTIEL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refroidissement de l'air</li> <li>• Réchauffement de l'air</li> <li>• Filtration de l'air introduit (traitement des microbes, des odeurs et des poussières)</li> <li>• Contrôle de l'hygrométrie (déshydratation ou humidification)</li> </ul>			

## 2. CLIMATISATION DES LOCAUX

### 2.1. PROCÉDES DE CLIMATISATION

#### 2.1.1. Climatisation centralisée

L'air est conditionné centralement, pulsé par une soufflerie et distribué par un réseau de gaines. Il s'agit d'un système de circulation d'air dont la température et l'humidité sont calculées pour assurer un confort thermique optimal. Une régulation maintient constante la température dans chaque pièce.

#### 2.1.2. Climatisation divisée

La climatisation de l'air se fait dans le local à climatiser, soit par traitement total :

- climatiseur individuel (pour petit local)
- centrale de climatisation autonome (pour local important)

soit par traitement complémentaire à un conditionnement centralisé :

- ventilo-convecteurs (alimentés en eau froide ou chaude produite centralement),
- éjecto-convecteurs ou inducteurs d'air (alimentés en air primaire par une centrale produisant de l'air à haute pression et haute vitesse et en eau froide ou chaude produite centralement).

### 2.2. TYPES D'APPAREILS

Les appareils de climatisation sont, pour la plupart, des machines frigorifiques à pompe à chaleur destinées au rafraîchissement de l'air. On trouve 2 grandes catégories de climatiseurs :

- ⇒ à détente directe : c'est l'évaporateur du circuit frigorifique qui rafraîchit directement l'air.
- ⇒ à fluide intermédiaire : l'air est refroidi au contact d'un fluide, lui-même refroidi par le circuit frigorifique.

Les principales caractéristiques de ces appareils sont la puissance électrique moyenne consommée (en W) et leur puissance frigorifique, exprimée en watts (W) dans le SI et souvent en frigories par heure (fg/h).

(Rappel: 1 fg = - 1 kcal = - 1 mth = - 4180 J et 1 fg/h = 1,16 W)

Certains groupes permettent de réchauffer l'air l'hiver s'ils sont munis de résistances chauffantes ou d'un système d'inversion de la pompe à chaleur.

### 2.3. CLIMATISEURS INDIVIDUELS

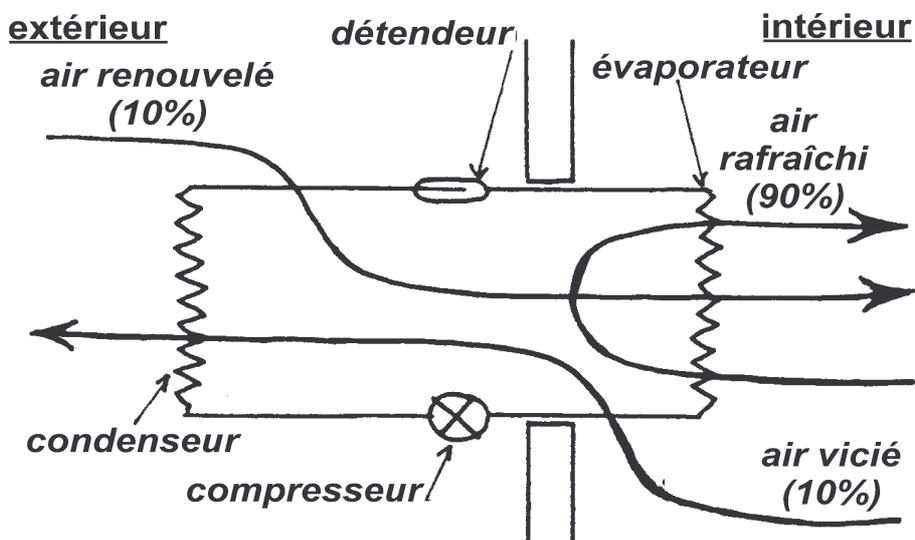
#### 2.3.1. Window-unit (ou climatiseur compact à condensation par air)

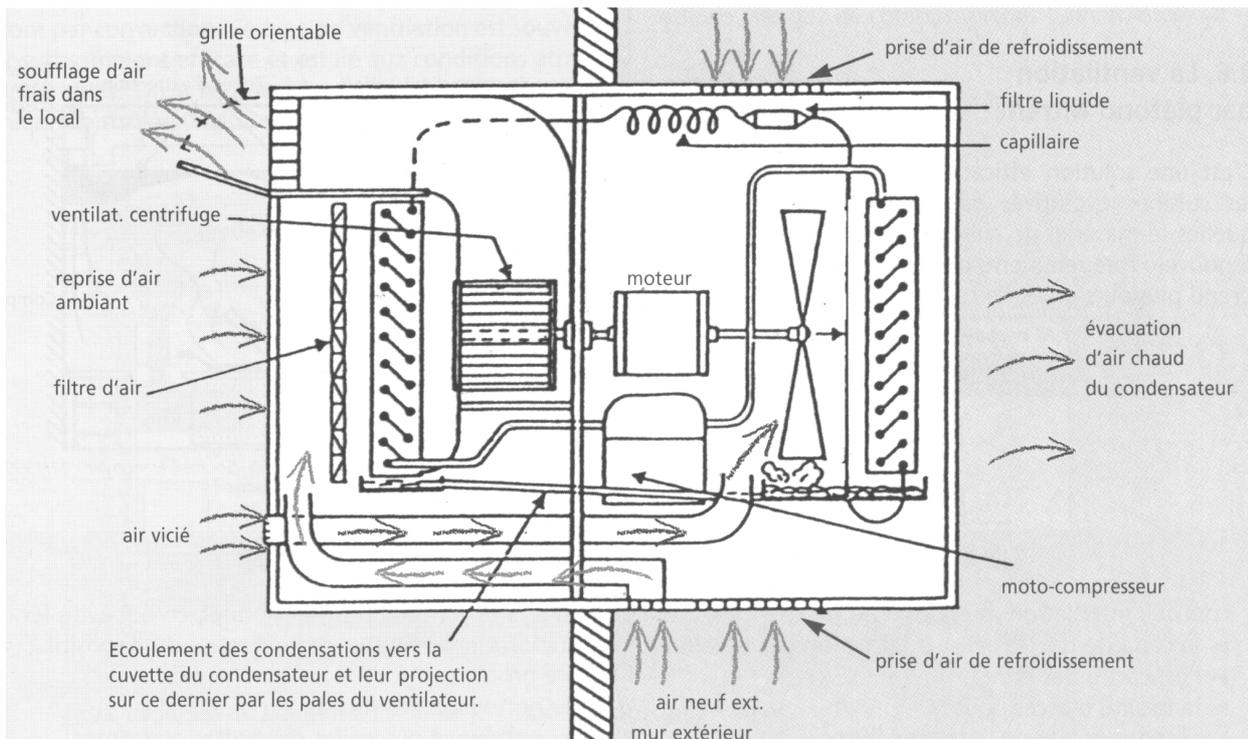
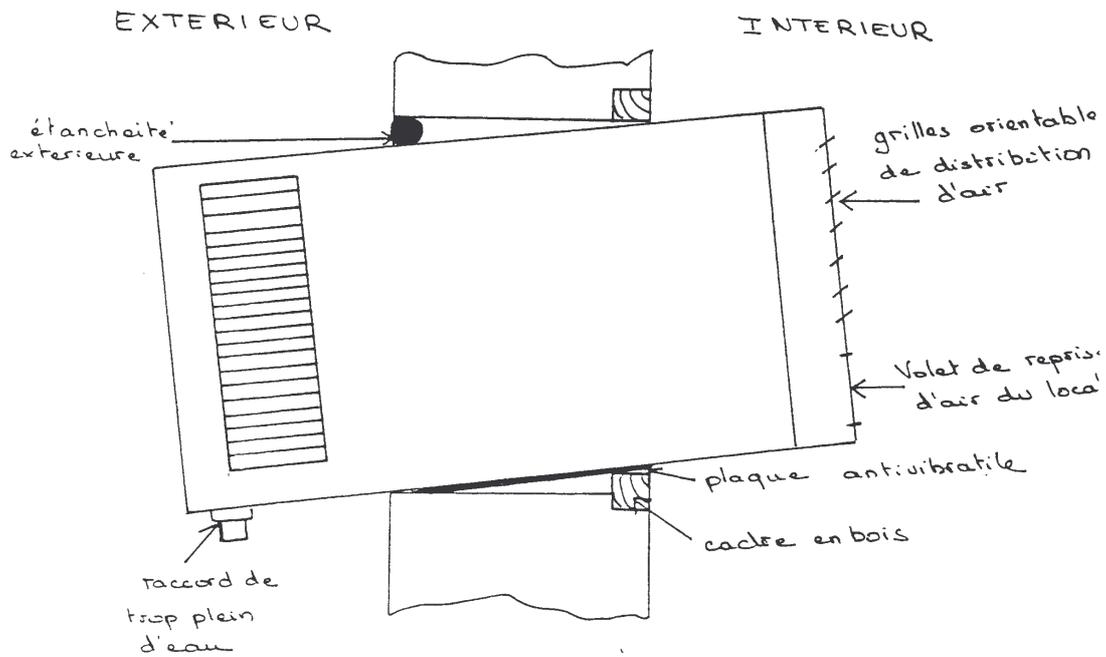
C'est un appareil monobloc constitué d'un groupe frigorifique à compression et destiné à climatiser une seule pièce.

L'air à rafraîchir est prélevé dans la pièce, filtré puis déshumidifié et refroidi en passant sur l'évaporateur (dont la température est inférieure au point de rosée). L'air de renouvellement venant de l'extérieur suit le même trajet.

L'air vicié (dont le volume correspond à l'air de renouvellement) est expulsé à l'extérieur en entraînant les condensats (eau condensée sur l'évaporateur provenant de la déshumidification de l'air de la pièce). Un moteur entraîne le ventilateur d'extraction de l'air vicié et le ventilateur d'aspiration de l'air à rafraîchir et de distribution de l'air traité.

Le condenseur du groupe frigorifique est refroidi par l'air extérieur, à l'aide du ventilateur servant à l'extraction de l'air vicié.



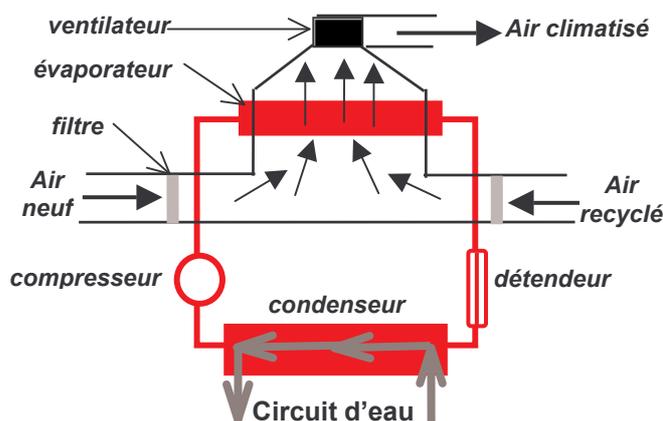


(Source : manuel de conditionnement d'air - Editions Pyc Livres)

- ◆ appareils inesthétiques et bruyants.
- ◆ puissance frigorifique : 1 500 à 7 000 W
- ◆ débit d'air : 300 à 1 100 m<sup>3</sup>/h
- ◆ volume du local de 30 à 180 m<sup>3</sup>

### 2.3.2. Console à eau (ou climatiseur compact à condensation par eau)

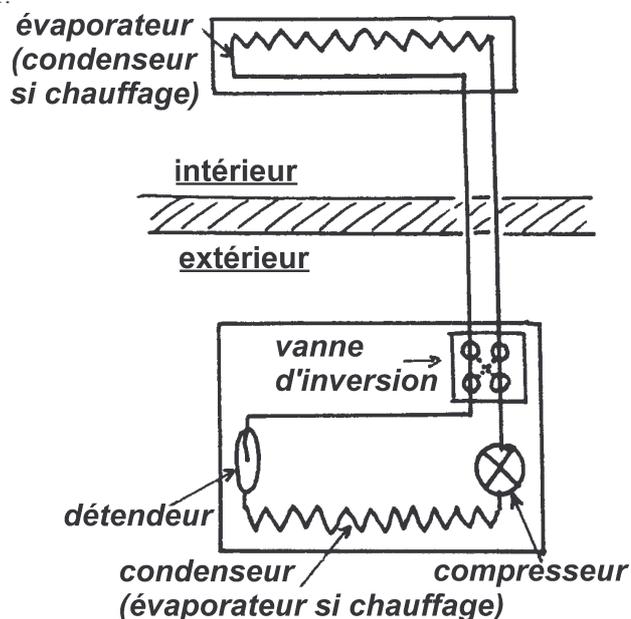
- ◆ caractéristiques et destinations identiques à celles des précédents, seule différence : le refroidissement du condenseur se fait par une circulation d'eau.
- ◆ appareil à l'intérieur de la pièce et ainsi pas de problèmes d'esthétique de façade ou de local aveugle.
- ◆ niveau sonore est plus faible.
- ◆ arrivée et évacuation d'eau nécessaire (les condensats à l'évaporateur n'étant pas entraînés, comme précédemment, par l'extraction de l'air vicié, doivent être évacués).
- ◆ coût d'exploitation plus important.
- ◆ consommation d'eau importante (200 l/h pour un groupe de 2 000 fg/h).



### 2.3.3. Split-system (ou climatiseur 2 blocs)

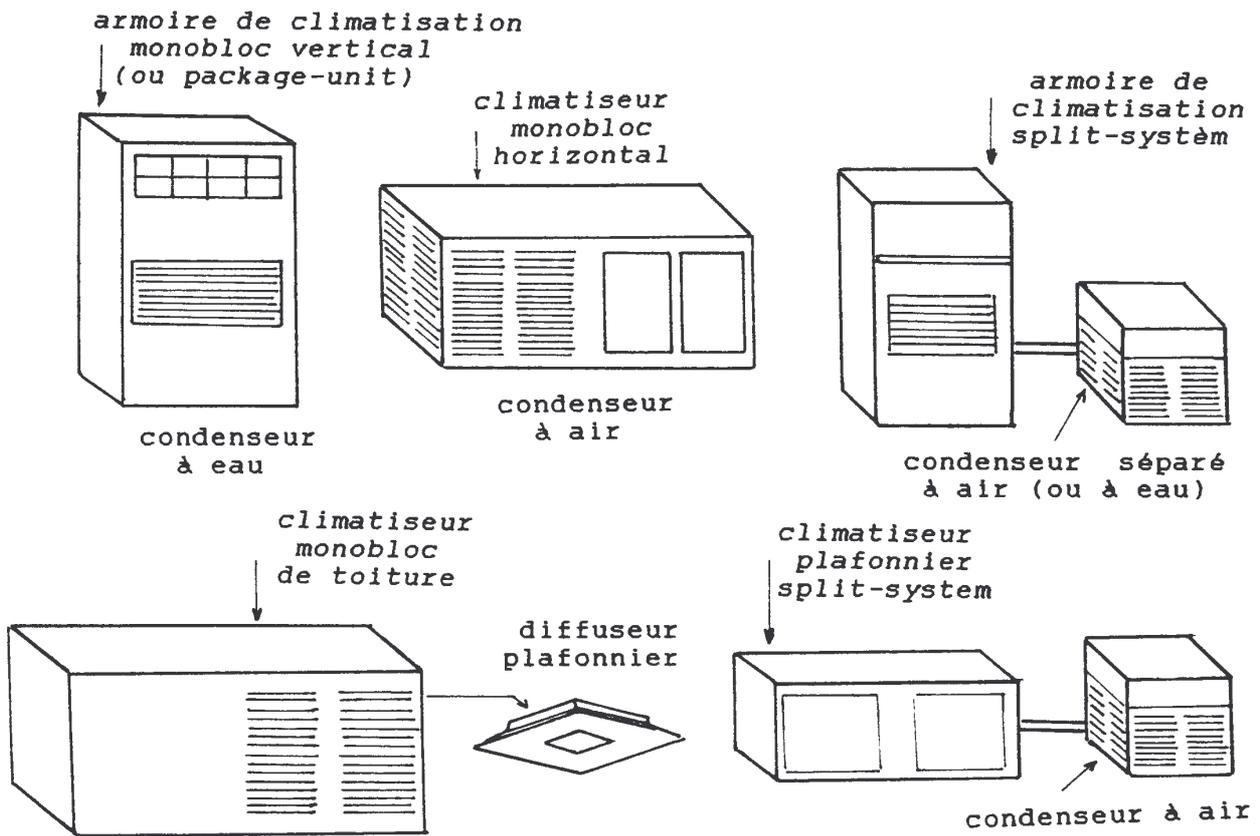
L'appareil est partagé en 2 :

- un caisson intérieur de traitement de l'air (mural, plafonnier, au sol ou sur console) qui comprend la batterie-évaporateur, une turbine de ventilation, en général à 2 vitesses, des déflecteurs multi-directionnels réglables pour le soufflage de l'air traité, des filtres (souvent en polyuréthane) qu'il faut nettoyer fréquemment et changer tous les 25 à 30 lavages.
- un bloc (compresseur et condenseur ventilé) à l'extérieur.
  - ◆ confort sonore amélioré,
  - ◆ installation simplifiée : un seul percement dans un mur ou une cloison pour le passage des 2 tubes de liaison frigorifique, du tuyau d'écoulement d'eau polluée (condensats) et du raccordement électrique.
  - ◆ puissance frigorifique : de 1 500 à 9 000 Watts.



## 2.4. CENTRALES AUTONOMES DE CLIMATISATION

- **Armoires de climatisation monobloc verticales (ou package-unit)**
  - ◆ destinées à traiter directement l'air d'un local, ou d'un groupe de locaux, de 2 000 à 4 000 m<sup>3</sup>.
  - ◆ organes de l'appareil regroupés dans une armoire verticale de 1 à 3 m<sup>3</sup>.
  - ◆ groupe frigorifique à compresseur et à condenseur refroidi par eau.
  - ◆ prise d'air de renouvellement, prise d'extraction de l'air vicié et soufflerie pour la distribution de l'air traité.
  - ◆ puissance frigorifique : 10 à 20 kW.
  - ◆ débit d'air : environ 2 000 m<sup>3</sup>/h
- **Climatiseurs monoblocs horizontaux** : Similaires aux précédents mais de puissance plus importante ( 35 000 à 45 000 W ), à condenseur à air et mis en place de part et d'autre d'un mur extérieur.
- **Armoires de climatisation split-system** : Appareils, de puissance très élevée (10 à 175 kW), avec un condenseur (à eau ou à air) séparé de l'armoire.
- **Climatiseurs plafonniers split-system** : Similaires aux précédents, installés dans les combles, les faux plafonds ou les vides sanitaires. Puissance de 45 à 60 kW.
- **Climatiseurs monoblocs de toiture** : Mis en place sur une terrasse ou un toit de faible pente, pour traiter un grand local situé en dessous, l'installation est très simple. Le soufflage de l'air traité se fait souvent par un seul diffuseur plafonnier de grande surface.



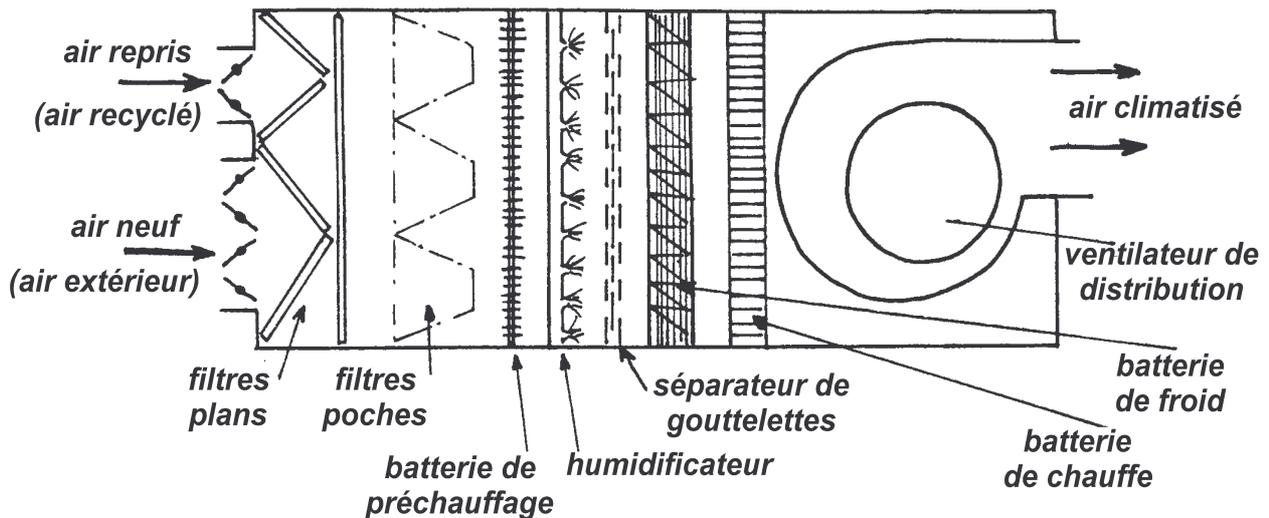
### 2.5. CLIMATISATION CENTRALE AVEC DISTRIBUTION PAR GAINES

Les appareils nécessaires au traitement de l'air (filtrage, réfrigération ou réchauffage, déshumidification...) sont centralisés dans un local :

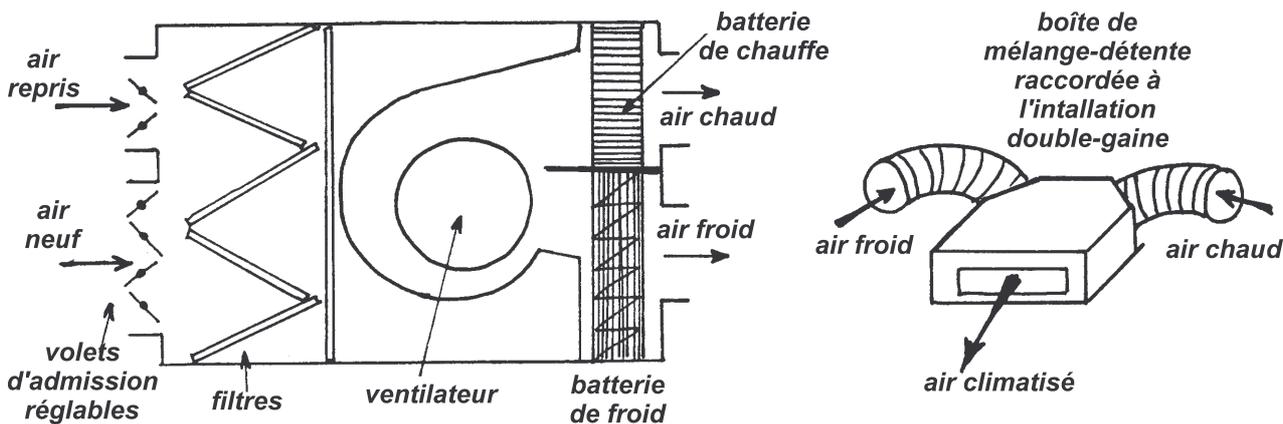
- ⇒ d'où part un réseau de gaines de distribution de l'air traité,
- ⇒ où aboutit un réseau de gaines de reprise d'air (air recyclé),
- ⇒ où aboutit un réseau de gaines d'amenée d'air extérieur pour le renouvellement.

puissances élevées jusqu'à 400 à 450 kW.

- Installation mono-gaine : Une seule gaine distribue, à basse pression et à basse vitesse, l'air traité par des bouches, des grilles de soufflage ou des plafonds perforés. La température et l'humidité sont sensiblement les mêmes partout, pas de réglage individuel possible.



- Installation double-gaine : Deux réseaux de gaines distribuent, à haute pression et à haute vitesse, de l'air chaud d'une part, et de l'air froid d'autre part. Le mélange se fait au niveau de chaque étage, ou de chaque groupe de pièces, voire de chaque pièce, dans des boîtes de mélange-détente. Cela permet un réglage de la température et de l'humidité de l'air traité au niveau de chaque boîte.

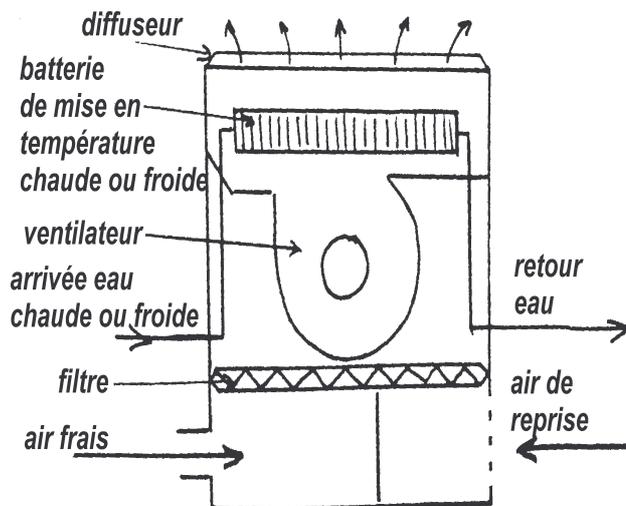


### 2.6. VENTILO-CONVECTEURS

Une installation centrale alimentée en eau froide ou en eau chaude, ou les deux, des ventilo-convecteurs qui traitent individuellement l'air de chaque pièce à climatiser.

Le *ventilo-convecteur* est constitué :

- 'une ou deux batteries d'échange alimentées en eau chaude ou froide.
- d'un ventilateur qui fait circuler l'air du local et le fait passer sur la batterie d'échange où il se refroidit (ou réchauffe).
- pour assurer le renouvellement de l'air, une ouverture vers l'extérieur derrière l'appareil permet d'extraire l'air vicié et d'introduire de l'air neuf.
- l'eau chaude (de 40 à 90 °C) provient en hiver d'une chaudière, l'eau froide, en été, vient d'un groupe frigorifique à distance dit "à eau glacée".

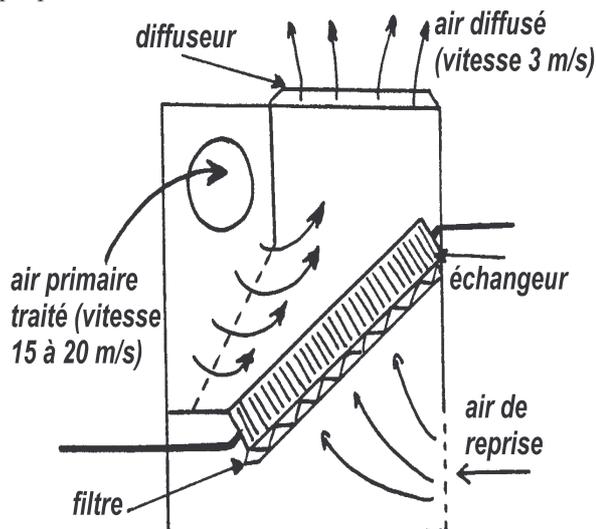


Ces appareils silencieux et peu encombrants peuvent être réglés appareil par appareil.

### 2.7. EJECTO-CONVECTEURS

Les *éjecto-convecteurs* traitent individuellement l'air de chaque pièce à climatiser.

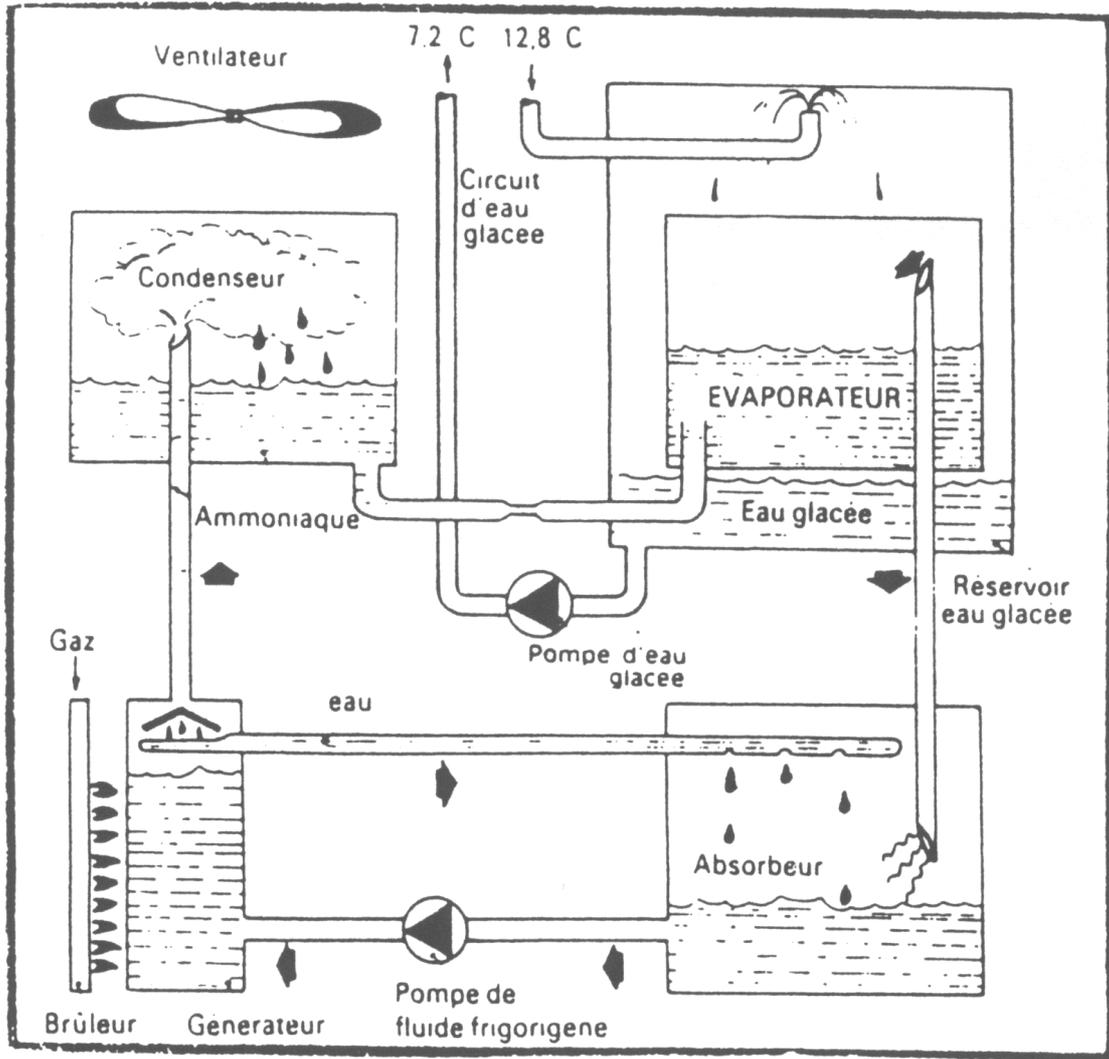
Ils sont alimentés, d'une part en eau chaude ou froide, ou les deux (installations à 2, 3 ou 4 canalisations) produites centralement, et d'autre part, en air conditionné centralement et distribué par gaine à haute pression et haute vitesse, sous une température de 10 à 15 °C, appelé air primaire. Cet air primaire va se mélanger dans l'éjecto-convecteur (appelé aussi inducteur), en proportions réglables, avec l'air de la pièce, ou air secondaire, qui est soit refroidi, soit réchauffé en traversant les batteries d'échange. L'éjecto-convecteur ne possède pas de ventilateur. C'est la détente de l'air primaire qui crée une dépression et entraîne l'air de la pièce à travers l'échangeur, à la sortie duquel il se mélange à l'air primaire. Ce mélange est ensuite propulsé dans le local sous l'effet de la vitesse acquise par l'air primaire. On dit que le mélange entre l'air primaire et l'air secondaire s'est effectué par induction.



### 2.8. CLIMATISEUR A GAZ

Il s'agit d'un climatiseur dont le groupe frigorifique est à absorption ( avec un brûleur à gaz) qui produit de l'eau glacée. La distribution se fait par eau (ventilo-convecteurs) ou par air (gaines et bouches de diffusion). Très intéressant en cas de source de chaleur bon marché.

Document : Machine frigorifique de climatisation à absorption

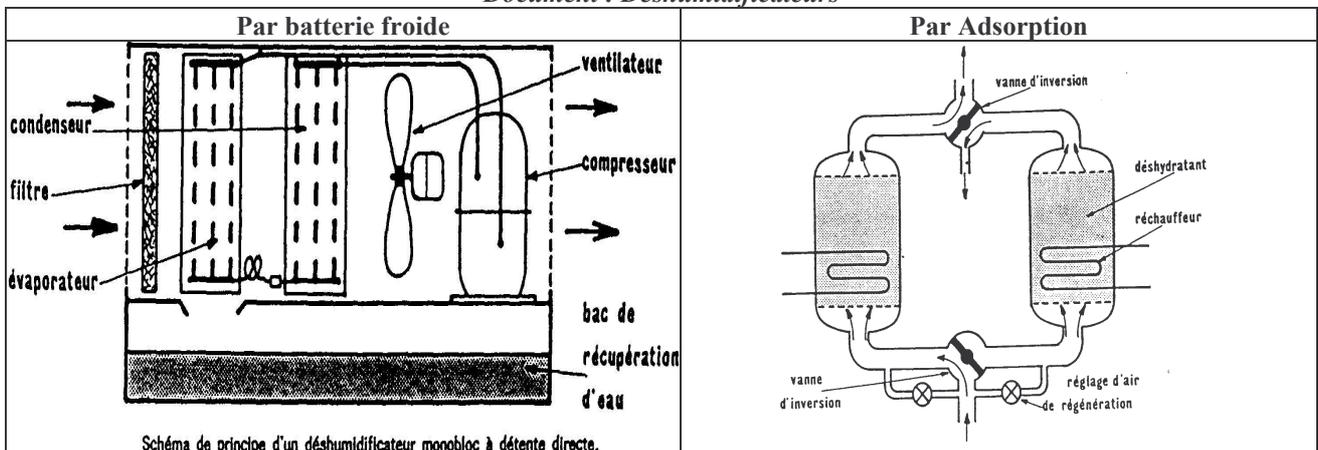


2.9. DESHUMIDIFICATEURS

Opération coûteuse en matériel et en exploitation

- ◆ **A batterie froide** : La vapeur d'eau contenue dans l'air est condensée au contact d'une batterie froide (température inférieure au point de rosée). A 20 °C, on ne peut obtenir ainsi une hygrométrie inférieure à 40 %
- ◆ **A adsorption** : La vapeur est fixée sur un solide (ex: alumine activée au gel de silice) contenu dans 2 réservoirs en parallèle, l'un est actif, l'autre en régénération (évaporation de l'eau par chauffage)
- ◆ **A absorption** : La déshumidification se fait par pulvérisation d'une solution avide de vapeur d'eau (ex: Chlorure de Lithium LiCl)

Document : Déshumidificateurs

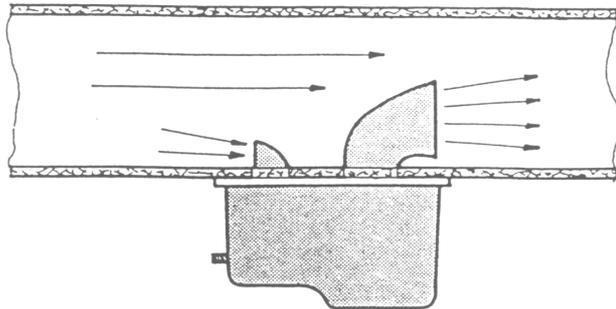


## 2.10. HUMIDIFICATEURS D'AIR

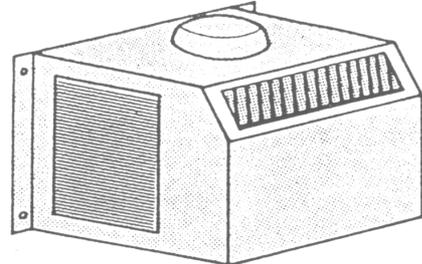
Autonome ou intégrés au système de conditionnement d'air, ils maintiennent un degré hygrométrique d'environ 50 %

- **Humidificateur à pulvérisation** : L'eau finement pulvérisée est entraînée dans un flux d'air et vaporisée (0,5 à 20 l/h)
- **Humidificateur à évaporation** : Simples bacs réserves d'eau dotés de plaques évaporatrice en matériau poreux.
- **Humidificateur à vaporisation** : Bac dans lequel on fait bouillir de l'eau par chauffage électrique
- **Laveur d'air** : Une ou plusieurs rampes de gicleurs pulvérise de l'eau dans un caisson intercalé sur un gaine de soufflage ou dans un appareil de climatisation

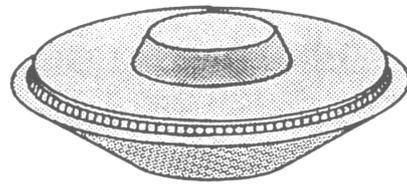
### Document : Humidificateurs



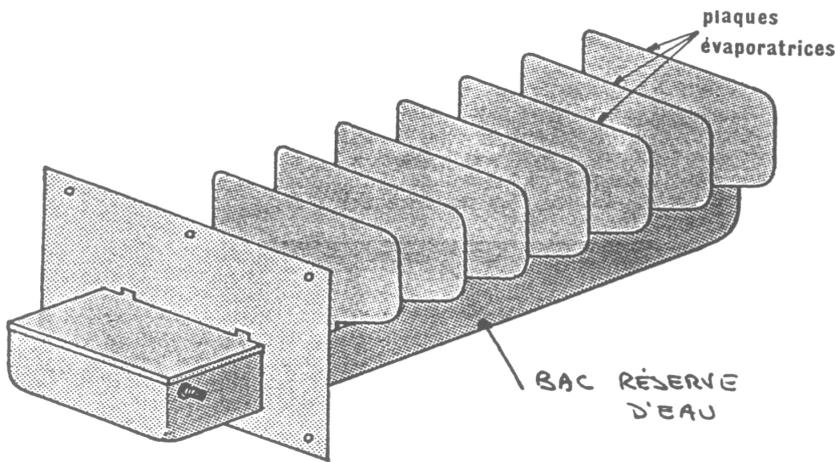
Humidificateur à pulvérisation monté sur gaine de soufflage.



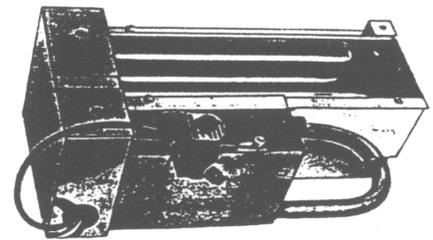
Humidificateur à pulvérisation dirigée.



Humidificateur à pulvérisation périphérique.

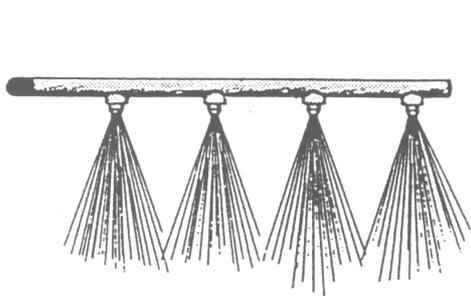


Humidificateur de gaine à évaporation.

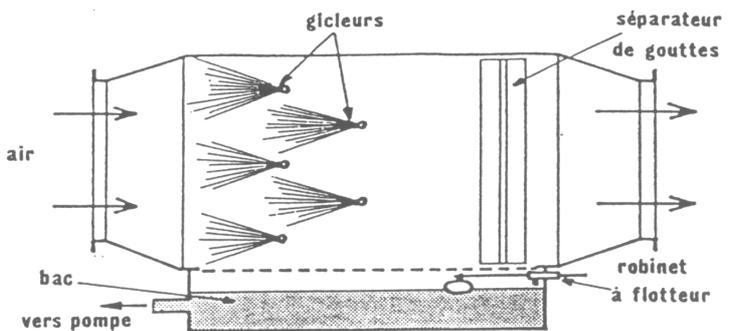


Doc. Technibel

Humidificateur à vaporisation à résistance immergée à incorporer dans un climatiseur.



Rampe de pulvérisation d'eau.



Laveur d'air pour humidification (schéma).

## 2.11. EPURATEURS D'AIR

**Rôle** : éliminer la fumée du tabac, les particules en suspension dans l'air (poussières, pollens, peluches, poils d'animaux, micro-organismes...) et les odeurs.

**Principe de fonctionnement** : L'air est aspiré vers l'appareil par un ventilateur, un premier filtrage mécanique retient les grosses impuretés. Puis un réseau de cellules chargées électriquement fixent les micro-particules par attraction électrostatique. Un dernier filtre retient les gaz et fumées qui subsistent. En un passage, 90 % des fumées, virus et allergènes sont éliminés.

- ne pas utiliser en ambiance explosive ou chargée de graisses (en cuisine par exemple).
- certains appareils combinent épuration et humidification de l'air.
- filtres et les plaques doivent être fréquemment nettoyés.
- consommation : de 100 à 200 W pour une capacité de traitement de 1 000 à 2 000 m<sup>3</sup>/h.

**IONISEURS pour purifier l'air** : un ventilateur (à 2 ou 3 vitesses) projette dans la pièce un flux d'ions négatifs provenant d'une cassette, ou cartouche, odorante. Ces ions éliminent les impuretés de l'air par précipitation électrostatique. La cartouche doit être remplacée périodiquement.

## 3. VENTILATION DES LOCAUX

### 3.1. PROCÉDES

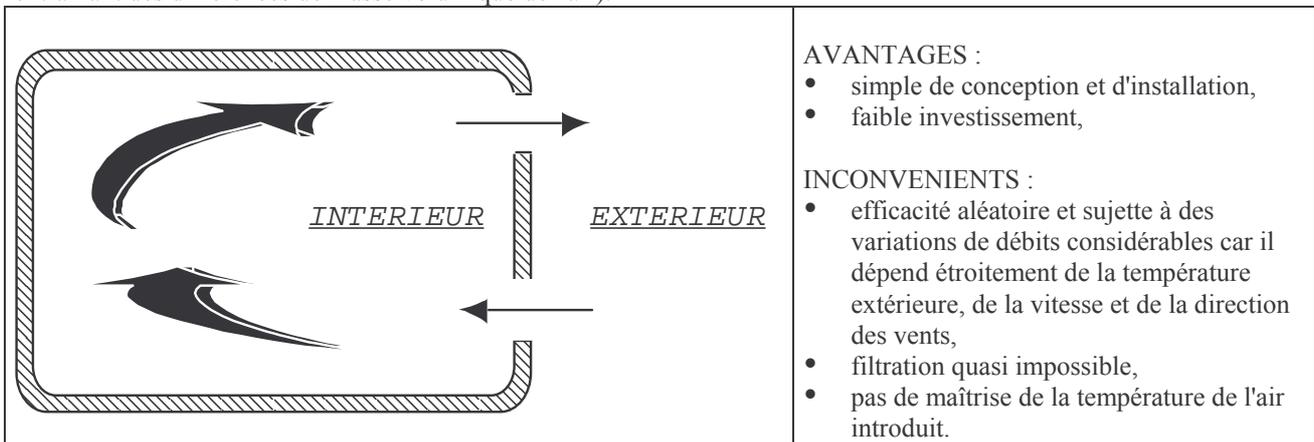
La ventilation consiste simplement à évacuer l'air vicié et à le remplacer par de l'air frais (en moyenne, de 30 à 50 m<sup>3</sup> par heure et par personne). Il existe plusieurs procédés :

- ventilation naturelle
- ventilation semi-mécanique
- ventilation mécanique double flux.

### 3.2. VENTILATION NATURELLE

#### 3.2.1. Définition

**L'aération** est ce que l'on fait en ouvrant les fenêtres, mais c'est particulièrement inconfortable en hiver et d'une périodicité très variable. La **ventilation naturelle** consiste à pratiquer une ouverture vers l'extérieur dans la partie basse de la pièce (aération basse) et une autre dans la partie haute (aération haute). Cela provoquera une circulation d'air par thermosiphon entre l'intérieur et l'extérieur à cause des différences de pression (les différences de température entraînant des différences de masse volumique de l'air).



#### 3.2.2. Principes physiques à la base des procédés de ventilation

Ils mettent en jeu les concepts de pression, de température et de masse volumique de l'air.

C'est la variation, naturelle ou non, de la pression de l'air qui provoque la mise en mouvement de l'air.

On peut faire un schéma simple représentant la coupe d'un local dans une des parois duquel ont été pratiquées une ouverture en partie haute et une en partie basse.

Pression = force appliquée sur une unité de surface : 
$$P = \frac{F}{S}$$

Masse volumique : 
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \times h} \Rightarrow m = \rho \times S \times h$$

Quand la température de l'air augmente sa masse volumique diminue (phénomène de dilatation). Inversement, quand la température de l'air diminue sa masse volumique augmente.

Poids d'une colonne d'air de section S et de hauteur h (à la température T) :

$$F = m \times g = \rho \times S \times h \times g$$

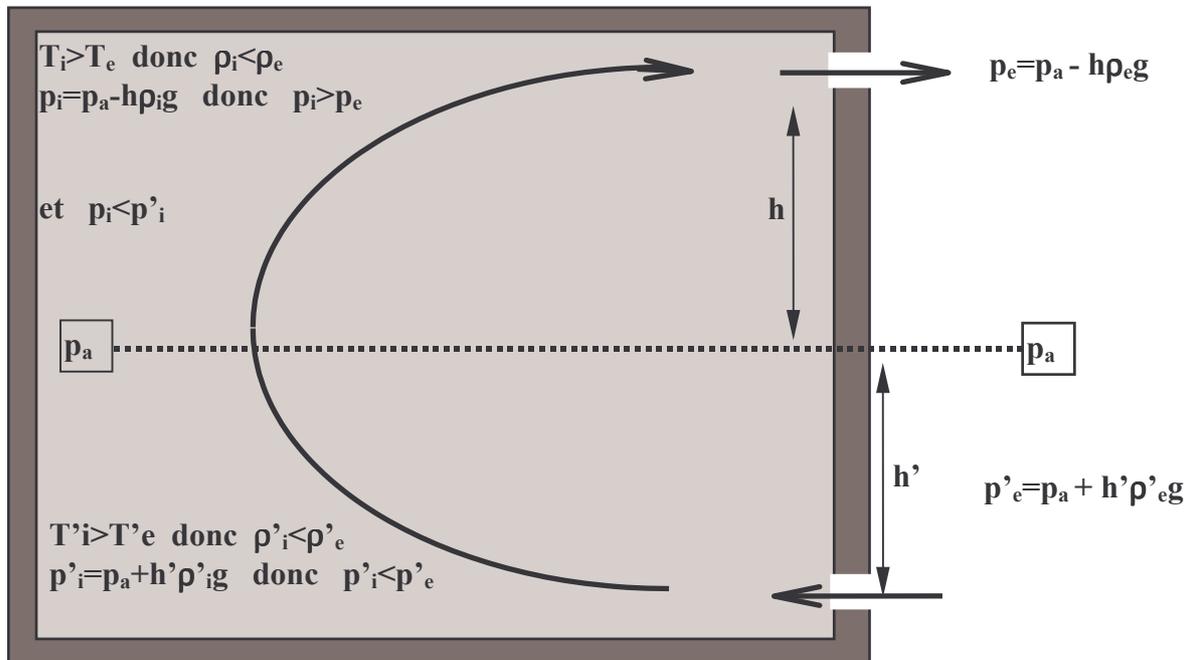
Pression exercée par une colonne d'air de hauteur h (à la température T) :

$$p = \frac{\rho \times S \times h \times g}{S} = \rho \times h \times g$$

Si l'altitude de référence est la hauteur dans la pièce où les pressions de l'air intérieur et de l'air extérieur sont égales ( $P_a$ ),

⇒ l'ouverture haute est à l'altitude  $+h$ , la température de l'air intérieur y est  $T_i$  (sa masse volumique est  $\rho_i$ ) et sa pression y est  $p_i$ , celles de l'air extérieur y sont  $T_e$  (sa masse volumique est  $\rho_e$ ) et  $p_e$

⇒ l'ouverture basse est à l'altitude  $-h'$ , la température de l'air intérieur y est  $T'_i$  (sa masse volumique est  $\rho'_i$ ) et sa pression y est  $p'_i$ , celles de l'air extérieur y sont  $T'_e$  (sa masse volumique est  $\rho'_e$ ) et  $p'_e$



Le point isobare  $P_a$  existe car  $P_e < P_i < P'_i < P'_e$

On montre ainsi que la partie basse du local est en dépression par rapport à l'extérieur : l'air extérieur va entrer. Au contraire la partie haute est en surpression par rapport à l'extérieur, l'air intérieur va sortir. Une circulation naturelle de l'air se met en place. La vitesse de l'air et donc son débit sera d'autant plus grande que ces différences de pression seront plus grandes. Si le débit d'air obtenu est insuffisant. Il faut introduire artificiellement des variations de pression de l'air grâce à un procédé de ventilation mécanique.

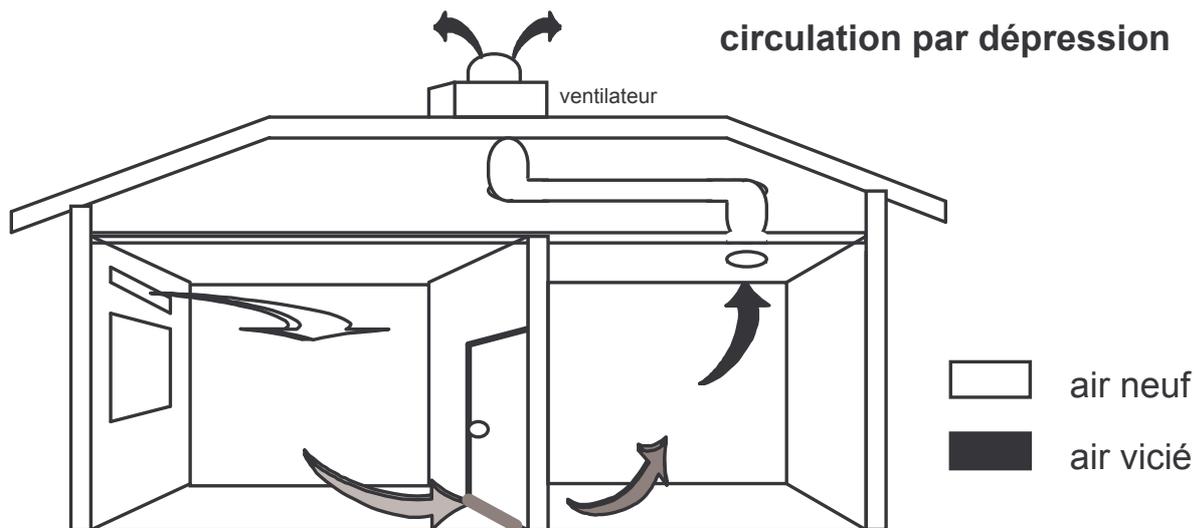
### 3.3. VENTILATION SEMI - MECANIQUE CONTROLEE SIMPLE FLUX

#### 3.3.1. Extraction sans insufflation, circulation par dépression

L'admission d'air est naturelle et l'extraction mécanique. L'air vicié est aspiré et rejeté à l'extérieur. Le local est en légère dépression ce qui permet l'entrée d'air frais et sa circulation.

On peut coupler les bouches d'entrée aux radiateurs ou aux convecteurs de façon à préchauffer l'air neuf. L'extraction se fait par les pièces de service (W.C., salles de bains, cuisine). Il faut veiller à ne pas transmettre d'odeurs par la

circulation d'air. Des espaces suffisants (grilles, bas de portes) doivent assurer le passage de l'air des pièces d'habitation vers les pièces de service : 60 cm<sup>2</sup> par tranche de 30 m<sup>3</sup>/h.



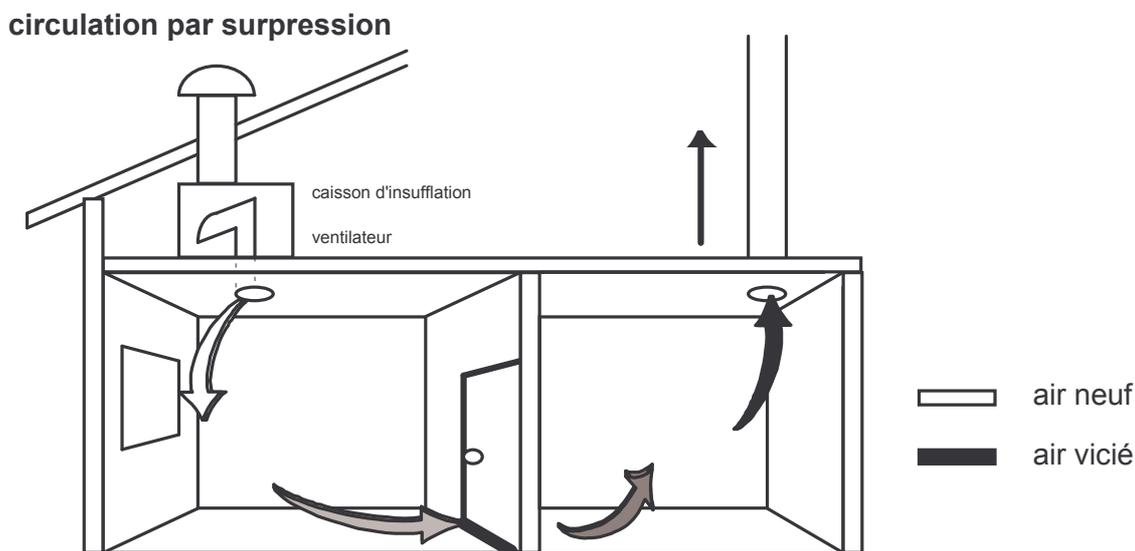
AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation assez simple.</li> <li>• Investissement raisonnable.</li> <li>• Maîtrise du débit d'extraction.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Débit d'extraction nécessairement faible pour limiter les courants d'air.</li> <li>• Air extérieur non traité.</li> <li>• Pas de maîtrise de l'air introduit.</li> </ul>

### 3.3.2. Insufflation sans extraction, circulation par surpression

L'admission d'air est mécanique et l'extraction naturelle. De l'air frais est insufflé dans les locaux qui sont alors en légère surpression, ce qui chasse l'air vicié.

Le soufflage s'effectue dans les pièces d'habitation. Les bouches d'extraction se trouvent dans les pièces de service, W.C., salles de bains.

L'insufflation peut être individuelle ou centralisée. L'air neuf peut être préchauffé. Il faut veiller à ce que la circulation d'air des pièces d'habitation vers les pièces de service soit suffisante.



AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation assez simple</li> <li>• Investissement raisonnable</li> <li>• Possibilité de traiter l'air introduit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de maîtrise du débit d'extraction</li> <li>• Pas de filtration de l'air vicié</li> </ul>

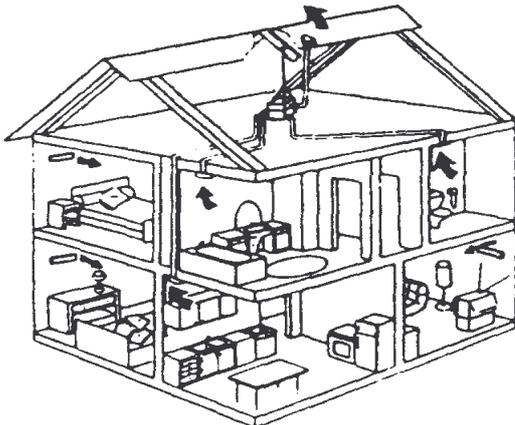
### 3.3.3. V.M.C. hygroréglable

Les bouches d'entrée et d'extraction sont munies de dispositifs d'ouverture et de fermeture sensibles à l'hygrométrie de l'air. Ce procédé supprime la condensation et permet des économies d'énergie.

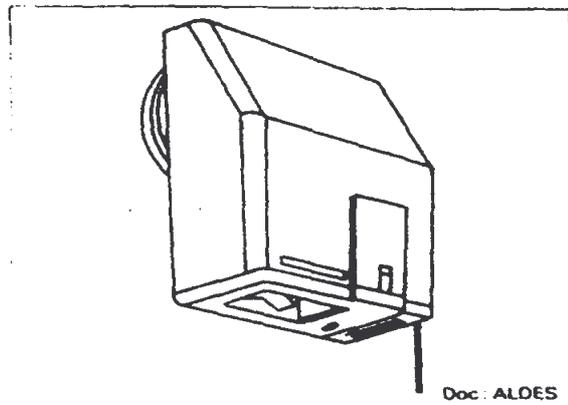
#### SYSTEME D'EXTRACTION HYGRO-REGLABLE

Il comprend :

- Un groupe d'extraction
- Une bouche d'extraction cuisine hygro-réglable
- Une bouche d'extraction bains hygro-réglable
- Une bouche d'extraction W.C. minutée
- Des entrées d'air hygro-réglables
- Un réseau de gaine souple
- Une sortie hors toiture

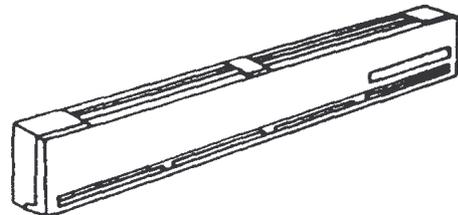


#### BOUCHE D'AERATION HYGRO-REGLABLE



Doc: ALDES

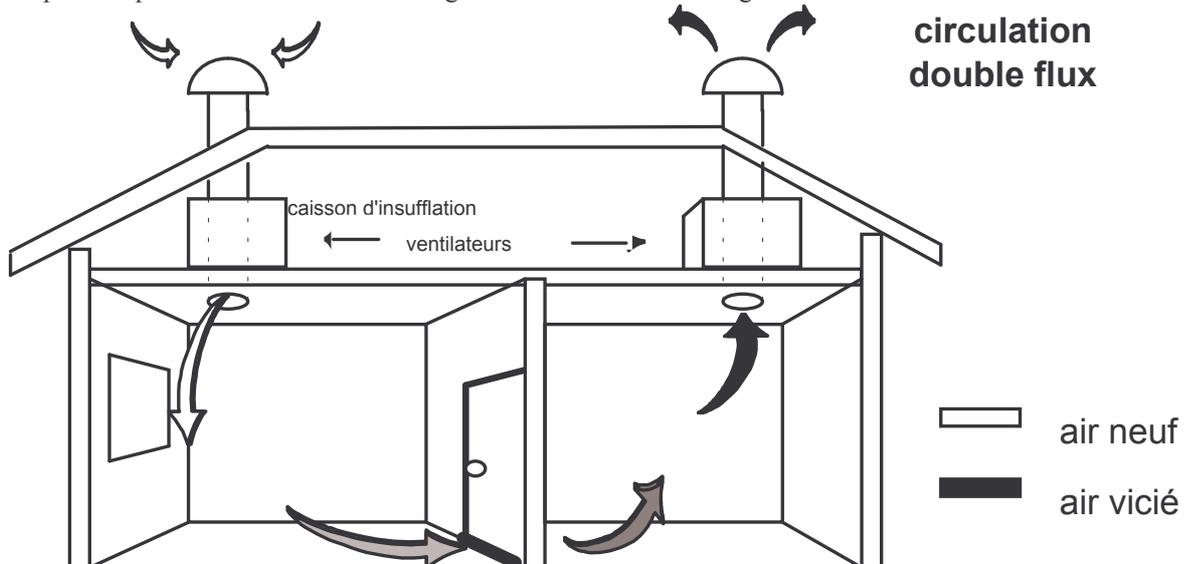
#### ENTREE D'AIR HYGRO-REGLABLE



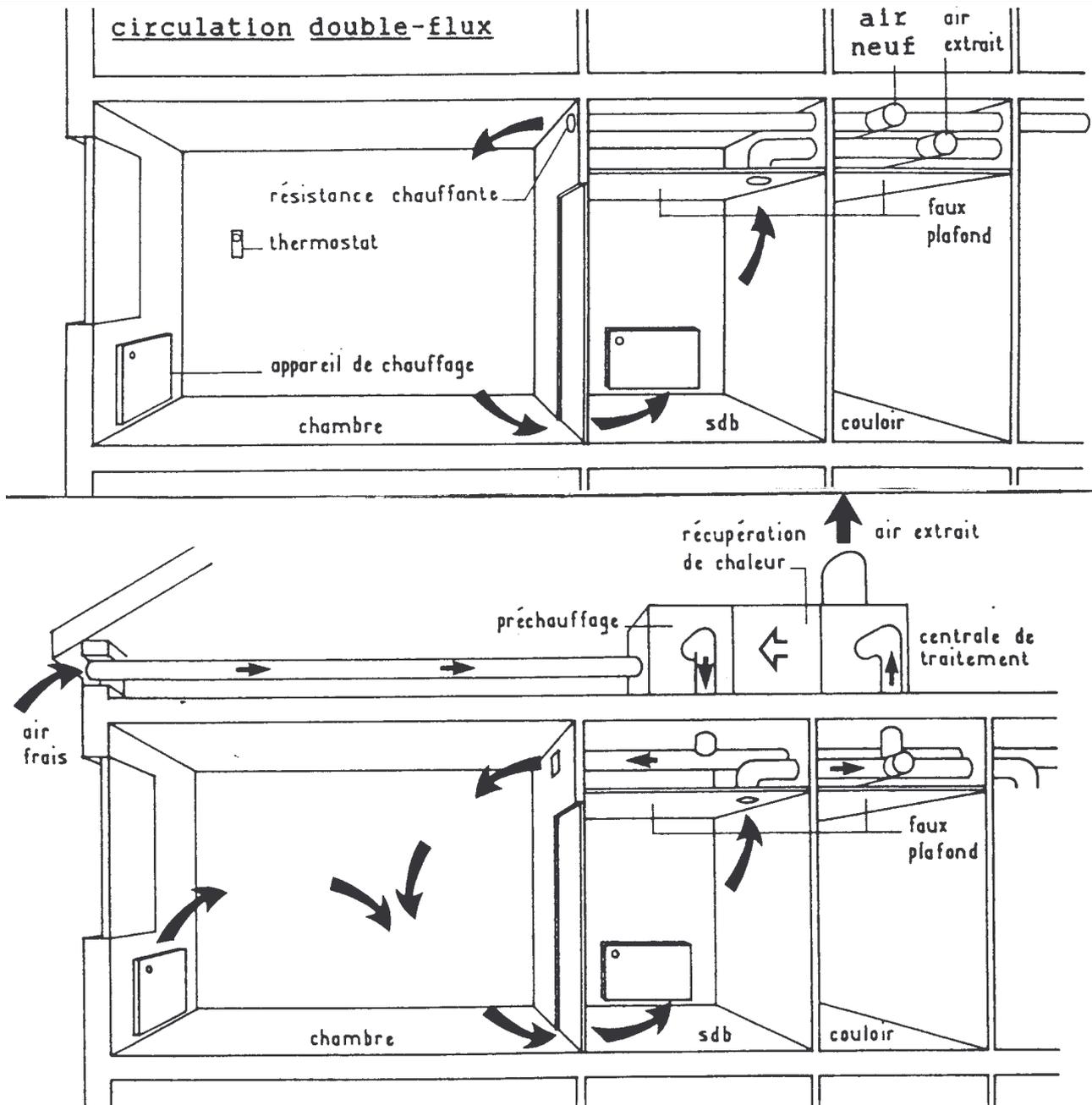
### 3.4. VENTILATION MECANIQUE DOUBLE FLUX

L'admission et l'extraction d'air sont mécaniques. L'insufflation d'air extérieur dans la pièce d'habitation se fait simultanément à l'extraction de l'air vicié dans la pièce de service. C'est le procédé le plus complet et le plus stable, qui permet un contrôle et une régulation souple et précise.

Ce procédé permet des économies d'énergie si on introduit un échangeur entre les deux flux.



AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise totale des débits d'air.</li> <li>• Filtration et traitement des flux possibles.</li> <li>• Diffusion adaptée au local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investissement lourd.</li> <li>• Installation complexe (nécessité d'équilibrer les flux pour éviter les courants d'air).</li> </ul>



### 3.5. VENTILATION DES LOCAUX, REGLEMENTATION

Des débits minimaux à respecter sont fixés par le Règlement Sanitaire Départemental -Type, par exemple:

Locaux	Débit minimal d'air neuf par occupant	
	interdiction de fumer	non interdiction de fumer
chambre, salle de repos	18 m <sup>3</sup> /h (5 l/s)	25 m <sup>3</sup> /h (7 l/s)
bureau, local d'accueil	18 m <sup>3</sup> /h (5 l/s)	25 m <sup>3</sup> /h (7 l/s)
salle de réunion, spectacle	18 m <sup>3</sup> /h (5 l/s)	30 m <sup>3</sup> /h (8 l/s)
boutique	22 m <sup>3</sup> /h (6 l/s)	30 m <sup>3</sup> /h (8 l/s)
salle de restaurant, bar	22 m <sup>3</sup> /h (6 l/s)	30 m <sup>3</sup> /h (8 l/s)
salle de sport	25 m <sup>3</sup> /h (7 l/s)	

Un débit maximal est également fixé, pour des raisons d'économie d'énergie. Il convient de ne pas dépasser 1,3 fois les valeurs minimales ci-dessus. C'est-à-dire par rapport au volume du local : 1 à 2 volumes/h pour les chambres, 6 volumes/h pour une salle de restaurant occupée, 10 à 15 volumes/h pour les cuisines.

## 4. VENTILATION DES CUISINES EN RESTAURATION COLLECTIVE

### 4.1. OBJECTIFS

Une cuisine professionnelle de restauration collective est un **local à pollution spécifique** : l'air est détérioré par les combustions et d'importantes émissions de polluants spécifiques à l'activité d'une cuisine.

En effet, le fonctionnement appareils de cuisson et de lavage

provoque des dégagements :	et engendre une atmosphère polluée et néfaste sur :
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ d'aérosols gras, gras, gras,</li> <li>→ de vapeur d'eau et de buées,</li> <li>→ de chaleur,</li> <li>→ de fumées et de gaz produits par les combustions,</li> <li>→ d'odeurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• la conservation et la tenue du matériel et des locaux,</li> <li>• les denrées en attente de préparation,</li> <li>• les conditions de travail et le confort du personnel,</li> <li>• la qualité produits finis,</li> </ul>

Une cuisine professionnelle doit donc être obligatoirement équipée d'un système de ventilation pour filtrer et extraire l'air vicié et introduire suffisamment d'air neuf afin de permettre :

- l'hygiène respiratoire et le confort des occupants,
- l'hygiène et la qualité des produits,
- la combustion complète des éventuels combustibles
- la sécurité en cas d'incendie.

Le rôle d'assainissement joué par les systèmes d'extraction, de ventilation voire de climatisation dans les cuisines professionnelles *" est d'établir ou de maintenir des conditions de température, d'humidité, de teneur en poussières ou de produits gazeux, compatibles avec un certain confort malgré des apports divers, en respectant des niveaux de bruit et de déplacements d'air également compatibles avec ce confort "* (guides de l'A.I.C.V.F. : Association des Ingénieurs en Climatique, Ventilation et Froid).

- ◆ les importants débits de renouvellement nécessaires peuvent provoquer des vitesses excessives de déplacement de l'air. Il est conseillé de ne pas dépasser la vitesse de 0,5 m/s et d'adopter si possible une vitesse moyenne de 0,25 m/s dans les zones de travail. Cette vitesse est mesurée entre 0 et 2 m du sol.
- ◆ La température de l'air devrait se maintenir entre 23 et 26°C l'été, et entre 20 et 24°C l'hiver, elle est souvent de l'ordre de 26 à 30 °C, plus élevée que les températures habituelles de confort mais permettant un abaissement du degré hygrométrique de l'air et évitant ainsi les risques de "condensation" sur les parois froides. Pour le moment en France, la climatisation en été des cuisines est rarement prévue en regard du coût d'investissement et d'exploitation. Aussi, il est d'usage d'accepter que l'air ambiant soit au plus supérieur de 6 °C à l'air extérieur ce qui nécessite de mettre en œuvre un débit d'air suffisant
- ◆ Lorsque la température se situe dans la zone de confort, l'humidité relative peut varier de 25 à 60 % sans modifier la sensation de confort. Cependant, dans une cuisine on tolérera jusqu'à 70 % d'humidité relative.
- ◆ Dans une cuisine, l'asymétrie de rayonnement entre les appareils de cuisson et les parois environnantes froides est considérable et provoque un effet de refroidissement des parties du corps non protégée par rayonnement absorbé par les parois froides.
- ◆ Une différence de température en vertical est une source de gêne au delà d'une variation de 3 °C entre les pieds et la tête. En théorie, on recommande un différentiel maximum de l'ordre de 2°C par mètre de hauteur.
- ◆ Le taux de CO maximal doit être de 1 000 ppm (partie par million).

### 4.2. OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES ( PRINCIPALES DIRECTIVES )

- Les cuisines doivent être obligatoirement équipées d'un système d'extraction d'air vicié, des buées et des graisses, assurant le désenfumage en cas d'incendie.
- Les cuisines doivent être en permanence en dépression, c'est à dire que la quantité d'air extrait est plus importante que celle d'air neuf de compensation.
- Il faut filtrer l'air introduit ( arrêt des poussières ) et l'air extrait ( arrêt des graisses ). L'encrassement des filtres doit pouvoir être contrôlé en permanence ; les filtres doivent être remplacés ou nettoyés en temps utile.
- Les prises d'air neuf et les ouvrants doivent être placés à distance suffisante de toute source éventuelle de pollution ( véhicules, débouchés de conduits de fumés, sorties d'air extrait ... ) ou avec des aménagements tels qu'une reprise d'air pollué ne soit pas possible.
- L'air extrait des locaux doit être rejeté à distance de toute fenêtre ou de toute prise d'air neuf sauf aménagements tels qu'une reprise d'air pollué ne soit possible.
- Tous les équipements de ventilation d'une cuisine doivent être classés M<sub>0</sub> ( incombustibles ) ou M<sub>1</sub> ( non-inflammables ).

- Les hottes, capteurs et extracteurs doivent être en matériaux incombustibles et comporter un filtre ou une boîte à graisse facilement nettoyable.
- Les gaines et conduits doivent être réalisés en matériaux non poreux, incombustibles, stables au feu durant une demi-heure minimum et capables de résister à une température de 400 °C pendant une heure.
- Les ventilateurs d'extraction doivent assurer parfaitement leur fonction pendant une heure avec des fumées à 400 °C, en cas d'incendie. Leur alimentation électrique doit être indépendante.
- Les installations de captage et de ventilation doivent être réalisées de telle sorte que les concentrations dans l'atmosphère ne soient dangereuses en aucun point pour la santé des travailleurs et qu'elles restent inférieures aux valeurs limites fixées réglementairement.
- Les installations de ventilation doivent assurer le renouvellement de l'air en tout point des locaux. Ces installations ne doivent pas provoquer, dans les zones de travail, de gêne résultant notamment de la vitesse, de la température et de l'humidité de l'air, des bruits et vibrations ; en particulier ces installations ne doivent pas entraîner d'augmentation significative des niveaux sonores résultant des activités envisagées dans les locaux.
- Les débits minimaux de renouvellement d'air à respecter sont fixés réglementairement.
- Un débit maximal est également fixé, pour des raisons d'économie d'énergie. Il convient de ne pas dépasser, par rapport au volume du local, 10 à 15 volumes/h pour les cuisines.

**Document :** *Changer d'air !* **Par Laurent Terrasson**  
*La cuisine Collective Février 2004 ( extrait )*

"Les textes réglementaires et normatifs applicables aux cuisines professionnelles sont nombreux et traitent de calcul des débits, de filtration, de protection incendie, d'acoustique, etc. Dans cet imbroglio très technique, on distingue deux grandes parties dans la réglementation :

- la conception,
- l'entretien et le nettoyage.

#### La conception comportant :

- Les arrêtés ministériels
  - Arrêté du 25 juin 1980 : calcul des débits minimaux d'extraction,
  - Arrêté du 15 février 1995 : protection électrique des installations.
- Le Règlement Sanitaire Départemental Type (R.S.D.T.)
  - Article 63.1 : introduction d'air,
  - Article 64.1 : débits d'air neuf minimaux à introduire,
  - Article 65 : qualité de la filtration.
- Le règlement de sécurité contre l'incendie dans les E.R.P. (Etablissement Recevant du Public)
  - Arrêté du 25 juin 1980, articles GC1, GC2 et GC3,
  - Arrêté du 22 décembre 1981, articles GC12 à GC18, dont GC14 pour le positionnement des trappes de visite.

#### L'entretien et le nettoyage :

- Le règlement de sécurité contre l'incendie
  - Arrêté du 22 décembre 1981, articles GC12 à GC18, ce dernier article impose un entretien annuel des installations,
  - Arrêté du 21 juin 1982, articles 1 et 9 : désenfumage des restaurants.
- Le Règlement Sanitaire Départemental Type (R.S.D.T.)
  - Article 65 : contrôle de l'encrassement des filtres. (Sources : Entretien et nettoyage des systèmes d'extraction d'air dans les cuisines professionnelles, G.H.R & Costic).

#### Critères acoustiques

A cette réglementation, on peut rajouter le problème des nuisances acoustiques, et :

- L'article R 232.8 du Code du Travail précisant que " l'employeur est tenu de réduire le bruit au niveau le plus bas raisonnablement possible compte tenu de l'état des techniques. L'exposition au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec la santé des travailleurs, notamment avec la protection de l'ouïe ".
- Les articles R 232.8.1 & R 232.8.3 du Code du Travail considèrent 85 dB(A) comme une limite au-delà de laquelle " des protecteurs individuels doivent être mis à disposition ". Ce niveau étant élevé, on s'attachera à ne pas dépasser 65 dB(A) pour l'ensemble des appareils, y compris les systèmes de ventilation.
- Pour l'extérieur et les ventilateurs d'extraction et d'introduction, le décret du 18 avril 1995 traite du niveau sonore à ne pas dépasser.

### Critères d'hygiène alimentaire

Dans les cuisines professionnelles, le matériel employé doit être en conformité vis-à-vis des règles d'hygiène adaptées aux transformations des denrées alimentaires. Cette conformité doit prendre en compte :

- La nature des matériaux: imputrescibles, non poreux, résistants à l'usure, inertes vis-à-vis des aliments et des boissons, comme des détergents et des désinfectants. Par ailleurs, les matériaux tels que l'amiante, laine de verre, laine de roche, etc., qui interviennent comme composants, ne doivent jamais entrer en contact avec les aliments.
- La conception des matériels : hottes ou plafonds filtrants et autres composants aérauliques comme les ventilateurs, les conduits entre autres au sens d'accessibilité et de facilité de nettoyage.
- Les facilités d'entretien et de nettoyage: en conformité à la réglementation incendie (Arrêté du 22 décembre 1981, art. GC18). La conception de la fixation des filtres et des gouttières ou boîtes à condensats doit permettre leur démontage sans outillage pour leur entretien périodique.

### 4.3. EMISSIONS DE POLLUANTS

PRINCIPAUX POLLUANTS EN CUISINE PROFESSIONNELLE			
Nature	Origine	Toxicité	Nuisance
Air chaud	Contact air ambiant avec parties chaudes	nulle	Echauffement de l'atmosphère
Vapeur d'eau H <sub>2</sub> O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute cuisson</li> <li>• Elaboration des frites</li> <li>• Décompression des marmites, des cuiseurs</li> <li>• Plonge vaisselle</li> <li>• Combustion du gaz</li> <li>• Sudation du personnel</li> </ul>	nulle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Echauffement de l'atmosphère</li> <li>• Humidification de l'air</li> <li>• Emission de buées opaques</li> <li>• Condensation sur parois froides</li> </ul>
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	Résidu normal de toutes combustions	nulle	Appauvrissement en dioxygène de l'air
Monoxyde de carbone CO	Résidu anormal de combustions incomplètes	très importante mortel à faible dose	Maux de tête, vertiges, syncope, danger mortel ( gaz indétectable : inodore, même densité que l'air )
Oxydes d'azote	Se forment à faible dose à haute température	légère à faible concentration ( < 3 ppm )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odeur irritante</li> <li>• Induit la somnolence</li> </ul>
« Acroléine »	Décomposition thermique de matières grasses	assez forte	Très irritante pour les yeux et la gorge
Ammoniac	Utilisation de certains produits de nettoyage	moyenne	Irritation des yeux
Chlore	Utilisation abusive ou erronée de l'eau de Javel	forte	Irritation de yeux, des muqueuses
Hydrocarbures polycycliques aromatiques ( HPA )	Combustion des graisses ( grills, rôtissoires ... )	à long terme	Cancérogènes
Aérosols grasseeux	Utilisation friteuses, grill, sauteuses	très variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danger incendie</li> <li>• Irritation respiratoire</li> <li>• Irritation des yeux</li> <li>• Imprégnation des vêtements</li> </ul>
Odeurs diverses	Préparation des plats Odeurs des aliments	nulle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parfois désagréables</li> <li>• Absorption sur vêtements et peau</li> </ul>

Source : M. GODEFROY " Guide professionnel de la restauration " Editions Lanore

Outre la gêne thermique, les dégagements de gaz ou d'aérosols dans le volume de la cuisine peuvent donc engendrer un inconfort voire l'intoxication du personnel. Il faudra donc veiller à l'évacuation des produits polluants provenant de la cuisson et plus particulièrement encore à l'évacuation des produits de combustion.

Une bonne évaluation de la quantité d'air de compensation à introduire, conditionne la qualité de la combustion et prévient ainsi la formation de monoxyde de carbone, l'un des polluants gazeux les plus toxiques que l'on puisse trouver dans une cuisine.

## 4.4. FONCTIONS DU SYSTEME DE VENTILATION

### 4.4.1. Conception de l'installation

L'hygiène de l'air, essentiel autant pour le personnel et que pour les préparations culinaires, est assurée par :

- l'évacuation des produits polluants provenant de la cuisson des aliments et autres opérations,
- l'évacuation des produits de combustion,
- la captation par des filtres des graisses, fumées et odeurs,
- le filtrage, le dépoussiérage et l'assainissement de l'air neuf de renouvellement.

L'installation de ventilation d'une cuisine assure, grâce à des appareillages ou organes spécifiques, 6 fonctions principales :

fonctions principales	équipements de ventilation
<b>CAPTER l'air vicié</b>	<b>hottes, bouches d'extraction</b>
<b>FILTRER l'air vicié pour éliminer les matières en suspension</b>	<b>filtres des hottes</b>
<b>EXTRAIRE l'air vicié filtré</b>	<b>ventilateurs, extracteurs</b>
<b>TRANSPORTER cet air</b>	<b>gaines</b>
<b>EVACUER l'air vicié vers l'extérieur</b>	<b>tourelles ou bouches d'évacuation</b>
<b>AERER, introduire l'air de compensation</b>	<b>ventilateur d'insufflation ou bouche d'entrée naturelle d'air</b>

Sa conception est liée aux moyens de production des mets et à leur implantation. *Les déplacements d'air suivent la même logique que "la marche en avant" des produits alimentaires.* On distingue quatre secteurs principaux :

- ❖ **Secteur CUISSON** : un réseau d'extraction spécifique et l'insufflation d'un minimum de 300 litres par seconde et par m<sup>2</sup> de surface de cuisson (règlement sanitaire départemental) doivent placer ce local en légère dépression par rapport à la zone de préparation.
- ❖ **Secteur LAVAGE** : ce local est fermé pendant le fonctionnement et maintenu en dépression par un réseau d'extraction spécifique.
- ❖ **Secteur TECHNIQUE** : un réseau d'extraction spécifique met ce secteur en dépression par rapport au locaux de préparation, aux locaux sociaux et aux bureaux.
- ❖ **SALLE DE RESTAURANT** : - elle doit être en surpression par rapport aux trois autres secteurs de façon à ce que les convives ne soient pas incommodés par les odeurs ou l'air pollué. La zone fumeurs doit être en dépression par rapport au reste de la salle.

### 4.4.2. Capter

Les hottes coiffent la zone de dégagement de chaleur et de polluants ( exemple la sauteuse ) afin d'éviter leur propagation dans l'air ambiant. Leur nez est généralement situé à 1,90 m du sol pour permettre le passage d'un homme. De plus, elles débordent de la largeur des appareils d'environ 20 cm afin de pouvoir stocker l'air lors de dégagements soudains ( l'ouverture d'un couvercle de marmite dégage tout de suite une grande quantité de vapeur qui ne pourra pas être filtrer et extrait immédiatement ).

Les matériaux utilisés pour la fabrication des capteurs et des hottes doivent être conformes aux règles d'hygiène : **imputrescibles, non poreux, résistant à l'usure, inerte vis-à-vis des aliments**, boissons et des produits d'entretien, d'une **résistance au feu dite M<sub>0</sub> ou M<sub>1</sub>**

Toutes les surfaces doivent être aussi lisses que possible, sans anfractuosités pouvant accumuler des matières organiques ( excepté les filtres et les récupérateurs de graisse ).

Toutes les surfaces sont parfaitement nettoyables et les parties amovibles facilement démontables.

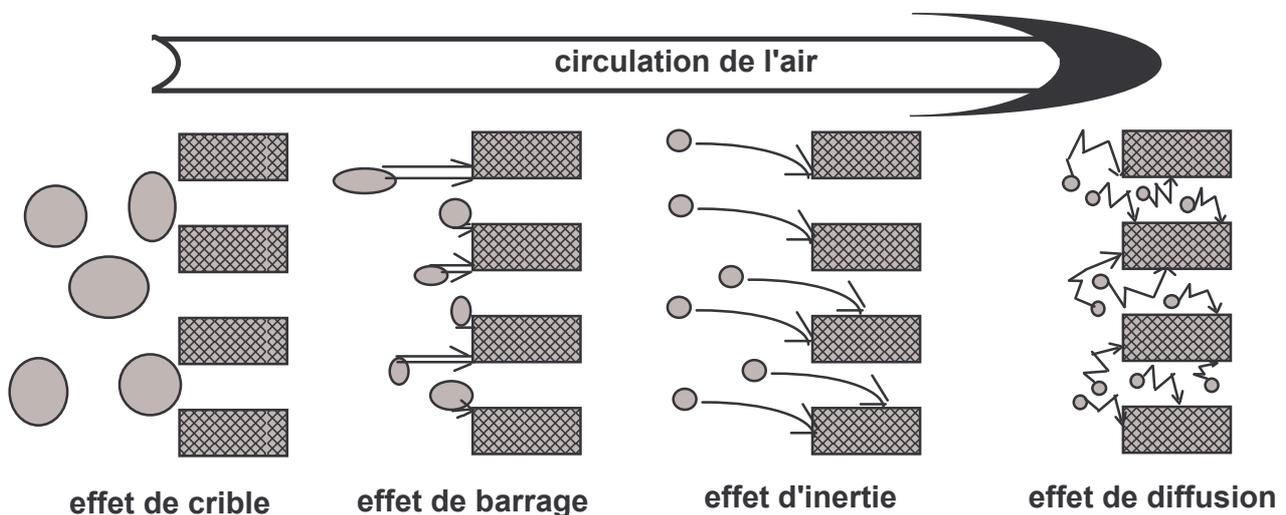
### 4.4.3. Filtrer

La filtration est indispensable à l'extraction dans le secteur cuisson. Il s'y dégage des aérosols constitués de particules grasses en suspension dans l'air. Sans filtration préalable à l'extraction, ces vapeurs grasses, ou brouillard d'huile, se déposeraient sur la paroi des gaines d'extraction provoquant de grands risques d'incendie et un encrassement des gaines et des ventilateurs.

Ces produits gras sont donc séparés de l'air aspiré par passage sur des filtres. Plus ou moins pâteux, ils peuvent adhérer et colmater progressivement les filtres, augmentant les pertes de charge du circuit d'extraction ainsi que le risque d'incendie. Les filtres à graisses doivent être démontés au moins une fois par semaine et nettoyés en machine ( à eau chaude sous pression, ou à vapeur haute ou basse pression ) ou bien par immersion dans l'eau très chaude additionnée de détergent. Une position inclinée des filtres ( 45° à 60° ) assure une grande surface de filtration et permet l'écoulement des graisses dans des réceptacles.

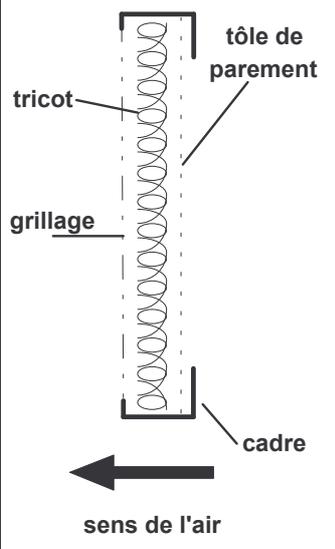
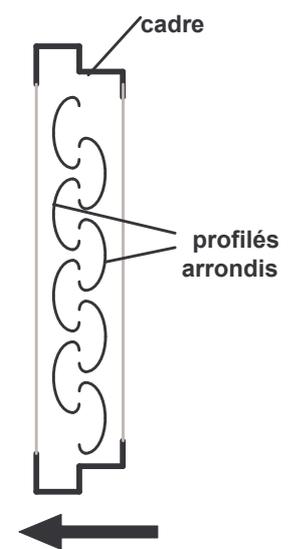
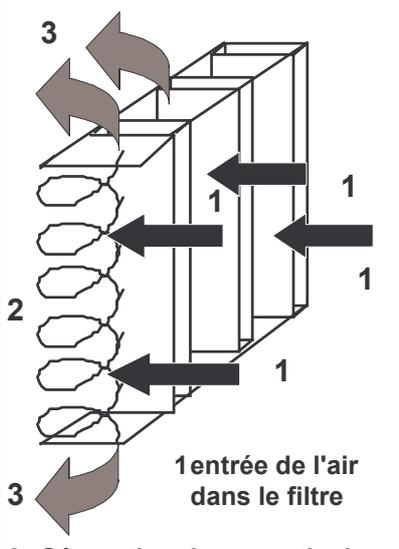
La séparation des graisses est le résultat de quatre effets différents :

- ◆ **Effet de crible** : il repose sur la taille des particules de graisse. La juxtaposition des tissus métalliques crée une grande quantité d'ouvertures plus petites que le diamètre des particules de graisse, les empêchant ainsi de franchir le seuil des filtres.
- ◆ **Effet de barrage** : cet effet est complémentaire du précédent. Les particules de graisses sont séparées des gaz en fonction de leur dimension et de leur forme géométrique. Chaque particule qui se déplace à une distance de la matière constituant le filtre inférieure ou égale à son diamètre est alors interceptée.
- ◆ **Effet d'inertie** : les particules de graisse ayant une masse volumique plus importante que celle de l'air qui les véhicule, se trouvent écartées du flux d'air lors de la perte de vitesse qu'il subit au passage des filtres et c'est par effet de barrage qu'elles sont interceptées.
- ◆ **Effet de diffusion** : lorsque les particules de graisse sont très fines et très légères, elles ne subissent que très peu l'effet d'inertie. Par contre, elles sont soumises à des turbulences ( mouvement BROWNIEN ) et se heurtent, rebondissent et dévient jusqu'au moment où elles sont stoppées par effet de barrage. L'effet de diffusion entraîne également un refroidissement des vapeurs accélérant leur fixation.



**Remarque:** plus la vitesse de passage de l'air au travers des filtres est faible, meilleure est la filtration ( la grande vitesse des flux peut permettre le passage de particules fines ).

<p><b>Filtres jetables</b> : préconisés afin de diminuer les coûts d'entretien, ces filtres doivent être régulièrement remplacés. Le matériau utilisé pour la filtration dépend des fabricants et, généralement, ressemble à un morceau de mousse.</p>	
	<p><b>Avantage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gain de temps de nettoyage</li> <li>Diminution des coûts d'entretien des filtres</li> </ul> <p><b>Inconvénient</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Obligation de stockage des filtres de rechange</li> <li>Résistance au feu de M<sub>1</sub> seulement</li> <li>Coût important pour une grande unité</li> <li>Matériaux filtrants pouvant se décomposer et tomber dans les aliments</li> </ul>

Factres	à tricot métallique	à chocs	à effet cyclonique
			 <p>1 entrée de l'air dans le filtre 2 Séparation des particules d'eau et de graisses 3 Sortie de l'air propre</p>
<b>Principe</b>	Entrelacement de fils métalliques qui permet l'arrêt des graisses.	Des profilés arrondis et disposés en quinconce font obstacle aux graisses	Création de turbulences à l'intérieur des alvéoles et dépôt des particules de graisse sur les parois des alvéoles sous l'effet de la force centrifuge
<b>Effets utilisés</b>	Effet de tamis ou crible Effet d'interception ou barrage Effet d'inertie Effet de diffusion	Effet de barrage Effet d'inertie	Effet d'inertie ( force centrifuge )
<b>Avantages</b>	Prix d'achat peu élevé Boone efficacité sur une large plage de débit	Constitue une barrière au feu Colmatage faible Perte de charge constante Entretien plus facile	Colmatage faible Perte de charge constante Facile d'entretien
<b>Inconvénients</b>	Encrassement des filtres assez rapide : graisses accumulées dans les aspérités Augmentation des pertes de charge avec l'encrassement. Nettoyage difficile	Prix d'achat plus élevé Perte de charge assez importante	Prix d'achat élevé Perte de charge importante

### 4.4.4. Extraire

L'extraction de l'air est réalisée soit avec un extracteur de type tourelle monté en tête de cheminée qui maintient le conduit en dépression, soit avec un ventilateur centrifuge monté sur le parcours de la gaine (dans le cas d'un réseau de gaines complexe, il est possible de combiner les deux techniques). Celle-ci représente une perte énergétique ou différence de pression, dégradée sous forme de chaleur, sous l'effet de la résistance à l'avancement de l'air des divers éléments d'un réseau, des frottements dus à la viscosité de l'air.

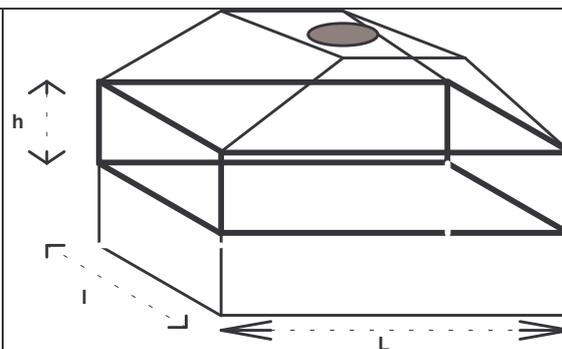
#### 4.4.4.1. Calcul du débit d'extraction

Les débits d'extraction sont liés à plusieurs paramètres :

- a) **le volume du local** : Le débit d'extraction doit être au moins de 30 à 50 fois ce volume/h.
- b) **la section d'aspiration** délimitée par le pourtour de la hotte et comprise entre le haut des appareils et le bas de la hotte, doit permettre de respecter une vitesse de passage de l'air comprise entre 0,2 et 0,3 m/s, au niveau des appareils et donc du personnel.

Par exemple, considérons une hotte centrale, soit :

- l** largeur de la hotte en m
- L** longueur de la hotte en m
- h** hauteur entre le bas de hotte et le haut des appareils en m
- v** la vitesse de l'air extrait en m/s ( entre 0,2 et 0,3 m/s)



Les 4 faces verticales comprises entre le haut des appareils et le bas de la hotte sont libres et utile à l'aspiration, et le flux d'air extrait par la hotte doit franchir ces surfaces (ou section d'aspiration) avec une vitesse v.

La section d'aspiration est donc :  $2 \times l \times h + 2 \times L \times h$   
 et le débit d'air en m/s est alors :  $2 \times (l + L) \times h \times v$   
 le débit d'extraction en m<sup>3</sup>/h est :  $2 \times (L + l) \times h \times v \times 3600$

**c) le nombre et la nature des appareils de cuisson :**

APPAREILS :	DEBITS D'EXTRACTION :
plaque de cuisson, gril, sauteuse	15 m <sup>3</sup> /h par dm <sup>2</sup>
feu nu	200 à 500 m <sup>3</sup> /h par unité
plaque à induction	2 à 4 m <sup>3</sup> /h par dm <sup>2</sup>
four à convection naturelle	300 m <sup>3</sup> /h par appareil
four à air pulsé	4 m <sup>3</sup> /h par dm <sup>3</sup>
6 niveaux GN 1/1 (80 dm <sup>3</sup> )	500 m <sup>3</sup> /h par appareil
20 niveaux GN 2/1 (450 dm <sup>3</sup> )	2 000 m <sup>3</sup> /h par appareil
friteuse	100 m <sup>3</sup> /h par l d'huile ou 25 à 40 m <sup>3</sup> /h par dm <sup>2</sup>
marmite 75 l à 200 l	500 m <sup>3</sup> /h + 100 m <sup>3</sup> /h par 25 l de capacité
plus de 200 l	1 000 m <sup>3</sup> /h + 100 m <sup>3</sup> /h par 50 l de capacité
laverie vaisselle	0,5 m <sup>3</sup> /h par assiette à l'heure et 35 m <sup>3</sup> /h par kW de surchauffeur

**d) La section des gaines d'extraction :**

Elle impose, une fois le débit d'extraction fixé, la vitesse de circulation de l'air extrait dans la gaine. Celle-ci doit être comprise, pour un fonctionnement optimal, entre 5 et 10 m/s (de préférence proche de 5 m/s, en tous cas jamais supérieure à 15 m/s).

- Soit :
- D le débit d'extraction en m<sup>3</sup>/h
  - V' la vitesse de l'air dans la gaine en m/s
  - S la section de la gaine en m<sup>2</sup>

Alors on a :  $D = V' \times S \times 3600$

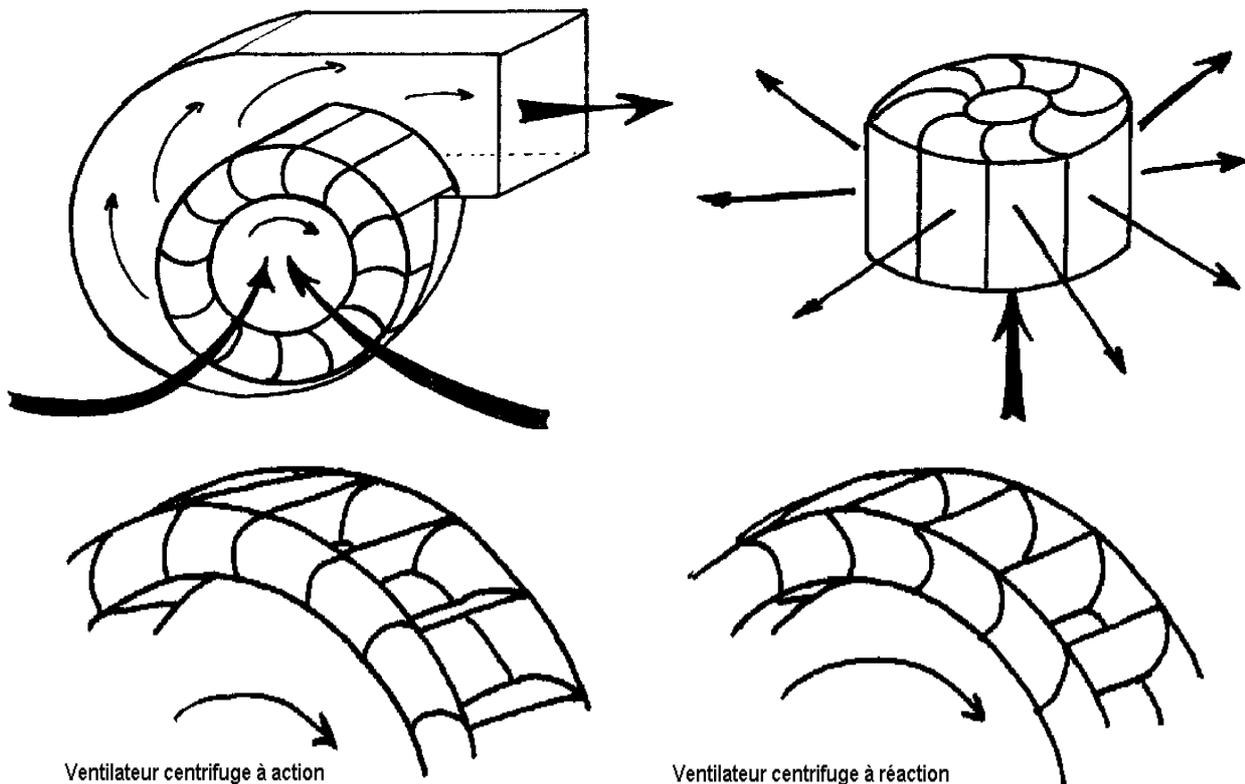
En restauration le diamètre minimum requis pour les gaines d'extraction est de 300 mm.

**4.4.4.2. Ventilateurs**

Les ventilateurs **centrifuges** permettent d'obtenir des débits importants avec des pressions élevées. Ils sont adaptés à des installations avec gaines et à la ventilation des cuisines.

**Principe :** L'air est entraîné par une roue à aubes cylindrique ou turbine. Le soufflage se fait perpendiculairement à l'axe de rotation de la turbine, sous l'effet de la force centrifuge, et l'entrée d'air se fait parallèlement à cet axe.

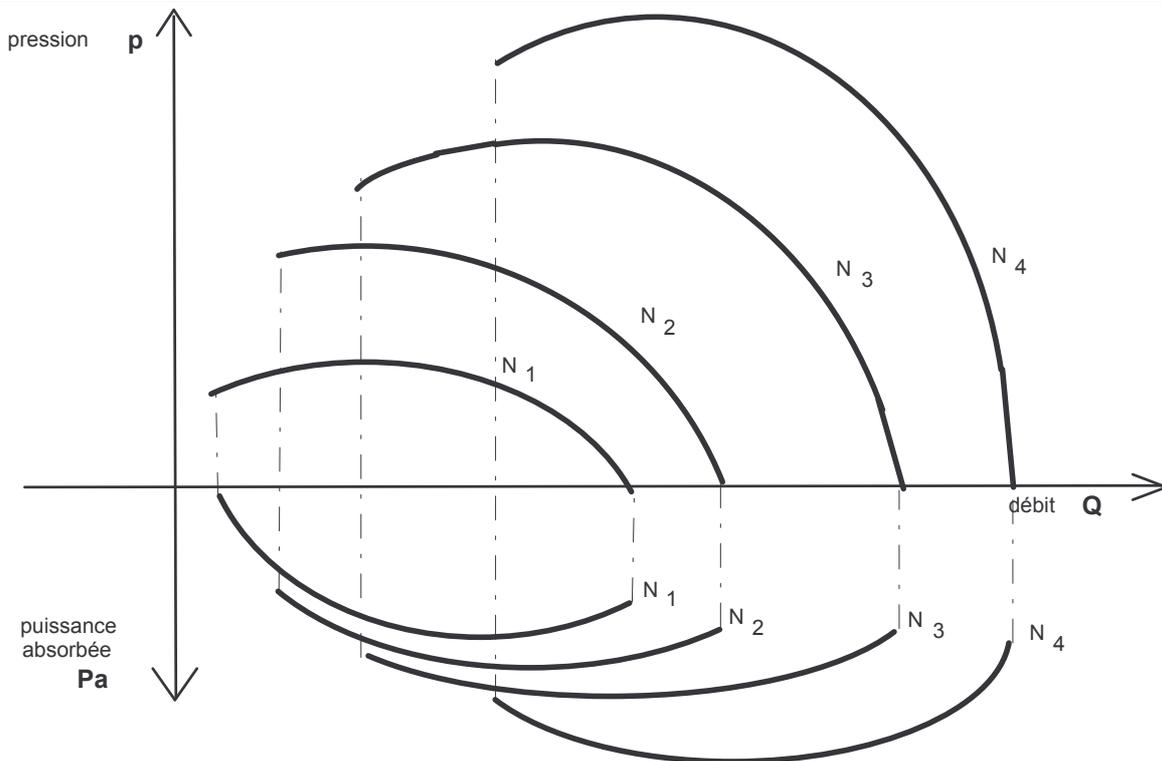
- ◆ Le ventilateur est à action si les aubes sont inclinées vers l'avant dans le sens de la rotation. Il est à réaction si les aubes sont inclinées vers l'arrière dans le sens de la rotation.
- ◆ Si l'entrée d'air se fait par les deux faces, le ventilateur est dit à doubles ouïes, si elle se fait par une seule face, il est à simple ouïe.

*Ventilateurs, principe***4.4.4.3. Caractéristiques des ventilateurs**

L'un des composants essentiels d'une installation de ventilation de cuisine est le ventilateur. Il assure l'écoulement continu de l'air dans les conduits d'extraction ( de même pour l'insufflation ).

- ◆ **Débit** : exprimé en  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$  ( rarement en  $\text{l/s}$  ou en  $\text{m}^3/\text{s}$  , le débit  $Q$  est proportionnel à la vitesse de l'air mis en mouvement et donc à la vitesse de rotation  $N$  du ventilateur ( en  $\text{tr}/\text{min}$  ).
- ◆ **Pression ( ou dépression ) fournie** : c'est la différence algébrique  $p$  entre les pressions totales de l'air à l'entrée et à la sortie du ventilateur. en pascals ( Pa ) dans le S.I. ou en millimètre de colonne d'eau (  $1 \text{ mm CE} \approx 9,8 \text{ Pa}$  )
- ◆ **Puissance absorbée** : c'est la puissance  $P_a$ , en watts ( W ), qui est fournie à l'arbre d'entraînement du ventilateur, il détermine le coût de fonctionnement.
- ◆ **Rendement en %** : Le rendement est, en général, maximal pour des caractéristiques débit-pression moyennes. Il diminue si on s'approche des caractéristiques extrêmes : débit et pression minimum ou maximum. Sur la courbe caractéristique, on détermine donc une zone de fonctionnement optimal qui est, approximativement, la zone centrale de la courbe
- ◆ **Niveau sonore** : Il est lié à la vitesse de rotation, au rendement et à la dimension du ventilateur. Le bruit est provoqué par le fonctionnement du ventilateur et par le flux d'air. Il est mesuré en décibels ( dB ) à une distance du ventilateur qui doit être précisée ( en général 3 m ).
- ◆ **Courbe caractéristique de fonctionnement** : pour un ventilateur donné, il s'agit de la courbe représentant la pression fournie (  $p$  en Pa ) en fonction du débit de l'air extrait (  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{h}$  ), pour une vitesse de rotation donnée. Cette courbe, fournie par le constructeur, indique les performances de l'appareil.

**Exemple de types de courbes débit- pression [  $p = f(Q)$  ] et débit-puissance absorbée [  $P_a = f(Q)$  ]  
aux vitesses de rotation  $N_1, N_2, N_3$  et  $N_4$  ( voir page suivante )**



#### 4.4.5. Transporter

La section des gaines d'extraction impose, une fois le débit d'extraction fixé, la vitesse de circulation de l'air extrait dans la gaine. Celle-ci doit être comprise, pour un fonctionnement optimal, entre 5 et 10 m/s et en tous cas ne jamais dépasser 15 m/s. En restauration le diamètre minimum requis pour les gaines d'extraction est de 300 mm.

Au cours du transport dans les gaines, les frottements et les accidents géométriques provoquent des pertes en charges très importantes.

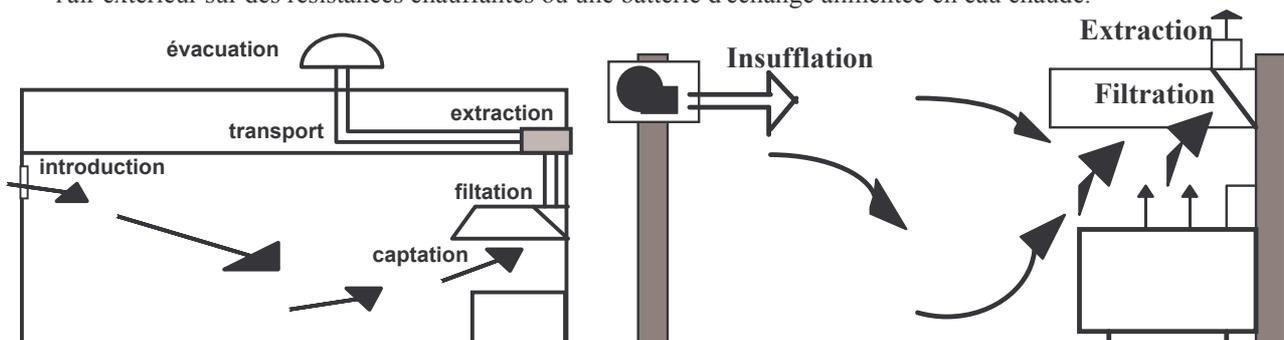
#### 4.4.6. Evacuer

L'air pollué doit être rejeté à l'extérieur loin des zones de prise d'air neuf pour éviter de le recycler. Pour cela, les tourelles d'extraction, les cheminées ou les bouches de sortie des gaines d'extraction doivent être à une hauteur suffisante et avoir une implantation qui tienne compte de la force et de la direction du vent, du relief, de la configuration du bâtiment et de son environnement

#### 4.4.7. Aérer

Le débit d'introduction de l'air neuf dans la cuisine est sensiblement inférieur à celui d'extraction, car la cuisine doit être maintenue en légère dépression par rapport aux autres locaux. Comme la compensation doit être totale (équilibre entre les quantités d'air entrantes et les quantités d'air sortantes), le complément provient des locaux contigus.

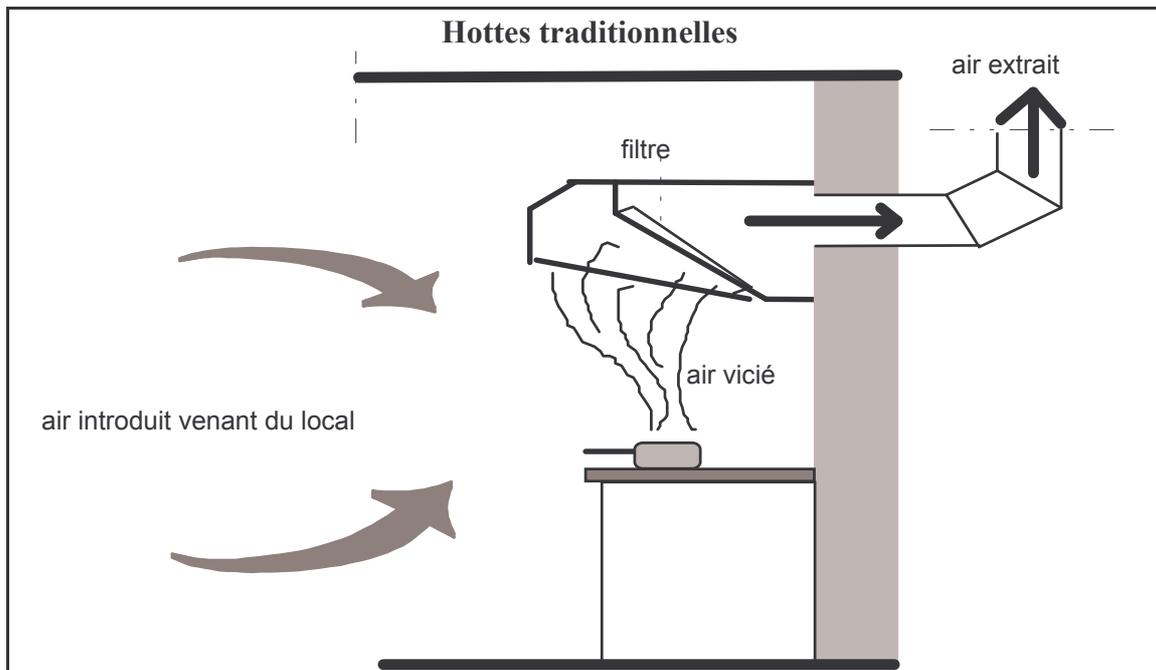
- ⇒ L'air de compensation pénètre naturellement sous l'effet l'extraction, mais de façon organisée à travers des grilles ou des orifices de ventilation calibrés qui en règlent le débit.
- ⇒ Ou bien, il est amené mécaniquement de l'extérieur. On peut alors prévoir de le porter entre 15 et 18 °C dans un échangeur ou un réchauffeur. Il est le plus souvent filtré puis soufflé par des aérothermes à au moins deux vitesses ( la plus grande destinée à l'activité de pointe ). L'aérotherme est constitué d'un ventilateur hélicoïde qui souffle l'air extérieur sur des résistances chauffantes ou une batterie d'échange alimentée en eau chaude.



## 4.5. SOLUTIONS TECHNIQUES

### 4.5.1. Hottes traditionnelles

Les **hottes à extraction simple** ou **hottes traditionnelles** assurent uniquement le captage, la filtration et l'aspiration mécanique de l'air vicié. Le balayage de l'atmosphère et la compensation de l'air extrait est assuré par des entrées naturelles de l'air en partie basse en salle de restaurant ou en cuisine même ( ou bien par un ventilateur dans le cas d'une ventilation mécanique double-flux ). La hotte se trouve reliée par un réseau de gaines à l'extracteur, souvent placé en toiture, dont la puissance est calculée afin de maintenir une dépression constante au sein de la cuisine, obligeant les polluants à passer sur les filtres pour y déposer les corps gras en suspension. Les filtres sont métalliques et montés sur cadre amovibles.



#### AVANTAGES

- Investissement faible
- Conception et installation simple
- Maîtrise du débit d'extraction
- Captage adapté aux polluants

#### INCONVENIENTS

- Débit d'extraction nécessairement faible pour limiter les courants d'air
- Surconsommation énergétique
- Confort relatif ( courants d'air dus aux débits d'extraction élevés )
- Peu esthétique

#### APPLICATIONS :

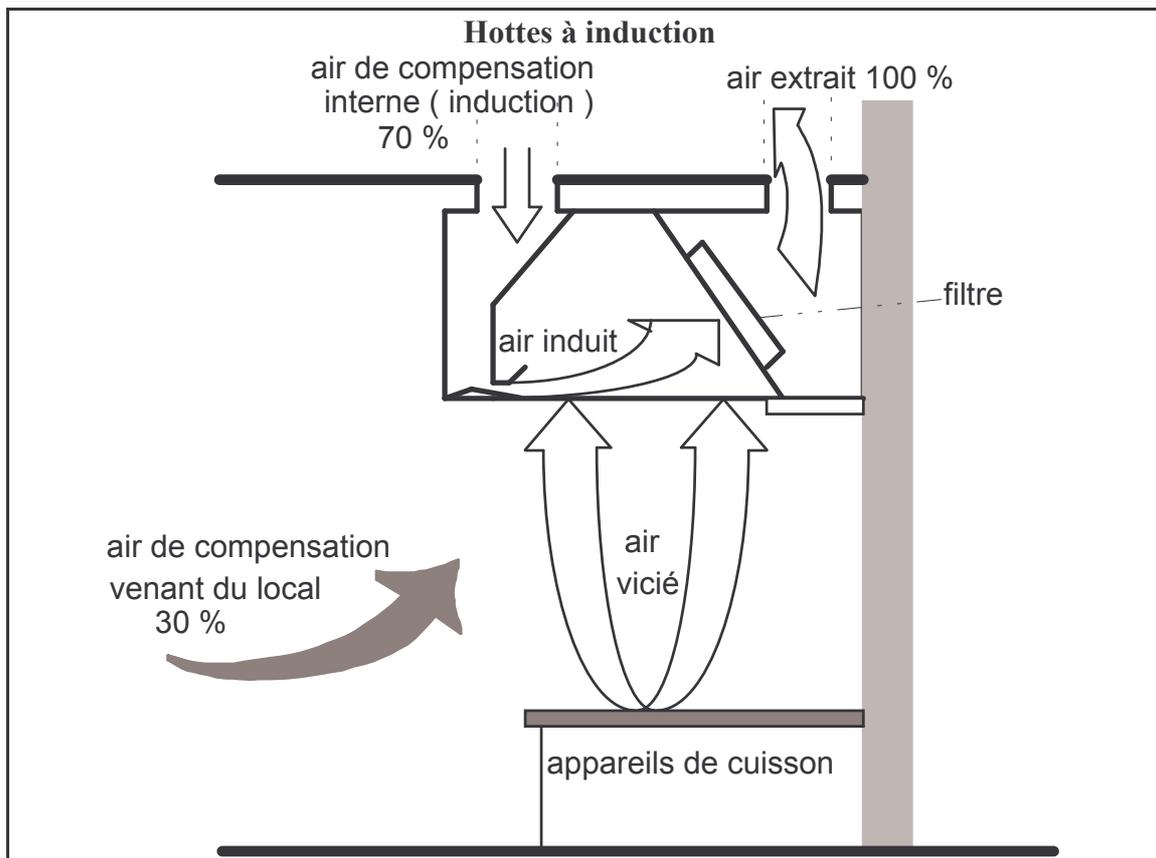
- Essentiellement cuisines traditionnelles ou cuisines collectives de petite et moyenne capacité

### 4.5.2. Hottes à compensation

L'extraction et l'insufflation d'air sont mécanique ( ventilation mécanique double-flux ), mais ce sont les hottes qui assurent en plus du captage et de la filtration, l'introduction de tout ou partie de l'air neuf : elles sont dites à **compensation**. On parle alors de **hottes à induction** ou à **diffusion**, selon la manière dont cet air est introduit à travers les hottes.

#### 4.5.2.1. Introduction interne

De l'air neuf extérieur, non réchauffé, est pulsé directement dans la hotte, par une fente horizontale, avec une vitesse et un angle qui lui permettent d'entraîner, par induction, gaz, buées et graisses jusqu'aux filtres et conduits d'extraction. Ce système permet de grands débits d'extraction sans créer d'écart thermique ni de courants d'air importants dans l'ensemble du local, assurant ainsi confort et économies d'énergie : on parle alors de **hottes à induction** ou **hottes à circuit court**.



⇒ Dans ce système 70 / 30 : 70 % de l'air est introduit au niveau des filtres de la hotte, et les 30 % restant étant soufflés dans le local par le système d'aération ( 25 % dans le cas d'une cuisine en dépression de 5 % par rapport aux autres locaux ). C'est le plus répandu actuellement.

⇒ Il existe un système 10 / 90 où seulement 10 % de l'air est introduit au niveau des filtres de la hotte mais à grande vitesse au moyen de buses, ce qui produit un effet d'induction et de barrage qui empêche le flux de pollution émis par les appareils de déborder la hotte. 90 % de l'air est insufflé dans le local par le système d'aération ( contrairement au précédent, ce système ne permet pas d'obtenir de grands débits d'extraction sans augmenter la vitesse de l'air )

#### AVANTAGES

- Efficacité plus importante des filtres ( jusqu'à 80 %).
- Réduction du débit d'air neuf introduit dans le local puisque 70 % l'est au niveau de la hotte.
- Débits d'extraction très importants sans courants d'air de vitesse excessive dans le local.
- Economies d'énergie car la quantité d'air neuf à réchauffer et à filtrer n'est plus que de l'ordre de 25 à 30 % ( air de compensation venant du local ).
- Entretien réduit résultant de gaines moins encrassées, et une meilleure sécurité incendie.
- Garantie de meilleures conditions de confort et d'hygiène.

#### INCONVENIENTS :

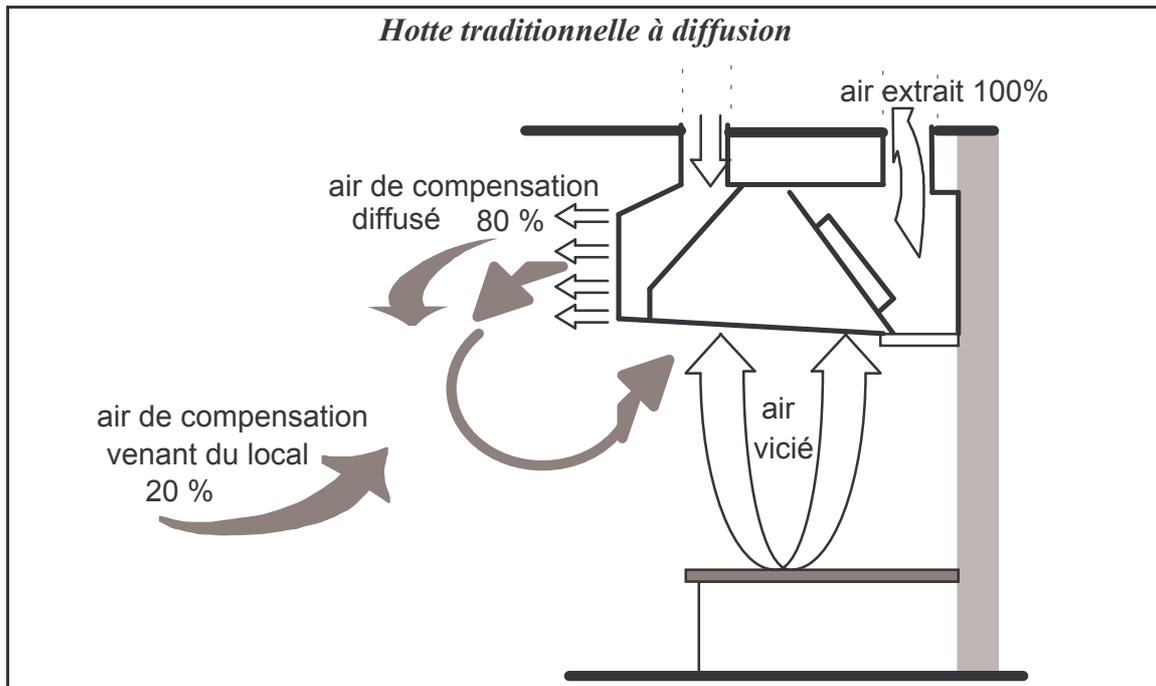
- Conception et une installation beaucoup plus importante.
- Investissement plus considérable qu'une hotte classique.
- Débit d'induction pas toujours facilement réglable.
- Prévoir un système d'introduction d'air neuf pour les 25 à 30 % nécessaires.

APPLICATIONS : Ce système convient à de grosses unités telles que les cuisines centrales, mais peut s'adapter à de moyennes unités comme les cuisines satellites.

#### 4.5.2.2.Introduction externe

La hotte, en plus d'assurer sa fonction de captation et de filtration, sert à diffuser dans la cuisine l'air neuf traité ( filtré et réchauffé ) afin de compenser l'extraction. Cette diffusion se fait dans la partie supérieure de la hotte, créant un mouvement circulaire de la masse d'air tout autour, et ramenant ainsi l'air vicié vers les filtres. Ici, il n'y a plus d'introduction périphérique ou autre de l'air, en dehors de celle réalisée par la hotte. On parle alors de **hottes à diffusion ( à double ou triple flux )**.

Le débit de l'air diffusé est de l'ordre de 80 % du débit de l'air extrait de façon à créer une dépression qui assure le balayage de l'ensemble du local, les 20% restant étant assurés par le système d'aération mécanique ou naturelle, en cuisine ou en salle.

**AVANTAGES :**

- Remplace avantageusement les bouches d'aération dans les faux plafonds.
- Elimine toute autre source d'introduction au niveau du local.
- Procédé qui permet une régulation souple du débit car adapté au besoin du local.
- Maîtrise des débits permettant une gestion optimale.
- L'air neuf introduit est filtré avant d'être diffusé par la hotte.
- Garantie des conditions de confort et d'hygiène.

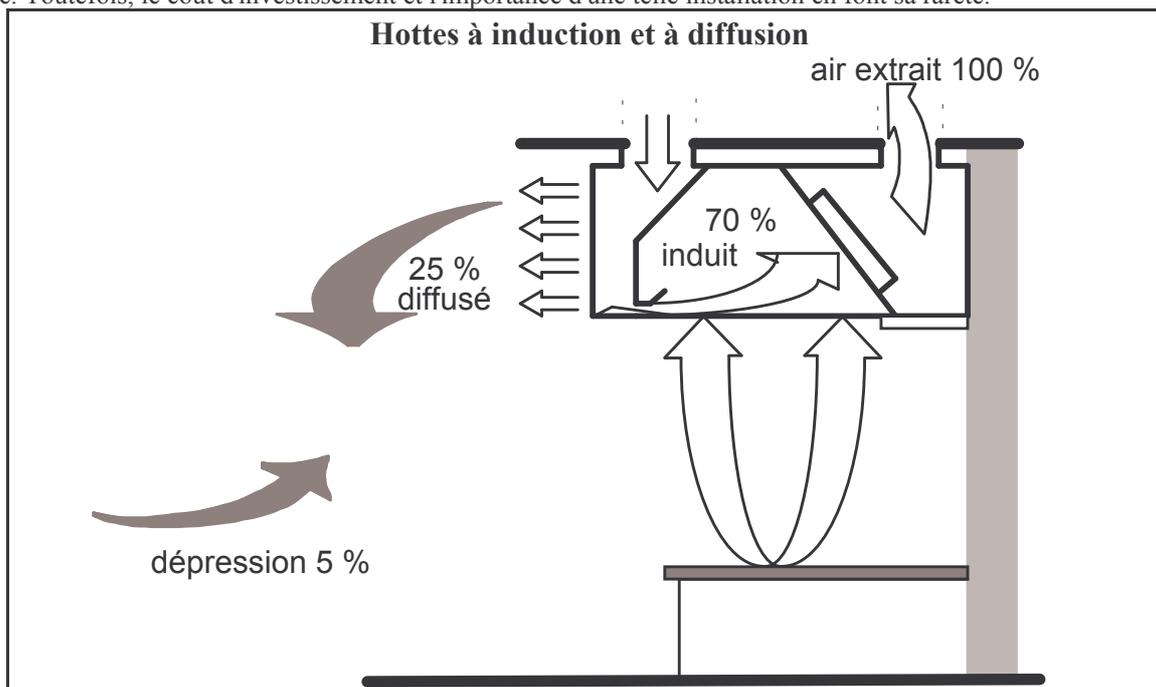
**INCONVENIENTS :**

- Conception et une installation beaucoup plus complexe.
- Investissement plus important.

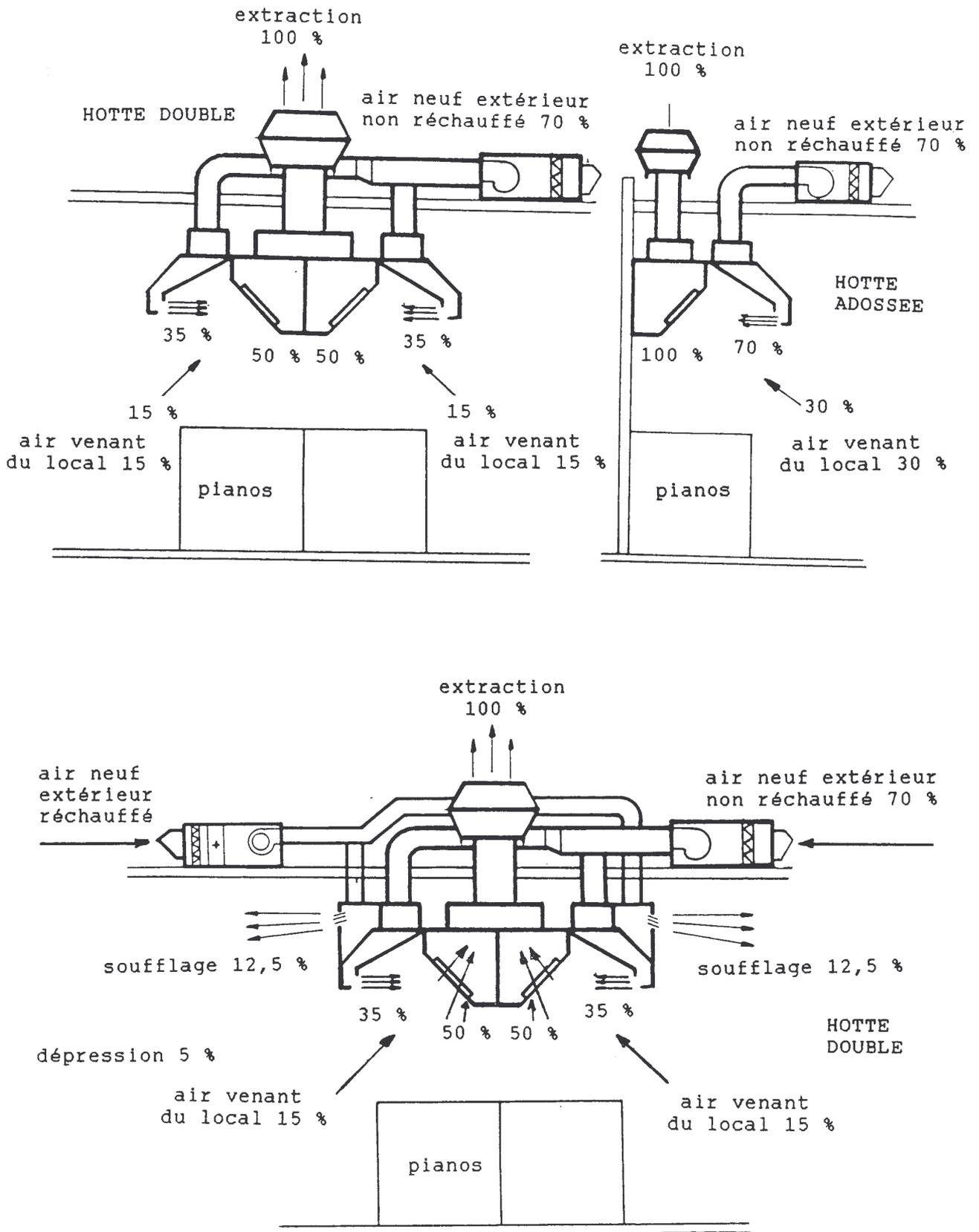
**APPLICATIONS :** Ce système convient à de grosses unités telles que les cuisines centrales, mais peut s'adapter à de moyennes unités comme les cuisines satellites.

**4.5.2.3.Introduction mixte**

Ces deux systèmes de hottes à compensation peuvent être combinés en une seule et même installation plus performante encore. Toutefois, le coût d'investissement et l'importance d'une telle installation en font sa rareté.



Document : hottes à compensation ( source S.N.A.C. )



### 4.5.3. Plafonds filtrants

Entièrement en inox ou aluminium, ils sont conçus pour couvrir tout ou partie de la cuisine et sont opérationnels sur toute leur surface. L'air passe sur des filtres à choc et vient frapper les déflecteurs semi-circulaires, provoquant l'action de filtration. Les vapeurs ainsi au contact de la surface froide des déflecteurs, vont se condenser et s'écouler jusque dans les canaux collecteurs. Ces canaux peuvent être démontés et nettoyés très facilement, aussi souvent que cela s'avère nécessaire. L'insufflation de l'air neuf de compensation se fait en périphérie du plafond afin de ramener l'air vicié au centre, sous le plafond.

AVANTAGES :

- Efficacité des filtres qui peut atteindre 95 %.
- Captation immédiate des vapeurs grâce à l'importance de la surface d'extraction.
- L'air neuf introduit est filtré.
- Garantie d'une hygiène et d'un confort absolu.
- Possibilité de disperser ou de déplacer le matériel de cuisson, de modifier le concept de production.
- Entretien relativement facile ( panneaux démontables nettoyés au "Karcher" ) s'il est régulier.
- Esthétique, "design".

INCONVENIENTS :

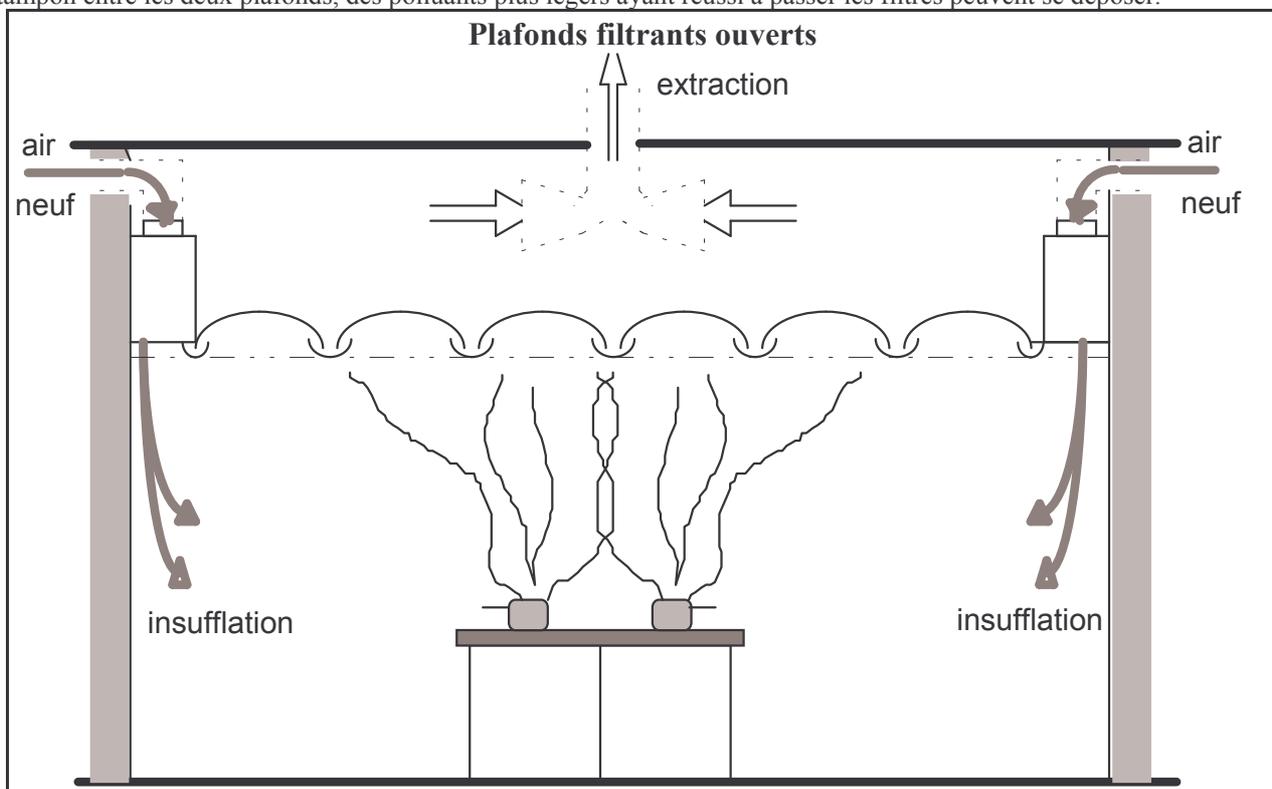
- Conception et installation très importante.
- Investissement très lourd dû essentiellement au matériaux utilisés.
- Hauteur sous plafond nécessairement comprise entre 2,70 m et 3 m.
- Difficulté de captage des particules lourdes.
- Nettoyage qui prend du temps
- Le débit doit être calculé précisément car la hauteur et la diffusion sont importantes.
- Prévoir un réchauffement de l'air introduit si un système d'économie d'énergie n'est pas prévu.

APPLICATIONS : Ce système est conçu pour répondre parfaitement aux attentes des grandes cuisines comme les cuisines centrales ou les unités centrales de production ( UCP ).

Il existe deux types de plafond filtrant selon le système de raccordement au réseau d'extraction : les plafonds ouverts et les plafond fermés.

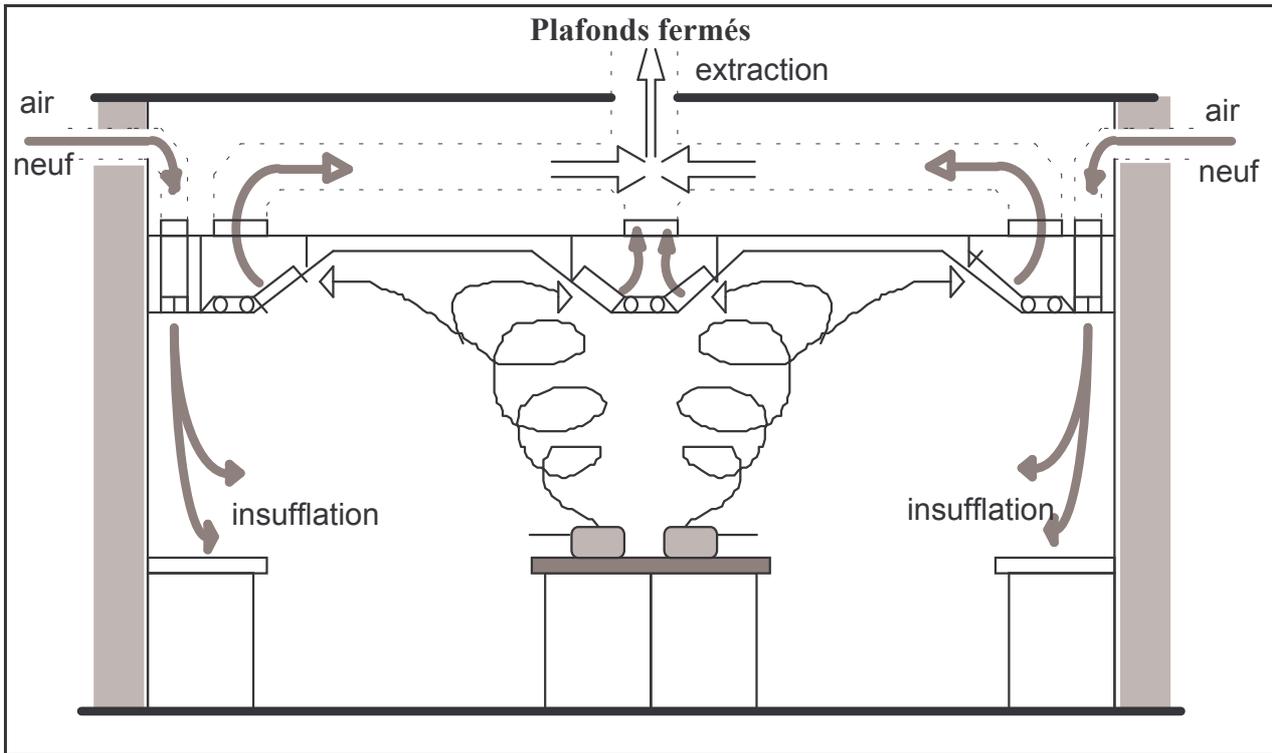
#### 4.5.3.1.Plafonds ouverts

L'air est repris en vrac au-dessus des éléments filtrants à partir d'un convergent, et se trouve directement extrait par la tourelle ou le ventilateur placé en toiture. Toutefois, durant le laps de temps pendant lequel l'air séjourne dans la zone tampon entre les deux plafonds, des polluants plus légers ayant réussi à passer les filtres peuvent se déposer.

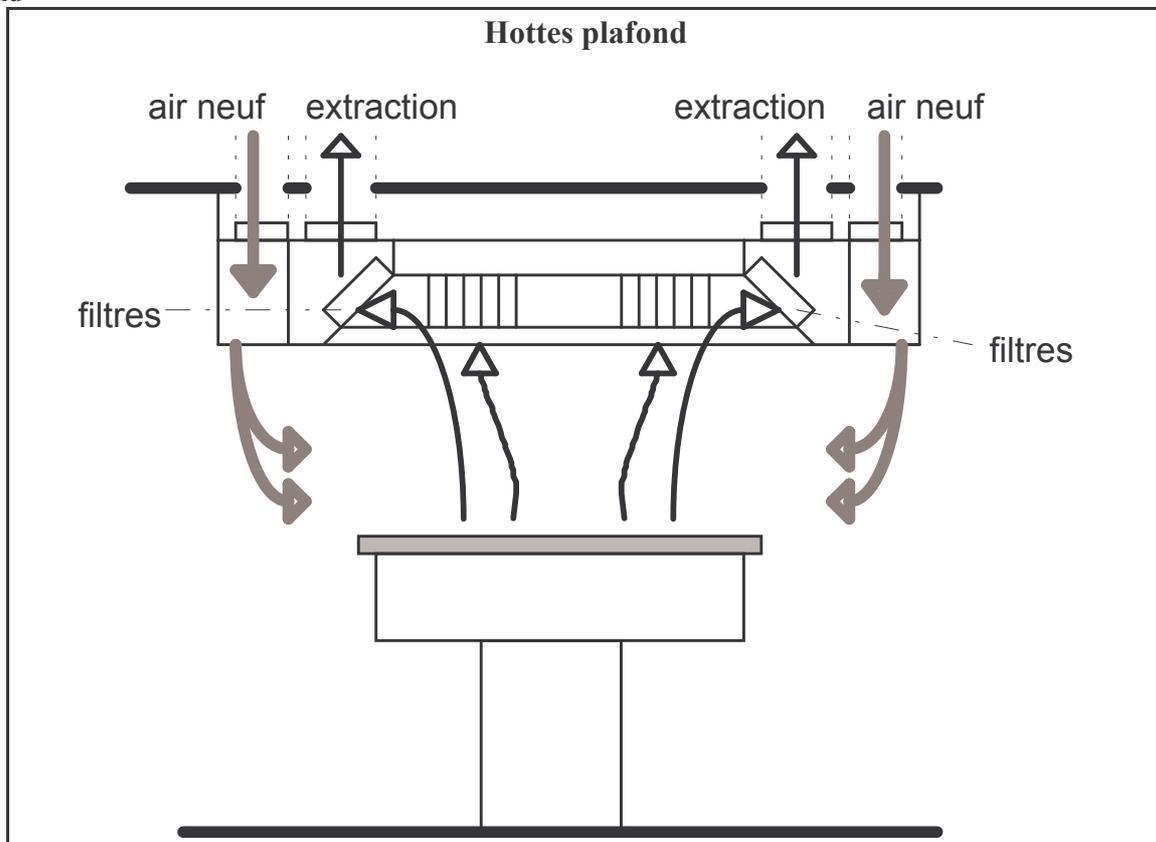


### 4.5.3.2.Plafonds fermés et hottes - plafond

Les travées porte-filtres sont entièrement gainées et raccordées au ventilateur, rendant ainsi la partie creuse entre le plafond filtrant et le plafond proprement dit, imperméable à tout encrassement, assurant une meilleure hygiène mais au prix d'un coût très élevé.



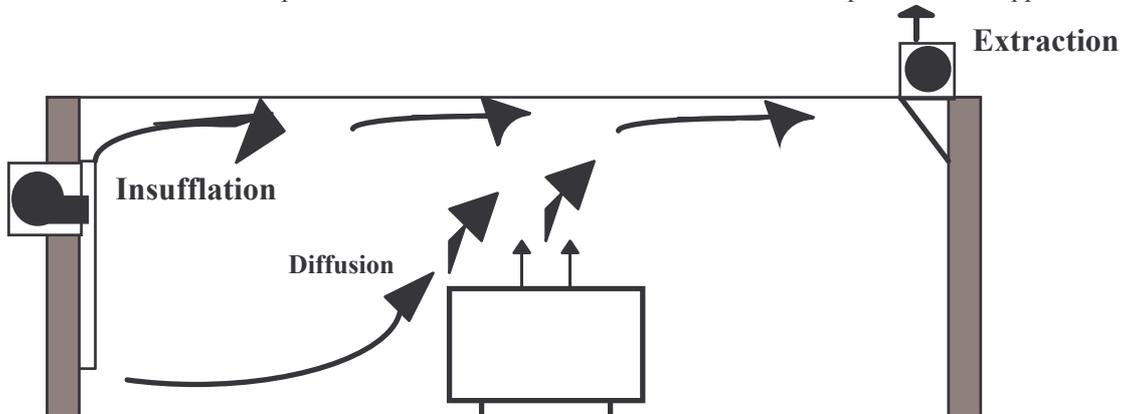
Pour diminuer le coût , on limite le plafond filtrant à la couverture des appareils de cuisson. On parle alors de hottes - plafond



### 4.5.4. Ventilation sans hotte (par induction)

une extrémité de la pièce permet un double balayage de l'atmosphère :

- en partie haute, l'air est soufflé à grande vitesse sous un angle très fermé de façon à provoquer un fort courant d'air de faible épaisseur. L'air chaud vicié et les produits polluants qui s'y trouvent sont entraînés vers les bouches d'extraction situées à l'autre extrémité de la pièce.
  - en partie basse, l'air insufflé entraîne les gaz brûlés et les vapeurs viciées vers le plafond.
- L'air du local est alors renouvelé par élimination successive des couches d'air entre le plafond et les appareils.



AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure esthétique : absence de hotte dans la cuisine.</li> <li>• Solution idéale pour plafonds trop bas.</li> <li>• Simplicité relative de conception et d'installation.</li> <li>• Investissement qui reste peu élevé, voire faible.</li> <li>• L'air neuf introduit est filtré.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diffusion des polluants dans l'atmosphère du local.</li> <li>• Nécessité de prévoir un débit plus important qu'avec une hotte (30 à 50 % de plus) afin d'évacuer plus rapidement les polluants il est recommandé d'installer des capteurs locaux au-dessus des appareils les plus polluants (friteuses, grils, sauteuses...).</li> <li>• Captation des polluants est rendue plus difficile par l'absence d'enceinte de captage.</li> <li>• Confort risque d'être altéré par la formation possible de courants d'air.</li> </ul>

Applications : Ce système s'adapte de préférence sur de petites unités car à l'échelle d'une cuisine centrale, le débit à mettre en oeuvre créerait inmanquablement de forts courants d'air.

### 4.5.5. La hotte électrostatique

Ce système, d'une conception particulière, met en oeuvre une double, voire triple filtration avant extraction :

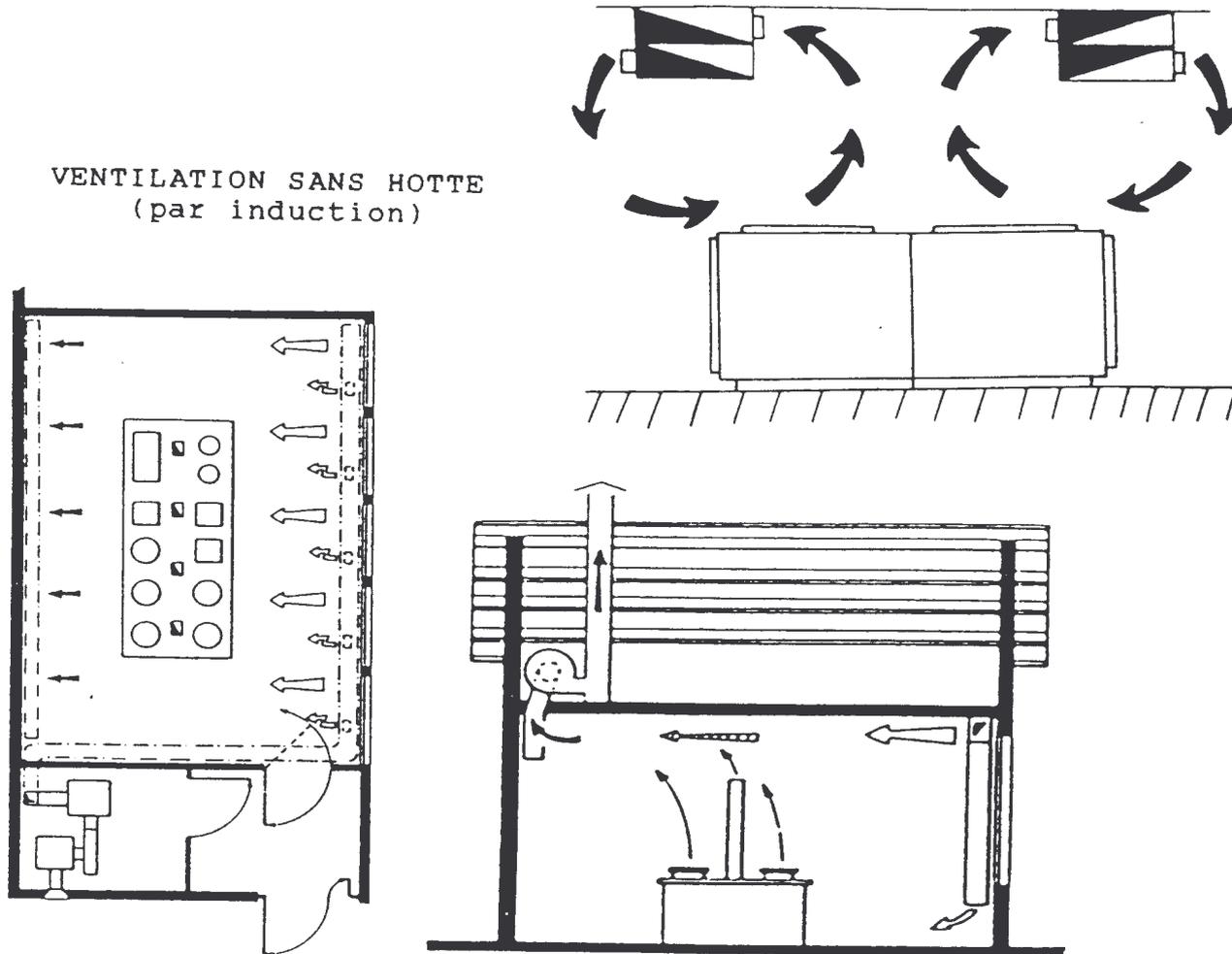
- ⇒ La **première filtration** se fait par passage sur **filtres à choc**, où l'air vient frapper à grande vitesse les déflecteurs. Par condensation au contact des parois, les particules grasses vont s'écouler jusque dans des canaux prévus à cet effet.
- ⇒ La **deuxième filtration**, a lieu immédiatement après par passage au travers de quatre rangées de **tricots métalliques**.
- ⇒ Une **cellule électrostatique** élimine ensuite les dernières particules restantes. C'est un processus permettant de récolter les poussières et les gouttelettes en suspension dans un gaz par électrisation des particules qui sont ensuite projetées vers des plaques chargées (électriquement) de signe contraire.

Un cycle de nettoyage automatique s'enclenche en fin de service afin de remettre en condition les cellules. Une projection d'eau traverse les deux batteries de filtres, et l'ensemble des eaux usées s'écoule dans une gouttière vers un bac dégraisseur.

AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité de filtration jusqu'à 99 %.</li> <li>• Elimination des risques d'incendie par accumulation des graisses sur les filtres ou dans les conduits.</li> <li>• L'air extrait et rejeté dans l'atmosphère est moins polluant car mieux traité.</li> <li>• Entretien par le personnel est réduit au minimum.</li> <li>• Garantie d'hygiène et de confort.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conception et installation très importante.</li> <li>• Investissement très lourd du à la haute technicité de l'installation.</li> <li>• Débit par cellule de 800 m<sup>3</sup>/h seulement.</li> </ul>

Application : En théorie, applicable à tous les types de cuisine, mais le coût d'investissement limite les installations aux unités importantes."

*Document : Procédés de ventilation sans hottes*



**4.5.6. Traitements des nuisances**

Tout système de ventilation est source de nuisances :

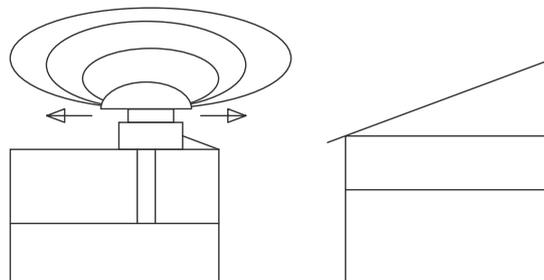
- de par sa vocation, il libère dans l'atmosphère diverses odeurs et substances
- de par son fonctionnement, il entraîne l'émission de bruits

Il convient donc lors d'installation de systèmes de ventilation, de mettre en oeuvre les solutions techniques existantes afin de limiter au maximum les nuisances aussi bien vis à vis de l'environnement, que du personnel de cuisine.

**4.5.6.1. Nuisances dues aux odeurs**

Les odeurs de cuisine sont nombreuses et complexes. Elles sont liées à la dispersion de gaz multiples provenant de la préparation et de la cuisson des aliments, de la combustion... La perception des odeurs peut varier de l'agréable à l'insoutenable selon les individus, la durée d'inhalation, la concentration de l'odeur même.

Quoiqu'il en soit, les rejets dans l'atmosphère doivent être effectués avec précaution car, les cuisines étant généralement implantées proche de zone d'habitat, l'environnement immédiat pourrait avoir à pâtir d'une mauvaise diffusion des odeurs. Ainsi, par exemple, dans le cas de l'implantation en toiture de tourelles à diffusion latérale, il y a dissipation des odeurs aux alentours sous la forme de cercles concentriques



Aussi toute installation en toiture doit se trouver au minimum à 1m au dessus de tout bâtiment environnant et distante de 8m. L'utilisation de tourelles à rejet vertical est à préconiser car permettant une plus grande et plus rapide dilution dans l'atmosphère.

## 4.5.6.2. Traitement des odeurs

### 4.5.6.2.1. Méthode au charbon actif

Le charbon actif est un charbon de houille (pour la majorité), qui après avoir été traité bénéficie d'une structure poreuse très développée à haut pouvoir d'absorption de gaz.

Son rôle n'est pas d'éliminer les odeurs, mais plutôt de les capter et de les stocker au sein de sa structure jusqu'à saturation. Cependant, son efficacité face aux vapeurs grasses est seulement de l'ordre de 50 à 55 % et une fois le seuil de saturation atteint, il faut prévoir la réactivation du charbon

### 4.5.6.2.2. Méthode à l'ozone

L'ozone ( $O_3$ ) est un gaz d'odeur forte très caractéristique, et d'un pouvoir oxydant bien supérieur à celui de l'oxygène. Il est obtenu par action électrique sur l'oxygène.

Le canon à ozone utilisé dans le traitement des odeurs, bénéficie d'un rendement nettement supérieur à celui du charbon actif (90 à 95 %).

## 4.5.6.3. Nuisances dues au bruit

Le système de ventilation est source de bruit :

### a) Les ventilateurs

Ils sont le plus souvent la principale source de bruits dans une installation. On peut classer les bruits générés en deux catégories :

- bruits aérodynamiques dûs aux mouvements de l'air
- bruits mécaniques causés par les vibrations du groupe d'extraction dues à sa vitesse de rotation

Les vibrations sont ainsi transmises aux parois du local technique et véhiculées vers les locaux voisins. Elles sont également transmises aux conduits des réseaux partant du ventilateur.

### b) Les conduits

Seconde source importante de bruits, les conduits transportent tous les sons émis en cuisine. Ils subissent des vibrations dues au ventilateur, et au passage de l'air essentiellement. En règle générale

- le frottement de l'air,
- les changements de direction,
- les dérivations,
- les coudes,
- la vitesse de passage de l'air,
- les variations de débits de gaines,

sont autant de problèmes à résoudre pour éliminer le facteur bruit d'une installation.

### c) Les hottes

Elles sont rarement une nuisance sonore si les vitesses de passage dans les gaines sont acceptables. Le bruit généré au niveau des filtres est minime, la vitesse de passage de l'air étant généralement inférieure à 2m/s.

### d) Les tourelles

Le sifflement émis par les tourelles lors du rejet dans l'atmosphère est une gêne constante tout au long de la journée. Ce phénomène n'est que plus amplifié lorsqu'il s'agit de tourelles à rejet horizontal dispersant ses ondes sonores en flux direct ou réfléchi par les parois environnantes.

## 4.5.6.4. Traitement du bruit

### 4.5.6.4.1. Au niveau des ventilateurs

- Utiliser des ventilateurs centrifuges à réaction dont le niveau sonore global est plus faible.
- Utiliser le ventilateur au point de fonctionnement optimal.
- Limiter la transmission des vibrations en plaçant le groupe sur un système anti-vibratile composé de dalles flottantes, d'amortisseurs, et le tout isolé dans un caisson à parois absorbantes.
- Raccorder le caisson au réseau par des manchettes souples permettant une coupure vibratoire du réseau. Mise en place également de manchettes souples aspiration et refoulement.

### 4.5.6.4.2. Au niveau des conduits

- Prévoir des anti-vibratiles entre les conduits et leur fixation aux parois du bâtiment afin de limiter les ondes sonores dues au passage de l'air.

- Dimensionner correctement le réseau de gaines pour limiter les pertes de charges et éviter la formation de turbulences.
- Utiliser des gaines avec revêtement absorbant (laine minérale, mousse poreuse).

#### **4.5.6.4.3. Au niveau des hottes**

Veiller à maintenir les filtres propres afin d'éviter l'augmentation de la vitesse de passage et des pertes de charges qui engendreraient des turbulences dans les conduits.

#### **4.5.6.4.4. Au niveau des tourelles**

Préférer les tourelles à rejet vertical permettant une plus grande diffusion et dilution des ondes sonores dans l'atmosphère. Elles annulent également l'effet de réflexion puisque les ondes ne trouvent plus d'obstacle. Toutefois, elles doivent être implantées à 8m de distance minimum de tout habitat.

Un respect de ces quelques contraintes évitera multitude de problèmes une fois l'implantation réalisée.

### **4.5.7. Récupérateurs de chaleur**

Avantages : Ils permettent d'économiser de l'énergie en réchauffant l'air neuf grâce à la chaleur de l'air vicié avec des rendements de 40 à 70 % . Leurs coûts d'exploitation sont très faibles.

#### Inconvénients :

- Les phénomènes de condensation imposent l'utilisation de matériaux inoxydables coûteux.
- L'investissement est souvent assez important.
- Les échangeurs introduisent des pertes de charges importantes.
- Ils obligent, pour la plupart, à regrouper les gaines de ventilation.
- Leur entretien n'est pas négligeable.

#### **4.5.7.1. Echangeurs à eau glycolée**

Un fluide caloporteur (l'eau glycolée) transfère la chaleur d'une batterie chaude, dans la gaine d'extraction, à une batterie froide, dans la gaine d'insufflation. 45 à 55 % de la chaleur peut être récupérée.

#### **4.5.7.2. Echangeurs à plaques**

L'air neuf et l'air vicié circulent, en sens contraires ou à flux croisé, dans un caisson constitué de plaques superposées, qui servent de surfaces d'échange entre les deux flux. 50 à 70 % de la chaleur peut être récupérée.

#### **4.5.7.3. Echangeurs à caloducs**

Un assemblage de tubes étanches traverse les deux gaines. Ces tubes contiennent un fluide qui se vaporise au contact du flux d'air vicié chaud en absorbant de la chaleur et qui se condense au contact du flux d'air frais en lui restituant la chaleur. La circulation du fluide est assurée par capillarité. 60 à 80 % de la chaleur peut être récupérée.

#### **4.5.7.4. Echangeurs rotatifs**

Une roue, qui possède une importante surface d'échange du fait de sa structure en alvéole (ou nid d'abeille) tourne lentement (10 tr/min) en traversant les deux flux. Environ 70 % de la chaleur peut être récupérée.

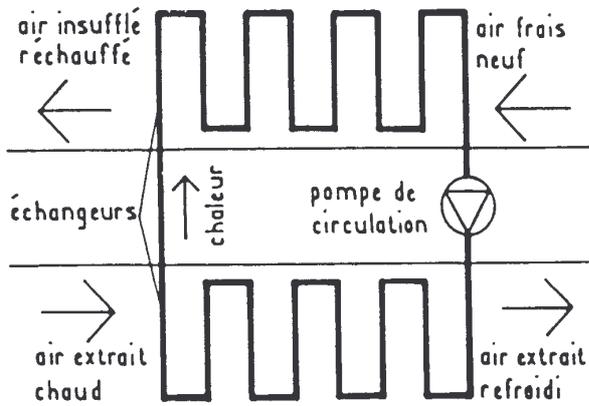
#### **4.5.7.5. Pompe à chaleur**

Une pompe à chaleur fonctionne entre les deux flux d'air extrait et insufflé. Si la P.A.C. est réversible, il est possible de réchauffer l'air neuf l'hiver et au contraire de le rafraîchir l'été. Ce système est réservé aux très grosses installations. L'investissement est très élevé, sa rentabilité doit s'évaluer soigneusement.

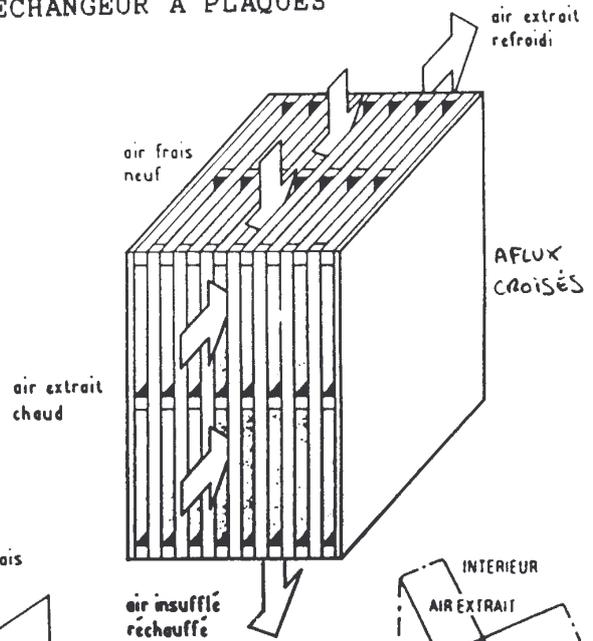
Document : Différents types de récupérateurs de chaleur (1)

ECHANGEUR A EAU GLYCOLEE

(Doc. EDF)



ECHANGEUR A PLAQUES



ECHANGEUR A BATTERIES DE CALODUCS

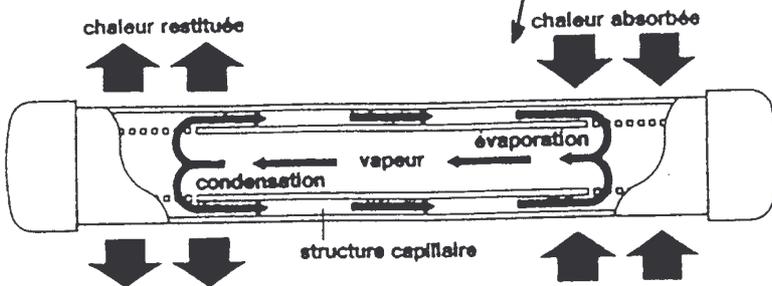
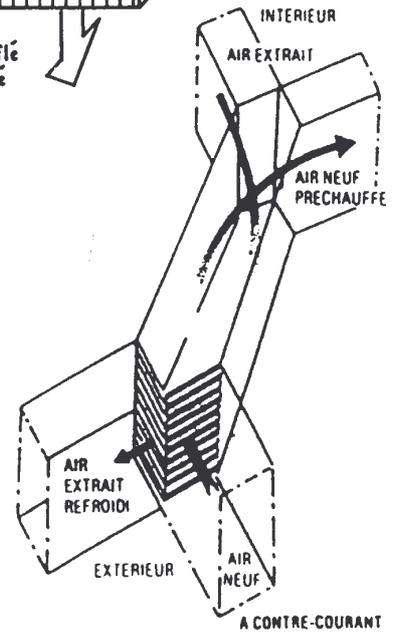
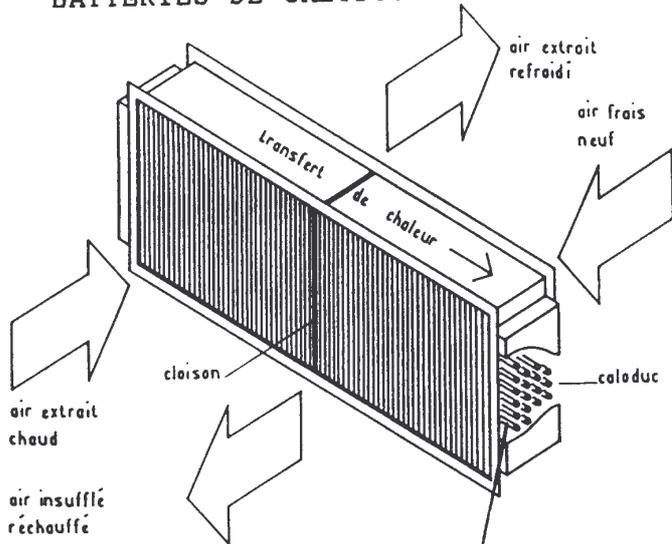
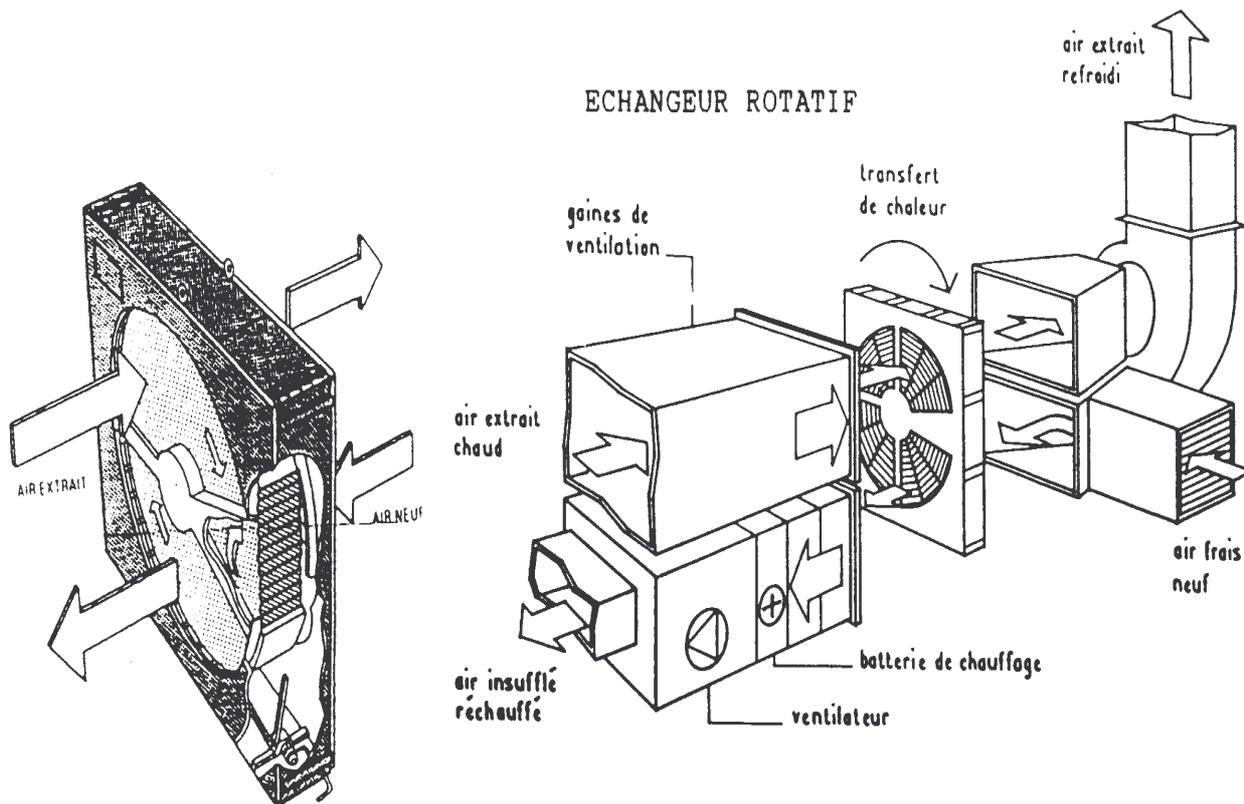


Schéma d'un échangeur CALODUC (Doc. EDF)



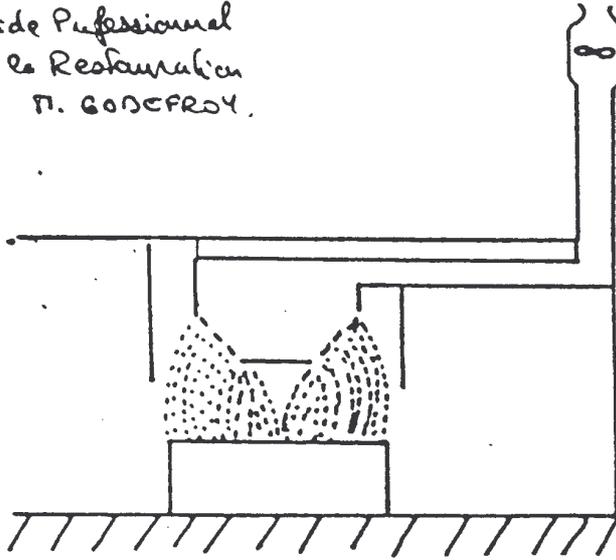
Document : Comparatif des différents types de récupérateurs de chaleur  
 Extrait de « traité d'ingénierie hôtelière, J.P. Poulain et G. Larrose, Editions Lanore »

Tableau comparatif des différents échangeurs

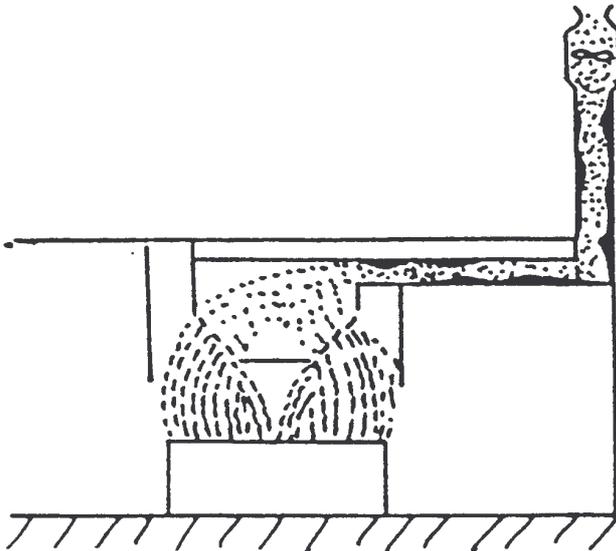
Echangeurs	Facteur de récupération %	Débits m³/h	Perte de charge mbar	Givrage	Régulation	Auxiliaire	Mise en œuvre	Entretien
à plaques	60 à 80 (croisé ou opposé)	100 à 120 000	moyenne 1 à 4	oui (préchauff. ou volet)	non (by pass éventuel)	non	Encombrement : important Ramener : les 2 flux d'air au même endroit Prévoir : by-pass, évacuation des condensats, filtres Installation très simple Recyclage d'air : nul	Nettoyage ou remplacement des plaques suivant le modèle Durée de vie pratiquement illimitée
à eau glycolée	45 à 55	800 à 200 000 et plus	faible < 2	non si régulé	oui (par vannes trois voies)	Pompe 0,1 kW/m³/s d'air traité	Encombrement faible Pas nécessaire de ramener les 2 flux d'air au même endroit. Prévoir calorifugeage, évacuation condensats, filtres - Installation simple Recyclage d'air nul	Nettoyage batteries Entretien de la pompe Durée de vie importante 10 à 15 ans
rotatifs lents	60 à 80	600 à 140000	moyenne 1 à 4	non si régulé	oui (vitesse moteur)	Moteur électrique 50 à 750 W	Encombrement important Ramener les 2 flux d'air au même endroit, prévoir filtres Installation simple- Recyclage 1 à 5 % (0,5 % avec secteur de purge)	Nettoyage de la surface d'échange Entretien moteur et courroie d'enchaînement Durée de vie importante avec média métallique 10 à 20 ans
rotatifs rapides	45 à 55	200 à 2 000		non si régulé	oui	Moteur électrique 300 à 1 000 W	Encombrement très faible Ramener les 2 flux d'air au même endroit. Remplace ventilateur (3 à 5 mbars) et filtres - Installation simple Recyclage < 5 %	Nettoyage ou remplacement de la turbine en mousse Entretien moteur Peu de références en France
à caloducs	60 à 80	200 à 100 000	faible 0,5 à 1,5	oui (préchauff.)	verticale non horizontale oui mais délicate	non	Encombrement faible Ramener les 2 flux d'air au même endroit - Prévoir l'évacuation des condensats, filtres - Installation très simple - Recyclage nul	Nettoyage périodique Durée de vie pratiquement illimitée ( dans la plage des températures normales de fonctionnement )

## Document : Evolution du fonctionnement d'un système de ventilation

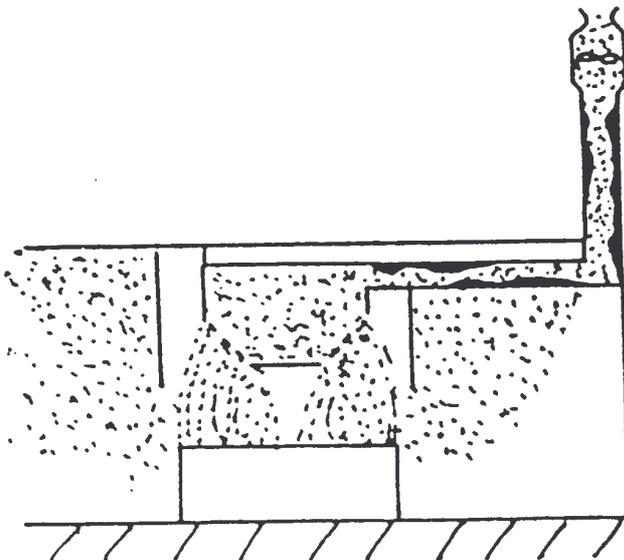
Guide Professionnel  
de la Restauration  
M. GONCROY.



A. Fonctionnement normal. Le débit normal est respecté. Les graisses sont déposées correctement sur les mailles du filtre.



B. Peu à peu, les filtres s'encrassent. Une partie des graisses remonte jusqu'au système mécanique d'extraction qui fait office de séparateur en se chargeant de matières grasses.



C. Lorsque l'atmosphère de la cuisine se charge d'aérosols gras, il y a longtemps que le système est encrassé. Le système d'extraction continue de faire office de séparateur. Les graisses ruissellent dans les conduits verticaux où existe un danger d'incendie imminent. Par ailleurs, une mauvaise évacuation favorise un dépôt de graisses au sol qui le rend glissant.

# CHAPITRE 6 : L'ECLAIRAGE

## 1. LA LUMIERE

### 1.1. ENERGIE LUMINEUSE

La lumière est une forme d'énergie émise par les électrons des atomes quand ils changent de niveau d'énergie. Cette énergie se propage sous forme de vibrations : les *ONDES LUMINEUSES* ou *RADIATIONS LUMINEUSES*.

La propagation d'une onde lumineuse s'accompagne toujours d'un **TRANSFERT D'ENERGIE**. L'énergie lumineuse peut être absorbée et transformée en :

- énergie électrique : dans une cellule photovoltaïque ou photopile.
- énergie calorifique : chauffage par infra-rouge, chauffage solaire.

L'ENERGIE LUMINEUSE provient de la transformation d'une autre forme d'énergie :

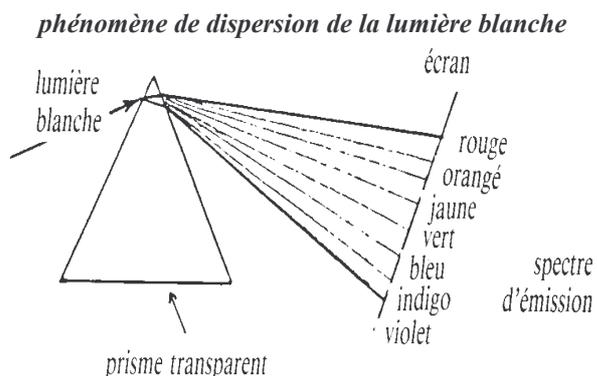
- énergie électrique : arc électrique, étincelles, éclair de l'orage.
- énergie chimique : phosphorescence, luminescence.
- chaleur : incandescence, flammes (cette chaleur provient le plus souvent de la transformation de l'énergie électrique par effet Joule ou par transformation de l'énergie chimique lors d'une combustion).

### 1.2. NATURE DE LA LUMIERE BLANCHE

La lumière blanche est émise par un corps très chaud ("chauffé à blanc") : soleil, étoile, filament d'une lampe à incandescence, métal porté à plus de 1200 °C ... etc.

Quand un faisceau de lumière blanche traverse un prisme transparent, on observe, à la sortie, des faisceaux de diverses couleurs (couleurs de l'arc en ciel) : phénomène de dispersion de la lumière blanche.

La lumière blanche a été décomposée en radiations de couleurs différentes, les rouges étant les moins déviées, les violettes les plus déviées. L'ensemble des sept couleurs visibles constituent le spectre de la lumière blanche.



Chaque radiation a une longueur d'onde différente :	
Couleur	Longueur d'onde en micromètres
<b>Violet</b>	<b>0,40 μm</b>
<b>Indigo</b>	<b>0,45 μm</b>
<b>Bleu</b>	<b>0,50 μm</b>
<b>Vert</b>	<b>0,53 μm</b>
<b>Jaune</b>	<b>0,58 μm</b>
<b>Orangé</b>	<b>0,60 μm</b>
<b>Rouge moyen</b>	<b>0,65 μm</b>
<b>Rouge sombre</b>	<b>0,75 μm</b>
Remarque : 1 micromètre = 1 μm = 10 <sup>-6</sup> m = 10 <sup>3</sup> nm	
1 nanomètre = 1 nm = 10 <sup>-9</sup> m = 10 <sup>-3</sup> μm	

Les **ULTRAVIOLETS ( UV )** de longueur d'onde inférieure à 0,38 μm et les **INFRAROUGES ( IR )** de longueur d'onde supérieure à 0,76 μm sont invisibles à l'œil humain.

Les ultraviolets ont des propriétés antiseptiques utilisées, par exemple, pour la désinfection des couteaux en cuisine ou des chambres froides. Ils sont responsables du brunissement de la peau exposée au soleil (lampes à bronzer) ainsi que de la synthèse cutanée de la vitamine D antirachitique. Le soleil émet de nombreux U.V. : ceux de plus grande longueur d'onde (les UVA) ne sont pas nocifs, mais ceux de courtes longueurs d'onde ( les UVB et UVC ) sont responsables de graves brûlures, de lésions de l'œil et même de cancers de la peau. Ils sont heureusement pour la plupart arrêtés par la couche d'ozone de l'atmosphère.

Les corps chauds produisent des infrarouges. Certaines pellicules sensibles aux infrarouges permettent la photographie dans l'obscurité. Les infrarouges absorbés par un corps sont en majorité convertis en chaleur (radiateurs, sèche-cheveux, fours à infrarouge). Ce sont les infrarouges du rayonnement solaire qui, absorbés lorsque l'on s'expose au soleil, donnent alors l'impression de chaleur.

### 1.3. PROPAGATION DE LA LUMIERE

Les ondes lumineuses se propagent en ligne droite. Elles peuvent se propager dans des milieux transparents mais sont arrêtées par les milieux opaques.

Dans un milieu transparent quelconque (par ex. le verre ou l'eau), la vitesse de la lumière n'est plus  $c = 300\,000\text{ km/s}$

mais elle diminue :

$$v = \frac{c}{n}$$

**n** indice de réfraction du milieu

Un corps qui absorbe une radiation lumineuse peut la réémettre sous forme d'infra-rouge ou d'une radiation visible, ses molécules en ayant changé éventuellement la longueur d'onde.

- ♦ un corps **FLUORESCENT** absorbe la lumière sous forme d'UV et la réémet instantanément sous une longueur d'onde visible.
- ♦ un corps **PHOSPHORESCENT** absorbe de la lumière blanche pendant le jour, l'emmagasine et la restitue la nuit.

### 1.4. COULEUR DES CORPS

<b>par transmission</b>	Un corps (par ex. une solution liquide) observé par transparence a la couleur qui résulte de la superposition des radiations qui ne sont pas absorbées par ce corps
<b>par réflexion</b>	Le corps a alors la couleur des radiations réfléchies. Par exemple, l'herbe est verte parce qu'elle absorbe toutes les radiations de la lumière visible sauf le vert qu'elle réfléchit.
<b>par diffusion</b>	Quand une molécule de gaz reçoit un rayonnement, elle le réémet dans toutes les directions. L'azote et l'oxygène de l'air diffusent surtout les radiations bleues, c'est pourquoi le ciel est bleu et les spatonautes voient la terre bleue.

### Synthèse des couleurs

Toutes les nuances de couleur auxquelles l'œil est sensible peuvent être obtenues par superposition de trois couleurs de base . Chacune de ces couleurs de base résulte elle-même de la superposition d'un mélange complexe de plusieurs radiations. L'œil humain possède trois types de récepteurs sensibles aux trois couleurs de base ( les daltoniens n'en possèdent que deux ) et décompose les couleurs qui sont ensuite recomposées par le cerveau. La télévision couleur résulte de la composition de trois couleurs : **rouge, vert et bleu** ( R, V, B ou R.G.B. : Red, Green, Blue). La quadrichromie en imprimerie est une impression en **rouge magenta, jaune, bleu cyan et noir**.

### 1.5. COULEURS DES SOURCES ET TEMPERATURE DE COULEUR

On appelle **corps noirs** tous les corps qui absorbent intégralement toutes les radiations reçues. On démontre que l'émission de lumière par incandescence est, à surface égale, la même pour tous ces corps noirs, et supérieure à celle de tous les corps non noirs

La composition de la lumière émise par une source quelconque peut être comparée à celle émise par un corps noir porté à incandescence :

- **600 à 700 °C ( début de l'incandescence ) : lumière rouge sombre**
- **1 000 à 2 000 °C : dominante orangée**
- **2 000 à 4 000 °C : de plus en plus de vert puis de bleu, couleur très blanche**
- **5 000 à 6 000 °C : dominante vers le bleu et le violet**

Or on dit d'un bleu qu'il est froid, d'un rouge qu'il est chaud.

**Définition** : Lorsqu'une lumière a même composition colorimétrique ( ou spectrale), c'est à dire qu'elle est constituée du même ensemble de radiations, que la lumière émise par un «**corps noir incandescent**» qui est à la température **T en Kelvin ( K )**, cette température **T** est appelée **température de couleur** de la source qui émet la lumière en question.

La température de couleur d'une lumière est donc en Kelvin (K) la température du corps noir incandescent qui émettrait une lumière de même composition colorimétrique. Elle caractérise la couleur apparente de la lumière émise.

2 800 K <-----> 3 000 K <-----> 4 200 K <-----> 6 500 K  
 "blanc chaud"                      "blanc"                      " blanc froid"

<p><u>Température de couleur de quelques sources de lumière :</u></p> <p><b>1 000 K : bougie, lampe à huile</b></p> <p><b>2 000 K : lampe à incandescence ordinaire jusqu'à 1 000 W</b></p> <p><b>2 800 K : lampe à halogène</b></p> <p><b>3 000 K : lampe fluorescente blanche ambiance "chaude", lampe de studio</b></p> <p><b>4 000 K : lampe fluorescente blanche ambiance "intermédiaire", lampe flash</b></p> <p><b>5 000 K : lumière du jour moyenne, lampe fluorescente blanche ambiance "froide", flash électronique, lampe flash bleue</b></p> <p><b>6 000 K : soleil brillant avec ciel bleu, certaines lampes fluorescentes</b></p> <p><b>8 000 K : ciel brumeux</b></p>
--

### 1.6. RENDU DES COULEURS

L'aspect d'une surface colorée dépend de la composition spectrale de la lumière qu'elle reçoit. La couleur d'une surface ne correspond jamais à une radiation unique mais à un ensemble de radiation différentes. L'étude du rendu des couleur est importante pour définir un plan d'éclairage : l'ambiance colorée est un facteur psychologique et esthétique mais aussi objectif ( fonctionnalité, efficacité, sécurité, rendement ... ) important d'un bon éclairage.

**L'indice de Rendu des Couleurs (IRC)** caractérise l'aptitude d'une source à ne pas déformer l'aspect coloré des surfaces et des objets qu'elle éclaire. Cet indice est une norme établie par la commission internationale de l'éclairage (notée Ra ou IRC). Il permet d'apprécier la distorsion de l'aspect coloré des objets éclairés par la source considérée, par comparaison avec une source de référence (en général une lampe à incandescence) de même température de couleur, donc de même couleur apparente. L'IRC caractérise donc la couleur donnée aux objets éclairés.

<b>IRC = 100</b>	<b>différence d'aspect nulle</b>
<b>90 &lt; IRC</b>	<b>excellent rendu des couleurs</b>
<b>80 &lt; IRC &lt; 90</b>	<b>bon</b>
<b>70 &lt; IRC &lt; 80</b>	<b>acceptable</b>
<b>60 &lt; IRC &lt; 70</b>	<b>médiocre</b>
<b>40 &lt; IRC &lt; 60</b>	<b>mauvais</b>
<b>IRC &lt; 40</b>	<b>indice sans signification précise</b>

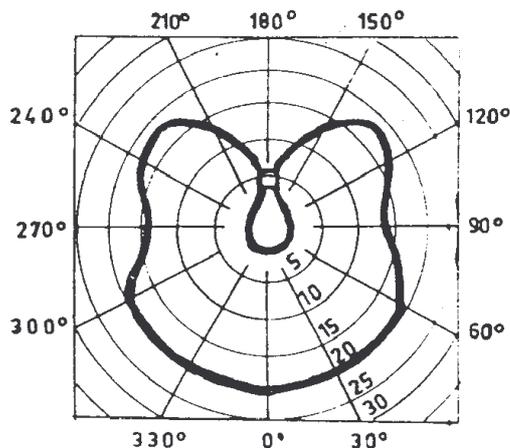
## 2. GRANDEURS PHOTOMETRIQUES

### 2.1. FLUX LUMINEUX

Le flux lumineux  $\Phi$  exprimé en LUMENS (lm), est, par définition, la quantité totale d'énergie lumineuse qu'émet, dans toutes les directions, par unité de temps, une source de lumière. C'est donc la puissance lumineuse de cette source.

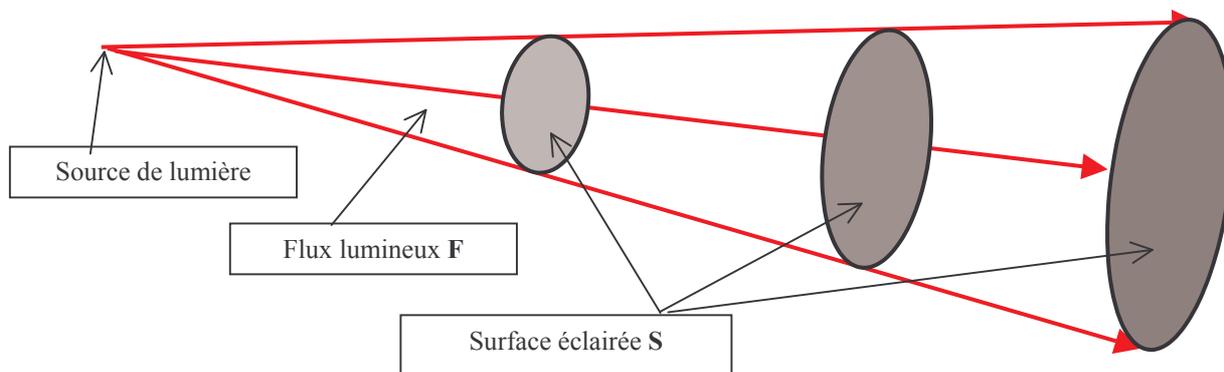
### 2.2. INTENSITE LUMINEUSE

Selon l'angle d'observation d'une source, sa lumière apparaît plus ou moins éclatante. L'*intensité lumineuse* d'une source est l'énergie lumineuse ( ou quantité de lumière ) émise par unité de temps dans une direction donnée : c'est donc la puissance lumineuse d'un rayon lumineux. Elle s'exprime en **candela ( cd )**. Elle ne donne pas d'indication sur le pouvoir éclairant total d'une source. Par exemple, l'intensité lumineuse d'une lampe à incandescence de 100 W observée dans l'axe à l'opposé du culot est d'environ 150 candélas. En portant sur un diagramme polaire, les intensités lumineuses mesurées dans toutes les directions autour d'une source lumineuse dans un plan contenant l'axe de symétrie de la source, on obtient sa *courbe photométrique* ( ci-contre l'exemple d'une lampe à incandescence de 15 W )



### 2.3. ECLAIREMENT

L'éclairage est l'énergie lumineuse reçue par unité de temps ou la puissance lumineuse reçue par une surface éclairée par une source lumineuse. Il s'exprime en LUX (lx). Il est mesuré par un LUXMETRE.



Le flux lumineux  $\Phi$  exprimé en LUMENS (lm), reçu par une surface, est donc, par définition, le produit de l'aire  $S$  (en  $m^2$ ) de cette surface par son éclairement  $E$  (en lux) :

$$\Phi = E S$$

$\Phi$  en lm,  $E$  en lx,  $S$  en  $m^2$

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

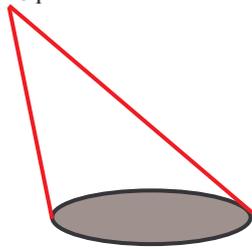
1 lumen : flux lumineux reçu par une surface de  $1 m^2$  dont l'éclairement est partout de 1 lux.

1 lux : éclairement d'une surface qui reçoit 1 lumen de flux lumineux uniformément réparti par  $m^2$ .

**Définition :** On dit que deux surfaces ont le même éclairement si des écrans diffusants blancs les recouvrant ont le même aspect dans des conditions identiques d'observation.

Les éclairements produits par deux sources différentes sur une même surface s'ajoutent

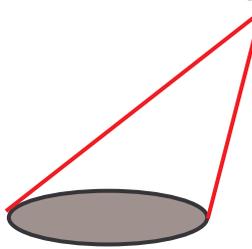
Sources de lumière :  $O_1$



Eclairements :

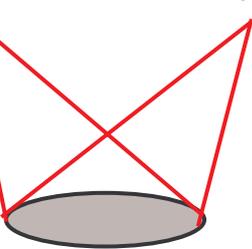
$E_1$

$O_2$



$E_2$

$O_1$



$E = E_1 + E_2$

L'éclairement en un point précis d'une surface dépend de l'intensité lumineuse  $I$  (en cd) de la source dans la direction du point considéré, de la distance ( $d$  en m) entre le point et la source, et de l'angle  $\alpha$  que fait la surface avec le plan perpendiculaire au rayon lumineux ( $\alpha$  est aussi l'angle formé par la normale à la surface et le rayon lumineux) :

$$E = \frac{I}{d^2} \times \cos \alpha$$

<p>⇒ Si la surface est perpendiculaire aux rayons, l'éclairement est maximal (<math>\cos \alpha = 1</math>)</p>	<p>⇒ Si la surface est parallèle aux rayons, l'éclairement est nul (<math>\cos \alpha = 0</math>)</p>
<p>Source de lumière</p> <p>Surface éclairée</p> <p><math>\alpha = 0</math></p>	<p>Source de lumière</p> <p>Surface</p> <p><math>\alpha = 90^\circ</math></p>
<p>Donc : <math>E = \frac{I}{d^2}</math></p>	<p>Donc : <math>E = 0</math></p>

Soit  $E_0$  l'éclairement d'une surface perpendiculaire aux rayons lumineux située à **1 m** de distance de la source:

$$E_0 = \frac{I}{1^2} = I \Leftrightarrow I = E_0$$

L'éclairement  $E_d$  d'une surface perpendiculaire aux rayons lumineux située à une distance  $d$  en m de la source est donc:

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{E_0}{d^2}$$

**Application :**

Une lampe produit un éclairement de 300 lux à 1 m de distance (suffisant pour lire).

A 2 m de distance la même lampe donnera donc un éclairement :  $E = 300 / 2^2 = 300 / 4 = 75$  lux (très insuffisant pour lire)

<u>Eclairement produit par :</u>	- le plein soleil	80 000 à 100 000 lx
	- un éclairage naturel extérieur à l'ombre	10 000 à 20 000 lx
	- un éclairage naturel à l'intérieur	quelques centaines de lx
	- un éclairage artificiel intérieur	quelques centaines de lx
	- un éclairage artificiel extérieur	quelques dizaines de lx
	- la pleine lune	0,2 lx
	- un ciel nocturne	0,000 3 lx

## 2.4. LUMINANCE

Les sources lumineuses sont rarement ponctuelles. Elles sont, le plus souvent, réparties sur des surfaces éclairantes. On définit alors la luminance L, exprimée en candélas par m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>), ou NITS.

Si S' est la surface apparente en m<sup>2</sup> d'une source d'intensité lumineuse I (en cd) :

$$L = \frac{I}{S'}$$

<u>exemples :</u>	- soleil vu de la terre	1,6 x 10 <sup>9</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- arc électrique	1,6 x 10 <sup>8</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- filament d'une lampe à incandescence	5 à 10 x 10 <sup>6</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- papier blanc en plein soleil	3 x 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- lampe à vapeur de sodium	1,5 x 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- flammes éclairantes	1 à 2 x 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- tube fluorescent	4 à 7 x 10 <sup>3</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- pleine lune par temps clair	2,5 x 10 <sup>3</sup> cd/m <sup>2</sup>
	- luminance maximale tolérée dans les écoles	2 x 10 <sup>3</sup> cd/m <sup>2</sup>

Pour éviter l'éblouissement la luminance doit être inférieure à environ 10<sup>6</sup> cd/m<sup>2</sup>.

La gêne peut commencer à 5 000 cd/m<sup>2</sup>.

## 2.5. EFFICACITE LUMINEUSE D'UNE SOURCE DE LUMIERE

L'efficacité lumineuse d'une source est la valeur du flux lumineux (ou puissance lumineuse) produit quand cette source absorbe une puissance électrique de 1 Watt. L'efficacité lumineuse correspond donc en fait au rendement de la source

de lumière et va s'exprimer en LUMENS/WATT.

$$r = \frac{\Phi}{P_a}$$

## 3. LES SOURCES DE LUMIERE

### 3.1. ECLAIRAGE NATUREL

Eclairement fourni par la lumière solaire :

- au soleil, en été, à midi	100 000 lux
- à l'ombre	de 5 000 à 10 000 lux
- la nuit, par pleine lune	0,2 lux

Conditions d'un bon éclairage solaire : Si son intensité est variable, suivant le temps, l'heure, la saison, il reste cependant le mode d'éclairage idéal, mais à condition d'être :

- **UNIFORME** : l'utilisation de revêtements clairs, de plafonds blancs, de vitres dépolies permettent une bonne répartition de la lumière.
- **SUFFISANT** : la surface des baies et des fenêtres d'un local doit représenter environ 1/8 de sa surface au sol.
- **BIEN ORIENTE** : par exemple, venant de la gauche pour un droitier au travail.

### 3.2. LAMPES A INCANDESCENCE

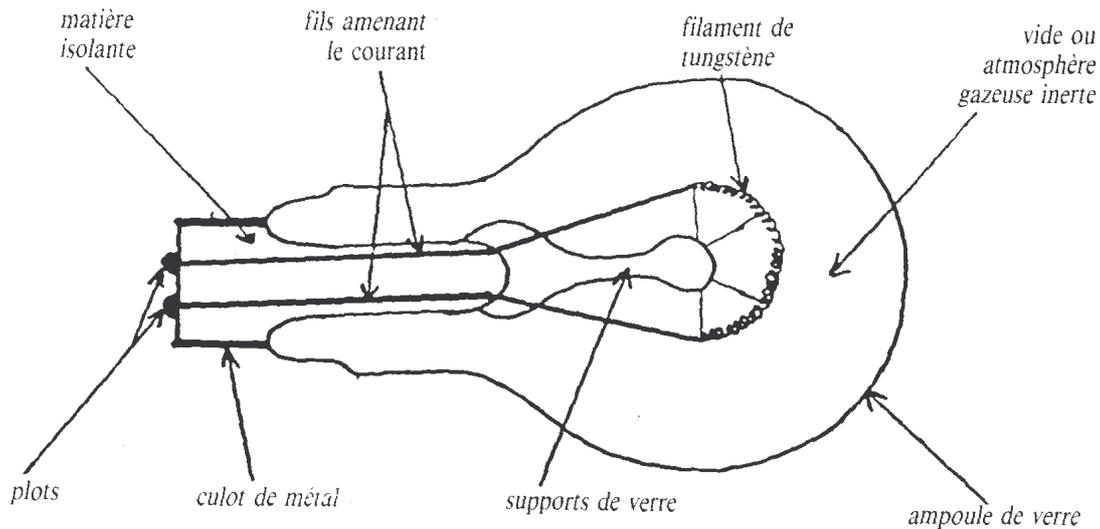
#### 3.2.1. Principe

Le passage d'un courant électrique porte, par effet Joule, un filament à incandescence.

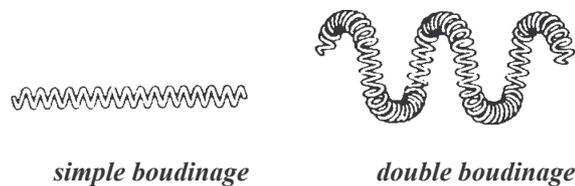
A l'origine, le filament était un simple filament de carbone, sous vide pour éviter sa combustion. Mais le vide favorise l'évaporation du carbone qui se dépose sur le verre (paroi froide) et l'obscurcit. L'utilisation d'un filament de tungstène (point de fusion à 3 655 °C sous pression normale) permet de ralentir ce phénomène. Porté à incandescence il émet de la lumière visible :

- ◆ à 550 °C, il est rouge sombre,
- ◆ à 1 000 °C, il est blanc,
- ◆ à 2 500 °C, il est blanc éblouissant.

Une atmosphère gazeuse inerte (KRYPTON, ARGON ou AZOTE) limite la volatilisation du tungstène et permet au filament d'atteindre une température plus élevée.



Pour atteindre des température de filament plus élevée et produire un flux lumineux accru sans accroître la consommation d'énergie, le filament est enroulé en spirale simple ou double : le refroidissement du filament par convection est alors fortement diminué, le gaz circulant difficilement entre les spires.



La paroi intérieure des ampoules "dépolies" a été rendue translucide par attaque à l'acide. Celle des lampes "satinées", "opalisées" ou "silicées" est recouverte d'une pellicule de SILICE (SiO<sub>2</sub>, oxyde de silicium). Cela permet de supprimer l'éblouissement dû au filament et de diffuser ainsi une lumière abondante, mais plus douce et plus confortable pour les yeux.

Le culot des lampes est soit à baïonnette (B22, B15), soit à vis "Edison" (E40, E27, E14). L'emploi des lampes à vis est obligatoire si  $U > 200\text{ V}$  et  $I > 1\text{ A}$  (donc pour une lampe de puissance supérieure à 200 W) car leur fixation est plus rigide. La douille ne doit jamais être sous tension quand la lampe est éteinte : l'interrupteur doit donc toujours couper le fil de phase.

### 3.2.2. Caractéristiques

- ◆ **Puissance** (il s'agit toujours de la puissance électrique absorbée) : gamme très étendue de 15 W à 2 000 W.
- ◆ **Efficacité lumineuse** : en moyenne 10 à 15 lumen par Watt (de 8 à 10 lm/W, sous vide et de 10 à 20 lm/W, sous gaz inerte). L'efficacité lumineuse des lampes au krypton, à l'argon ou à l'azote est meilleure. Le rendu des couleurs est amélioré.
- ◆ **Durée de vie** : 1 000 heures de fonctionnement au maximum. Au-delà, la lampe noircit et perd de son efficacité lumineuse. La lampe "meurt" de la rupture de son filament aminci par la volatilisation progressive du tungstène chauffé à plus de 2 000 °C. Une surtension de 5 % diminue la durée de vie d'environ 50 %. La résistance du filament augmente avec la température, c'est donc à froid qu'il subit des surintensités. Des extinctions et allumages répétés nuisent à la durée de vie de la lampe.
- ◆ **Luminance du filament** : 6 000 000 cd/m<sup>2</sup> (ou nits).

**Tableau de substitutions entre lampes à incandescence**

On trouvera dans le tableau d'équivalences ci-contre les substitutions possibles entre lampes d'usage courant, pour obtenir la même quantité de lumière, à moins de 10 % près :

	25 W	40 W	60 W	75 W	100 W
1 lampe de 40 W peut remplacer.....	2				
1 lampe de 60 W peut remplacer.....	3				
1 lampe de 75 W peut remplacer.....	4	2			
1 lampe de 100 W peut remplacer.....	6	3	2		
1 lampe de 150 W peut remplacer.....	10	5	3	2	
1 lampe de 200 W peut remplacer.....	13	6	4	3	2

On voit, par exemple, qu'on obtiendra la même quantité de lumière avec une seule lampe de 150 W qu'en utilisant 3 lampes de 60 W ou 1 lampe de 75 W et 2 de 40 W (puisque 2 lampes de 40 W remplacent une lampe de 75 W).

(Dx AFC)

Pour une même puissance électrique absorbée, quelques lampes puissantes sont toujours préférables à de nombreuses lampes faibles. Par exemple, 1 lampe de 100 W fournit 1 480 lumens, 4 lampes de 25 W fournissent 960 lumens.

**Lampes standard 220/230 volts**

Puissance en Watts	Flux lumineux en lumens
15 W	120 lm environ
25 W	205 lm à 225 lm
40 W	325 lm à 430 lm
60 W	580 lm à 740 lm
75 W	785 lm à 970 lm
100 W	1 160 lm à 1 390 lm
150 W	1 980 lm à 2 200 lm
200 W	2 740 lm à 3 000 lm
300 W	5 000 lm environ
500 W	8 700 lm environ
1 000 W	18 700 lm environ
1 500 W	27 700 lm environ

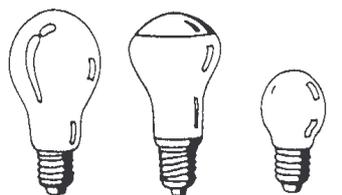
◆ Avantages des lampes à incandescences :

- branchement direct sur l'installation électrique.
- encombrement réduit.
- allumage instantané.
- faible coût d'achat.

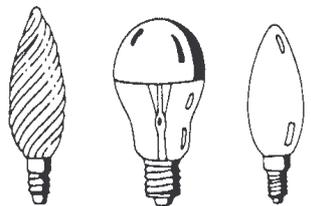
◆ Inconvénients :

- elles chauffent, importantes pertes d'énergie, environ 95 % de l'énergie électrique absorbée est dissipée sous forme de chaleur pour seulement 5 % de lumière.
- inconfort dû à la dissipation de chaleur.
- exploitation onéreuse (par rapport aux autres types).
- efficacité lumineuse médiocre.
- un survoltage diminue considérablement la durée de vie.

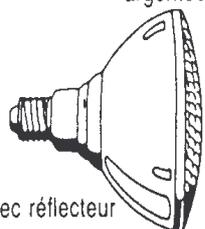
*Lampes à incandescence classique*



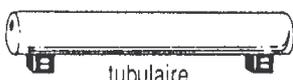
standard champignon sphérique



torsadé calotte argentée flamme



avec réflecteur



tubulaire

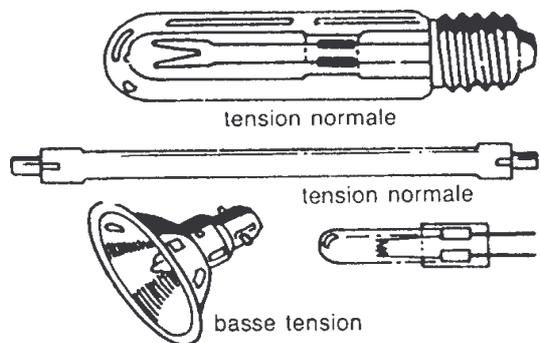
DUREE DE VIE :  
1 000 heures environ

EFFICACITE LUMINEUSE :  
12 Lm/W en moyenne

AMBIANCE :  
elles produisent  
une ambiance chaude :  
lumière "jaune-orange"

TENSION :  
220 V-230 V

*Lampes à incandescence à halogène*



DUREE DE VIE :  
2 000 heures environ  
EFFICACITE LUMINEUSE :  
20 Lm/W en moyenne

AMBIANCE :  
elles produisent une lumière  
plus blanche que les lampes  
classiques

TENSION :  
220 V ou très basse tension  
(6, 12 ou 24 volts)

### 3.2.3. Résistance du filament d'une lampe à incandescence

La résistance en ohms ( $\Omega$ ) d'un conducteur de longueur  $l$  en m, de section  $S$  en  $m^2$  et de résistivité  $\rho$  ( caractéristique du matériau ) en ohm-mètres ( $\Omega.m$ ) est :

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

En fait la résistivité d'un matériau n'est pas constante mais varie plus ou moins avec la température, selon le matériau. La résistance d'un conducteur dépend donc de la température à laquelle il est utilisé : si  $\theta \nearrow$   $\rho \nearrow$  et donc  $R \nearrow$

**Conséquences** : Le filament d'une lampe à incandescence en tungstène présente une résistance dix fois plus faible à la température ambiante quand la lampe est éteinte, qu'à 2 500 °C quand la lampe est allumée. A l'allumage de la lampe, au moment de la mise sous tension, le courant qui traverse le filament est donc 10 fois plus élevé qu'en régime normal. Heureusement l'élévation de température du filament est quasi-immédiate et cette surintensité est de courte durée. C'est pourquoi la fréquence d'utilisation (allumages répétés) nuit à la durée de vie de la lampe bien plus que la durée d'utilisation.

### 3.2.4. Lampes à halogène

Le filament de tungstène est sous pression de vapeur d'halogène : *iode* le plus souvent.

Dans une lampe à iode, le filament se reconstitue en cours de fonctionnement. La vapeur d'iode présente dans l'ampoule en quantité dosée avec précision capte le tungstène volatilisé par le phénomène d'incandescence pour former de l'iodure de tungstène ( $WI_2$ ), lequel au contact du filament se décompose en déposant le tungstène sur le filament qui ainsi se renforce au fur et à mesure qu'il se dégrade. Ces lampes ont donc une durée de vie accrue et permettent d'atteindre des températures de filament plus élevées.

- ◆ Plus petites que les lampes à incandescence classiques, elles sont plus fragiles et plus coûteuse mais :
  - leur durée de vie est double ( 2 000 h.)
  - leur efficacité lumineuse est double (20 à 30 lm/W).
  - le flux lumineux est régulier durant toute la durée de vie de la lampe car elle ne noircit pas.
  - le rendu des couleurs est très bon (surtout dans les pourpres et les bleus).
  - de petite taille, elles sont faciles à loger.
- ◆ Les puissances disponibles vont de 5 W à 2 000 W.
  - ⇒ les lampes de faible puissance sont alimentées en basse tension par un transformateur :
    - de 5 à 35 Watts sous 6 Volts.
    - de 20 à 250 Watts sous 12 ou 24 Volts.
  - ⇒ les autres, de 150 à 2 000 Watts sont sous 220 Volts.

Leur enveloppe, soumise à des températures élevées (de l'ordre de 600 °C), n'est pas en verre mais le plus souvent en quartz. Ce quartz ne doit jamais être souillé, ni touché avec les doigts qui laisseraient des traces grasses provoquant à chaud une vitrification du quartz et le claquage de l'ampoule. Certaines sont opalisées ou à double enveloppe, d'autres équipées d'un verre de protection qui arrêtent les ultraviolets néfastes aux tableaux, peintures, tissus..

Les lampes à incandescence à halogène émettent beaucoup de chaleur : environ 93 % de l'énergie électrique absorbée est dissipée sous forme de chaleur pour seulement 7 % de lumière

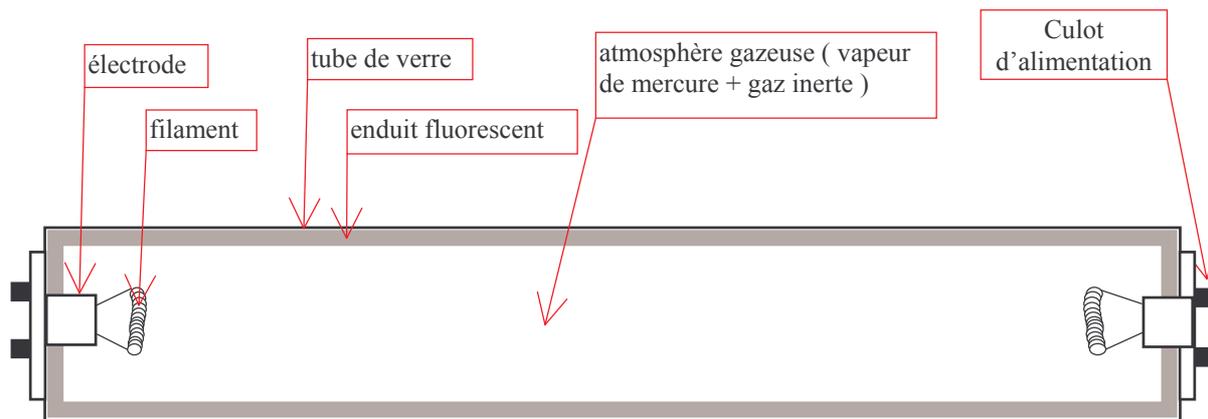
## 3.3. TUBES FLUORESCENTS

### 3.3.1. Principe de fonctionnement

Ils sont souvent appelés à tort "*tubes néon*". Le tube est enduit intérieurement d'une poudre fluorescente (par ex: silicate de zinc, de manganèse ou de baryum, tungstate de calcium, de magnésium ou de cadmium...) qui absorbe les radiations courtes (UV) et les réémet sur une longueur d'onde plus élevée (visible) dont la valeur, et donc la couleur, dépend de la nature du produit utilisé.

Les filaments des électrodes lorsqu'ils sont chauffés par un courant de préchauffage émettent des électrons (effet thermo-électronique) et un arc électrique s'amorce entre les deux électrodes (c'est ensuite, en cours de fonctionnement,

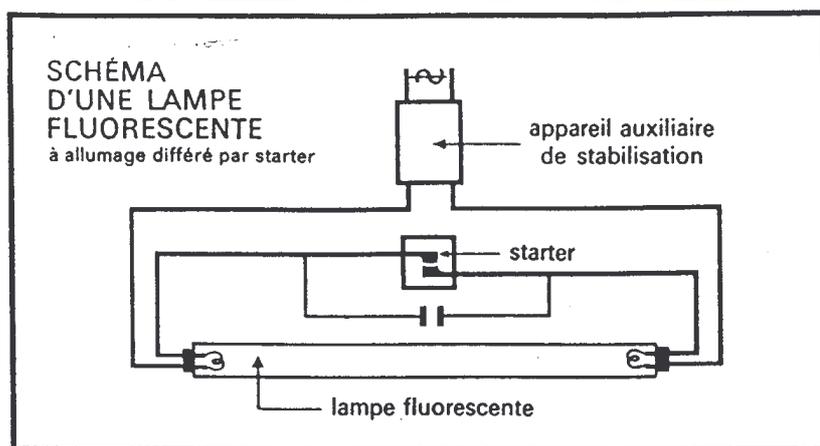
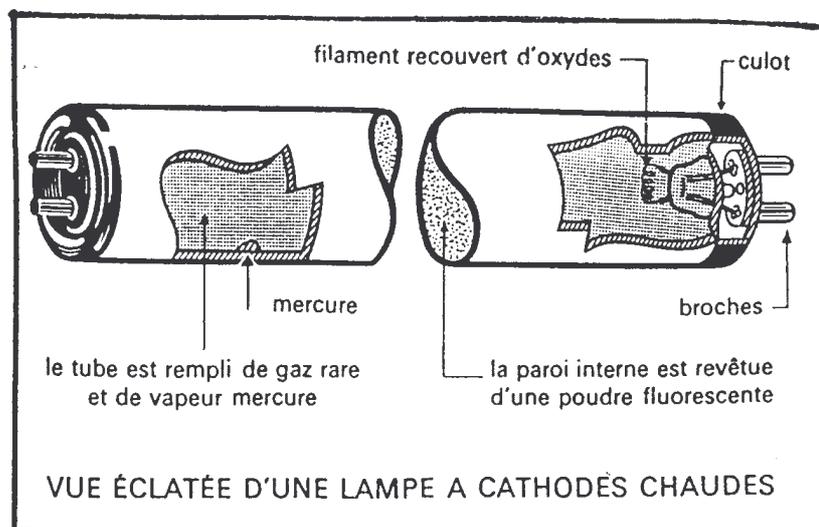
l'arc électrique, lui-même qui assure le chauffage des filaments). Cette décharge électrique entre les électrodes à travers les vapeurs de mercure provoque l'émission d'ultra-violet qui sont arrêtés par le verre mais absorbés par l'enduit fluorescent qui émet alors de la lumière visible.



**Constitution et fonctionnement des lampes fluorescentes**

Ces sources sont constituées par un tube de verre muni à chaque extrémité d'une électrode et à l'intérieur duquel existe une faible pression de vapeur de mercure. La paroi interne du tube est recouverte de substances fluorescentes. La lumière est produite par le double mécanisme ci-après : une décharge électrique dans la vapeur de mercure produit un rayonnement très riche en ultraviolet ; cet ultraviolet est transformé en radiations visibles par le revêtement fluorescent qui tapisse intérieurement la lampe. Suivant la nature de ce revêtement, il est possible d'obtenir toutes les teintes désirées. Il est indispensable de stabiliser la décharge électrique en interposant sur le circuit d'alimentation un appareillage auxiliaire : inductance ou autotransformateur à fuite dans le cas du courant alternatif. L'utilisation de lampes fluorescentes sur du courant continu n'est pas conseillée, en dehors d'applications spéciales pour lesquelles il y a lieu de se documenter auprès du constructeur. Pour obtenir l'amorçage de la décharge sous la tension usuelle de distribution, les électrodes sont, en général, préchauffées avant application de la tension. Ce préchauffage est réglé par un petit organe accessoire appelé « starter ». L'allumage n'est pas instantané, mais ne demande généralement qu'une ou deux secondes. Il existe par ailleurs certains montages, ou certains types de lampes qui permettent l'allumage instantané des lampes.

Doc AFE



**Effet stroboscopique :** En courant alternatif 50 Hz , une lampe à décharge électrique s'allume et s'éteint 100 fois par seconde. Malgré la rémanence de l'image rétinienne et la rémanence des poudres fluorescentes employées, l'observation d'un objet en mouvement est perturbée. En particulier, un objet en rotation peut paraître à l'arrêt ou tourner moins vite qu'en réalité (très dangereux). Pour réduire les effets stroboscopiques, les tubes fluorescents sont associés par paire en « montage duo » dans le même luminaire : leurs phases sont décalée par un condensateur en série avec l'un des tube afin que leurs extinctions ne se produisent pas en même temps.

### 3.3.2. Stabilisation

Le **BALLAST** est un appareillage auxiliaire qui alimente et stabilise la décharge électrique. Il s'agit d'une bobine de self-induction (ou self) qui limite l'intensité à une valeur définie mais subit un échauffement et provoque un déphasage entre intensité et tension (facteur de puissance  $k$  ou  $\cos \varphi$  de l'ordre de 0,5). Une bonne stabilisation de la lampe entraîne un  $\cos \varphi < 0,6$  or un bon usage du réseau électrique demande un  $\cos \varphi > 0,85$ .

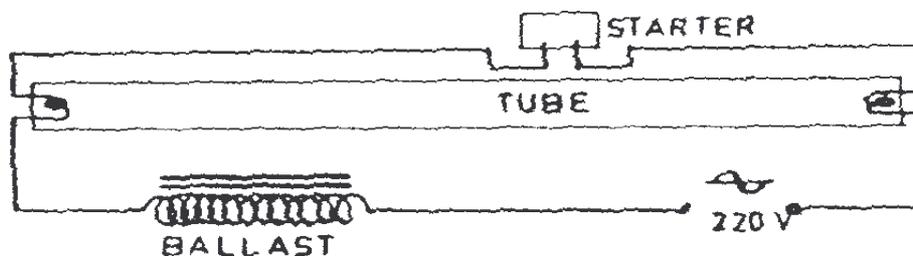
Le relèvement du facteur de puissance à une valeur proche de 1 s'effectue soit à l'aide d'un condensateur en parallèle sur l'ensemble lampe/ballast dans le cas d'un montage mono, soit avec un ensemble self + condensateur en série dans un dispositif duo (2 lampes fluorescentes dans le même luminaire) qui permet de plus de réduire les effets stroboscopiques.

### 3.3.3. Amorçage

#### Par préchauffage des électrodes

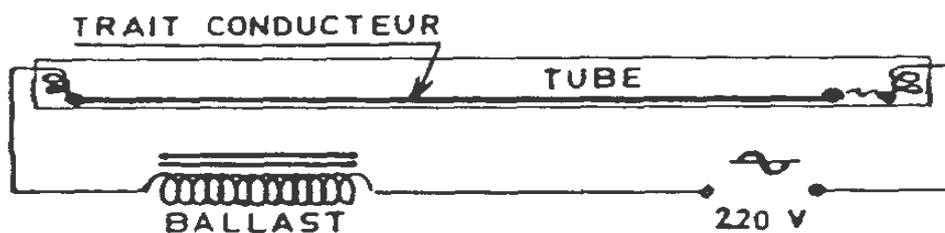
Le **starter** est un interrupteur automatique qui se ferme à la mise sous tension et assure le préchauffage des électrodes pendant la phase d'amorçage de la lampe. Il s'agit le plus souvent d'un starter à gaz (ou à "lueur") : une ampoule contient un gaz inerte et deux électrodes bien plus rapprochées que celles de la lampe, une décharge électrique s'y amorce donc beaucoup plus facilement que dans la lampe

Les deux électrodes de la lampe se comportent alors comme deux résistances en série qui chauffent par effet Joule. Au bout d'1 à 2 secondes, le starter, revient à son état initial ouvert et la tension est alors appliquée entre les deux électrodes de la lampe. Si l'arc électrique dans la lampe est amorcé, le courant traverse la lampe d'une électrode à l'autre. Sinon, dans le cas d'un tube trop froid ou usagé, le starter se ferme de nouveau et cette phase d'amorçage se renouvelle. Quand le starter s'y reprend à plusieurs fois avant d'amorcer la lampe, cela se manifeste par un clignotement désagréable.



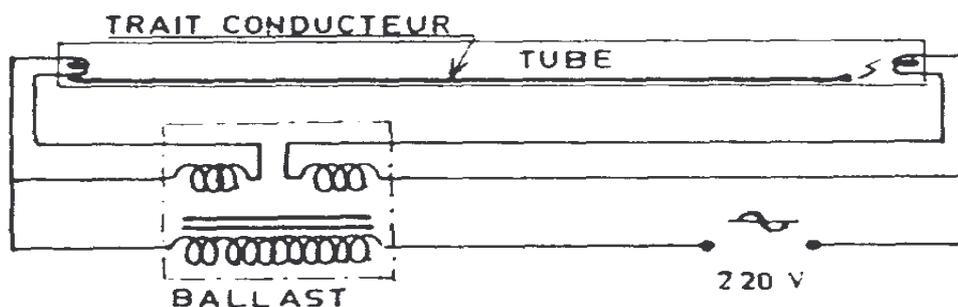
#### Par trait conducteur

Les **tubes instantanés** ou "*autostart*" n'ont pas besoin de starter : une bande conductrice de forte résistance est déposée sur le verre. Ce trait est relié à une des électrodes et s'arrête à proximité de l'autre, permettant à l'arc électrique de s'amorcer facilement. Le rendement est abaissé en raison du courant qui passe par la bande conductrice et, l'amorçage se faisant sur des électrodes froides, la durée de vie de celles-ci diminue.



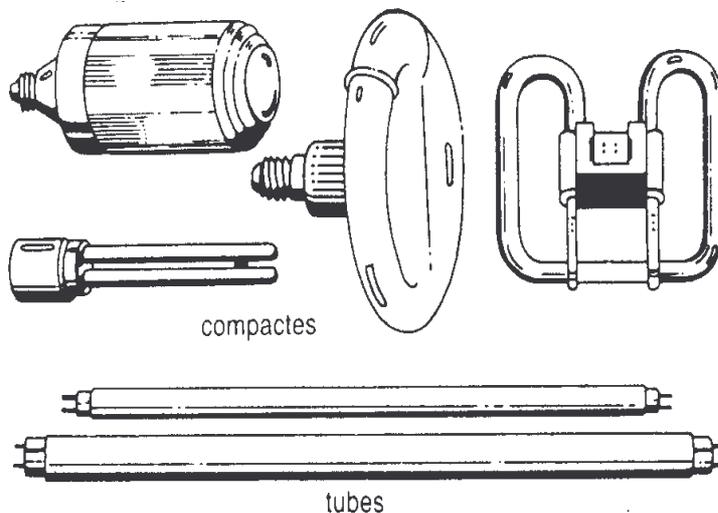
#### « Rapid Start »

Le tube est sans starter et avec une bande conductrice, mais bénéficie d'un préchauffage des électrodes assuré par des enroulements spéciaux prévus dans le ballast. L'allumage est instantané et la durée de vie du tube demeure acceptable.



### 3.3.4. Caractéristiques

- ◆ **Puissance** : de quelques Watts à 125 W, selon la longueur.  
Par ex : (0,60 m; 18 W) (1,20 m; 36 W) (1,50 m; 58 W) (2,40 m; 110 W)
- ◆ **Efficacité lumineuse** : de 40 à 60 lm/W (jusqu'à 95 lm/W), au moins 3 à 4 fois plus qu'une lampe à incandescence
- ◆ **Durée de vie** : en moyenne 4 000 h (4 fois plus qu'une lampe à incandescence), en fait de 2 500 à 7 500 h en fonction de la fréquence des allumages car ce sont les allumages répétés qui usent ces lampes.
- ◆ **Luminance** : environ 6 000 cd/m<sup>2</sup>, ce qui est 1000 fois moins éblouissant que le filament d'une lampe à incandescence, en raison de la très grande surface d'émission.
- ◆ **Avantages**:
  - La grande surface d'émission assure de plus une bonne diffusion, des ombres atténuées et un éclairage uniforme.
  - L'échauffement est très faible.
  - L'installation et l'achat sont plus coûteux que ceux des lampes à incandescence, mais le fonctionnement est bien plus économique (meilleur rendement, remplacement moins fréquent).
- ◆ **Classification** :
  - Les tubes blancs les plus répandus sont à haute efficacité mais à très mauvais rendu des couleurs.
  - Il existe des tubes blanc dit "de luxe", "confort", "soleil", etc..., qui offrent un bon rendu des couleurs, soit en nuances chaudes (rayonnement rouge-orangé), soit en nuances froides (rayonnement bleu-vert).



**DUREE DE VIE :**

5 000 heures environ

**EFFICACITE LUMINEUSE :**

40 à 80 Lm/W en moyenne

**AMBIANCE :**

elle varie d'une ambiance chaude à une ambiance froide.

**TENSION :**

220 V-230 V

### 3.3.5. Lampes fluocompactes

Ces lampes apparues récemment sont de petits tubes fluorescents compacts et à culot, donc interchangeables avec des lampes à incandescence (moyennant éventuellement un adaptateur). Le dispositif électronique d'amorçage et de stabilisation de la décharge électrique dans la lampe est incorporé soit au culot, soit à l'adaptateur sur la douille.

- ◆ durée de vie d'environ 6 000 à 8 000 h. soit de 5 à 8 fois supérieure à celle des lampes à incandescence.
- ◆ pour des dimensions comparables à celles des lampes à incandescence, une efficacité lumineuse bien supérieure (de l'ordre de 60 lm/W) permet de substantielles économies d'énergie (jusqu'à 80 %, ainsi par exemple une fluocompacte de 15 W éclaire autant qu'une lampe à incandescence de 75 W).
- ◆ coût d'achat de ces lampes encore très élevé.
- ◆ puissances les plus courantes : de 5 à 25 Watts.

## 3.4. LAMPES A DECHARGE.

Dans ces lampes, une décharge électrique déclenchée et entretenue dans un gaz provoque une émission de lumière visible. Elles sont à vapeur de sodium haute ou basse pression, à vapeur de mercure haute pression, à hydrogène ou au xénon. Elles ont une puissance et une efficacité (55 à 190 lm/W) importante et une durée de vie élevée (de 5 000 à 10 000 heures). Si pour la plupart elles favorisent l'acuité visuelle, c'est à dire la précision de la vision, elles dénaturent fortement les couleurs et leur utilisation est réservée à l'éclairage extérieur (parking, voies de circulation, éclairage urbain et autoroutier, tunnels, installations sportives...) ou à des applications très spécifiques (laboratoire, spectacles, prise de vue, photo ...).

## Document : Tableau comparatif des sources de lumière

Procédé utilisé	INCANDESCENCE		FLUORESCENCE	
<b>Principe</b>	un filament de tungstène (W) est porté à incandescence par effet Joule en absence d'O <sub>2</sub>		Une poudre fluorescente absorbe les UV et les réémet sous forme de lumière visible. Les UV sont émis par des vapeurs de mercure traversées par un arc électrique établi entre des électrodes.	
<b>Type</b>	<b>Lampes classiques</b>	<b>Lampes halogène</b>	<b>Tubes fluorescents</b>	<b>Lampes fluocompactes</b>
<b>Fonctionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ampoule de verre clair ou opaque ( dépoli ou silicé )</li> <li>• sous vide ou sous gaz inerte (Argon, Krypton, Néon)</li> </ul> ⇒ Usure par évaporation du tungstène du filament	Le tungstène évaporé est capté par l'halogène ( W + I <sub>2</sub> → WI <sub>2</sub> par ex. ) puis redéposé sur le filament ( WI <sub>2</sub> → W + I <sub>2</sub> ) : ⇒ il peut être porté à une température plus haute et émettre plus de flux lumineux ⇒ sa durée de vie est prolongée	L'arc électrique doit être amorcé (rôle du Starter ou du trait conducteur des tubes autostart) puis entretenu entre les électrodes (rôle du Ballast).  Cf . Schéma de fonctionnement.	De petite dimension et à culot, elles peuvent remplacer les lampes à incandescence.
<b>Puissance absorbée</b>	15 W à 200 W (gamme courante)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en 220 V : 150 à 2 000 W</li> <li>• en basse tension : 5 à 35 W sous 6 V par exemple</li> </ul>	de quelques W à une centaine de W selon la longueur du tube	5 à 25 W
<b>Efficacité lumineuse</b>	10 à 15 lm/W <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 à 10 sous vide</li> <li>• 10 à 20 sous gaz inerte</li> </ul>	20 à 30 lm/W (jusqu'à 70 lm/W)	40 à 60 lm/W (jusqu'à 95 lm/W)	50 à 90 lm/W
<b>Durée de vie</b>	1 000 h au delà noircissement et perte d'efficacité lumineuse	2 000 h	4 000 h (jusqu'à 8 000 h en fonction de la fréquence d'allumage)	6 000 h à 9 000 h
<b>Luminance</b>	6 000 000 cd/m <sup>2</sup> ( lampe claire ) 20 000 cd/m <sup>2</sup> ( lampe opale )	très élevée	6 000 cd/m <sup>2</sup>	idem
<b>Température de couleur</b>	2 600 K	2 900 à 3 000 K	2 500 à 6 500 K	2 500 à 5 400 K
<b>Indice de Rendu des Couleurs ( IRC )</b>	100 excellent	75 à 90 très bon dans les teintes froides ( violets, bleus ), bon à mauvais dans les autres teintes	50 à 90 très mauvais à bon selon la teinte et la poudre utilisée	85 très bon en général
<b>Prix moyen</b>	1 à 2 €	3 à 5 €	5 à 15 €	3 à 10 €

## 4. L'ECLAIRAGE

### 4.1. CONFORT VISUEL

Un bon éclairage doit donner un certain "confort visuel" et permettre une vision rapide et précise sans occasionner gêne ni fatigue visuelles qui peuvent se manifester par différents symptômes :

- oculaires : lourdeurs des globes oculaires, picotements, brûlures, rougeurs ...
- visuels : sensation de voile, de vision trouble, difficultés à percevoir des détails...
- généraux : maux de tête vertiges

### 4.2. NIVEAUX D'ECLAIREMENT

L'éclairage doit être **suffisant** : de lui dépend l'acuité visuelle des utilisateurs. Des valeurs minimales d'éclairage des locaux sont fixées réglementairement ou recommandées en fonction des activités. En général :

Taches ne nécessitant pas de perception de détails	Environ 300 lux
Taches nécessitant la perception de détails (*)	500 à 1000 lux

(\*)Activité de finition, de contrôle de qualité, d'inspection : 750 à 1000 lux

⇒ La réglementation impose les valeurs minimales des niveaux d'éclairage mesurés au plan de travail, ou à défaut, au sol dans les locaux affectés au travail :

Locaux affectés au travail et leurs dépendances	
Voies de circulation intérieures	<b>40 lux</b>
Escaliers et entrepôts	<b>60 lux</b>
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	<b>120 lux</b>
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	<b>200 lux</b>
Espaces extérieurs	
Zones et voies de circulation extérieures	<b>10 lux</b>
Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	<b>40 lux</b>

⇒ Les valeurs recommandées en hôtellerie sont :

<b>En cuisine professionnelle</b>	Quai	100 à 120 lux
	Secteur préparations froides, pâtisserie	300 à 400 lux
	Préparation des viandes	500 à 550 lux
	Contrôle visuel de la vaisselle	500 à 550 lux
	Laverie	300 lux
<b>Restaurant et hébergement</b>	Salle de restaurant	200 à 300 lux
	Salon d'hôtel, salon de thé	300 lux
	Chambre d'hôtel (éclairage général)	200 lux
	Lingerie, repassage, couture	1000 lux
	Escaliers	200 lux

### 4.3. EBLouisSEMENT ET CONTRASTES

L'éblouissement est une gêne visuelle accompagnée d'une diminution des facultés visuelles : un flux lumineux très important provoque une décomposition massive du pourpre rétinien qui ne peut se reconstituer suffisamment rapidement et le sujet perd momentanément la faculté de percevoir.

L'éblouissement provoque une adaptation de l'œil qui réagit par une accommodation. Le sujet essaye inconsciemment d'améliorer une vision défectueuse. Un effort d'accommodation soutenu peut provoquer une fatigue des muscles ciliaires.

Les parois brillantes peuvent réfléchir les rayons lumineux. Les zones d'ombres sont sources d'inconfort et d'insécurité.

⇒ Il faut éviter les trop fortes luminances ou les différences importantes de luminances dans le champs visuel qui provoquent l'éblouissement :

- **direct** ( source lumineuse dans le champs visuel ) en utilisant des diffuseurs et des réflecteurs.
- **par réflexion** sur les surfaces brillantes ( objets, plans de travail, revêtements ... ) en adaptant l'emplacement des appareils, en veillant aux objets polis ou chromés, aux glaces, aux peintures laquées.
- **par contraste** entre les zones éclairées et les zones d'ombre en employant toujours plusieurs sources de lumière (au moins 10 % d'éclairage d'ambiance et au plus 90 % d'éclairage localisé). L'éclairage doit être homogène dans le champs visuel, avec un rapport maximum de 3 dans la zone habituel de travail et de 5 entre la zone de travail et l'environnement immédiat.

⇒ Il faut éviter les ombres portées sur les surfaces de travail en disposant d'éclairages secondaires.

⇒ Il faut éviter la monotonie, l'uniformité spatiale et temporelle de l'éclairage par la création de zones d'ombre et de lumière, par la mise en valeur des reliefs, par des différences d'intensité de lumière, tout en respectant une échelle convenable de luminance.

⇒ Il faut éviter les phénomènes de fluctuation de la lumière et les effet stroboscopiques

Les tubes fluorescents, et en général toutes les lampes à décharge, produisent un éclairage de nature intermittente. Cependant, grâce à la persistance rétinienne, l'œil perçoit un éclairage continu. Mais, sous ce type d'éclairage, des pièces en mouvement périodique (arbre de moteur, lame de trancheur, etc.) peuvent apparaître en rotation lente, ou même à l'arrêt, alors qu'elles tournent rapidement. C'est l'effet stroboscopique. Ces pièces en mouvement peuvent alors présenter un danger pour l'utilisateur. C'est le cas des lames circulaires des trancheurs à jambon.

#### 4.4. RENDU DES COULEURS

⇒ Les couleurs des objets ne doivent pas être dénaturées ( bon rendu des couleurs ) et la couleur de la lumière doit être en harmonie avec les teintes des revêtement (meilleur rendement de la réflexion).

L'influence des parois, du sol, des plafonds est très importante sur la qualité de l'éclairage. Des revêtements clairs et mats ou satinés sont recommandés pour assurer une bonne réflexion, une bonne diffusion sans éblouissement.

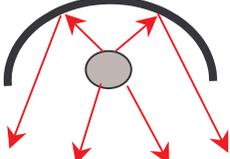
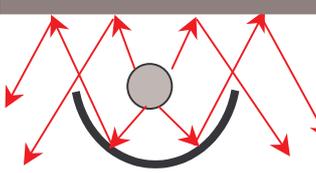
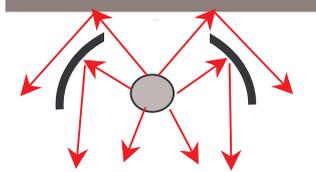
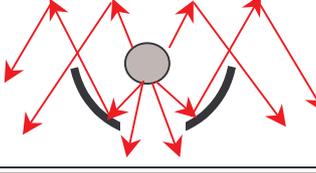
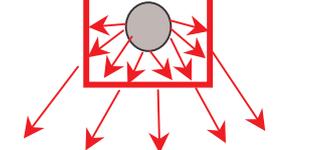
#### 4.5. QUALITE D'UN BON ECLAIRAGE

QUALITE D'UN BON ECLAIRAGE	JUSTIFICATIONS	SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES
Assurer un niveau d'éclairage suffisant	Eviter les chutes et prévenir la fatigue visuelle.	Avoir des luminaires de puissance suffisante, en quantité suffisante. Compléter l'éclairage général à aide de l'éclairage des zones de travail. Avoir des veilleuses de secours. Maintenir les luminaires en bon état de propreté
Éviter l'éblouissement	Eblouissement perturbateur : peut provoquer une incapacité visuelle transitoire (gêne). Eblouissement inconfortable: peut provoquer des céphalées, un picotement des yeux.	Éviter l'éclairage direct dans les yeux en respectant un angle de 30° entre les rayons lumineux issus de la source et le plan horizontal, Eviter les réflexions sur les parois lumineuses.
Eviter les contrastes et les zones d'ombre	Les ombres gênent le travail, et fatiguent l'oeil ; il y a perte d'attention, et augmentation du risque d'accident.	Installer un éclairage complémentaire pour éliminer les ombres
Etre stable	Eviter les effets stroboscopiques qui sont fatigants et potentiellement dangereux.	Ces phénomènes sont spécifiques des lampes à décharge. Veiller à en assurer un bon réglage et un bon entretien. Dans certains cas, adopter un éclairage incandescent : classique ou halogène.
Eviter des dégagements de chaleur trop importants pour le personnel et les aliments.	Bien-être du personnel. Risque de brûlures Qualité sanitaire des denrées. Protection des matériaux plastiques.	La norme NF 71 - 100 indique les températures limites acceptables. Placer les sources lumineuses hors de portée du poste de travail.
Permettre un rendu des couleurs en rapport avec l'activité	Eviter la dénaturation des couleurs de l'objet éclairé	Adapter la température de couleur à l'activité température de couleur élevée = rendu froid température de couleur = rendu chaud

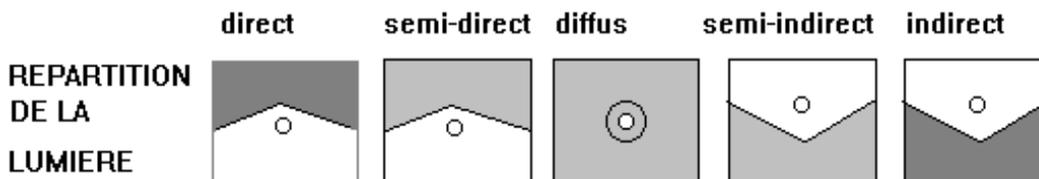
( d'après : Sciences Appliquées Bac PRO, B. Rougier, A. Chrétien, D. Laprévotte, C. Thiébault éd.BPI )

La qualité d'un éclairage ne se détermine pas qu'en données objectives. Des facteurs psychologiques et socioculturels interviennent. L'éclairage joue un rôle dans le comportement des individus : l'ambiance lumineuse peut être reposante ou stimulante, ou bien agressive. La lumière rouge- jaune donne une impression de quiétude et de sécurité à l'inverse du blanc cru ou bleuté.

### 4.6. DIFFERENTS MODES D'ECLAIRAGES

<p><b>Eclairage direct</b></p>	<p>80 % à 100 % du flux lumineux est dirigé sur la surface à éclairer. Il produit de forts éclairagements utilisés pour travailler, écrire, lire... Mais c'est un éclairage « dur », qui découpe des ombres nettes et des contrastes violents : d'où un risque d'éblouissement. Il permet de créer des ambiances par contraste entre les objets éclairés et les zones d'ombre.</p>	
<p><b>Eclairage indirect</b></p>	<p>La totalité du flux émis est projeté au plafond ou sur un mur. La lumière est réfléchi, atténuée et adoucie. C'est un éclairage d'ambiance aux effets décoratifs, reposant, confortable et homogène mais plat, sans relief, sans ombres, donnant une sensation d'espace flou et présentant un très mauvais rendement.</p>	
<p><b>Eclairage semi-direct</b></p>	<p>La majorité du flux lumineux ( 60 % à 90 % ) est projeté sur l'objet éclairé ou le plan de travail, le reste au plafond ou sur une paroi où il est réfléchi pour donner un éclairage d'ambiance. ( par exemple : lampe de travail ou lampadaire près d'un fauteuil, d'un bureau ). Le rendement est correct, l'ambiance lumineuse est bonne.</p>	
<p><b>Eclairage semi-indirect</b></p>	<p>10 % à 40 % de la lumière est dirigée sur la surface à éclairer ( souvent à travers un matériau translucide ), le reste réfléchi : les ombres sont diminuées, l'ambiance bonne, mais le rendement médiocre.</p>	
<p><b>Eclairage diffusé</b></p>	<p>La source lumineuse est dissimulée derrière un diffuseur qui en augmente le diamètre apparent, ce qui supprime l'éblouissement, répartit également le flux lumineux dans toutes les directions et nuance l'éclairage. Le rendement est affaibli.</p>	

#### TYPE D'ECLAIRAGE



### 4.7. REGLEMENTATION

Extrait du décret du 1/10/87 modifiant les dispositions relatives à la sécurité des locaux affectés au travail

**Article R. 232-7-1 :** L'éclairage doit être conçu et réalisé de manière à éviter la fatigue visuelle, ainsi que les affections de la vue qui en résultent, et permettre de déceler les risques perceptibles par la vue.

**Article R. 232-7-2 :** Pendant la présence du personnel, les niveaux d'éclairage mesurés au plan de travail, ou à défaut, au soi, doivent être au moins égaux aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

<b>Locaux affectés au travail et leurs dépendances</b>	
Voies de circulation intérieures	40 lux
Escaliers et entrepôts	60 lux
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120 lux
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 lux
<b>Espaces extérieurs</b>	
Zones et voies de circulation extérieures	10 lux
Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 lux

**Article R. 232-7-5 :** Les dispositions appropriées doivent être prises pour protéger les travailleurs contre l'éblouissement et la fatigue visuelle provoqués par des surfaces à forte luminance ou par des rapports de luminance trop importants entre surfaces voisines.

Les phénomènes de fluctuation de la lumière ne doivent pas être perceptibles et ne doivent pas provoquer d'effets stroboscopiques.

Les sources d'éclairage doivent avoir une qualité de rendu des couleurs en rapport avec l'activité prévue, et elles ne doivent pas compromettre la sécurité du personnel

**Article R. 232-7-6 :** Toutes dispositions doivent être prises afin que les travailleurs ne puissent se trouver incommodés par les effets thermiques dus au rayonnement des sources d'éclairage mises en œuvre. Les sources d'éclairage doivent être aménagées ou installées de façon à éviter tout risque de brûlure.

#### 4.8. REALISATION D'UN ECLAIRAGE

Du point de vue de l'éclairage, on ne peut assimiler l'ensemble des activités qui se déroulent dans un local à une fonction globale, mais on doit considérer chaque activité élémentaire qui nécessite un niveau d'éclairage spécifique et une direction particulière des rayons lumineux en un lieu donné, déterminés par la nature de la tâche (finesse) et la valeur du fond sur laquelle elle est exécutée.

Facteurs d'un éclairage pour une activité élémentaire donnée :

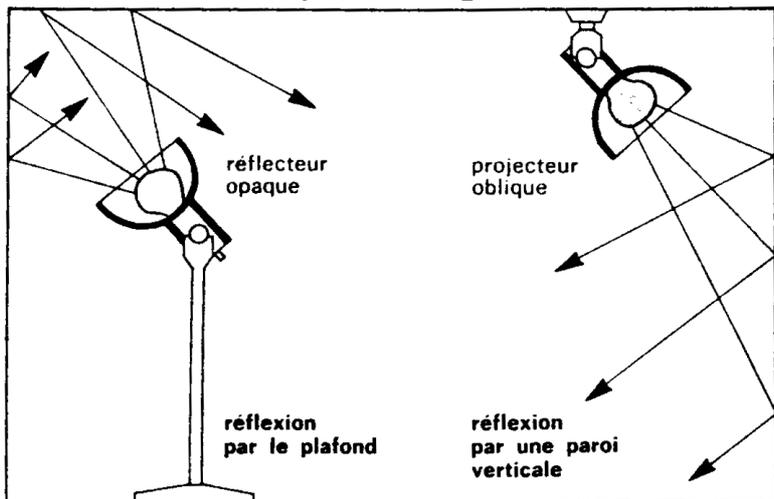
- ◆ flux lumineux direct
- ◆ géométrie du local et position de la source en cas d'éclairage indirect
- ◆ distance à la surface d'utilisation
- ◆ rendement du luminaire (une fraction seulement du flux de la source est utilisable)
- ◆ couleur des parois, il faut choisir la couleur des revêtements de façon à ce que:

le sol réfléchisse 15 % à 35 % de la lumière,  
 les murs ----- 35 % à 75 % ----- ,  
 le plafond ----- 65 % à 85 % ----- .

COULEUR OU MATERIAU	COEFFICIENT DE REFLEXION	COULEUR OU MATERIAU	COEFFICIENT DE REFLEXION
blanc mat	85 %	rose saumon	42 %
crème clair	73 %	Orangé	40 %
crème foncé	70 %	vert d'eau	38 %
jaune citron	70 %	chêne naturel	33 %
jaune d'or	62 %	Havane	32 %
chamois clair	60 %	Gris	30 %
vert clair	60 %	bleu turquoise	27 %
gris clair	55 %	brique rouge	20 %
ciment	55 %	vert prairie	19 %
Sycomore	52 %	noyer	16 %
Pierre (moyenne)	50 %	rouge foncé	15 %
vert moyen	50 %	acajou, grenat	12 %
bleu ciel	50 %	Ardoise	10 %
gris clair	45 %	bleu outremer	10 %
vert pomme	45 %	vert foncé, violet	7 %
Beige	43 %	brun foncé	4 %

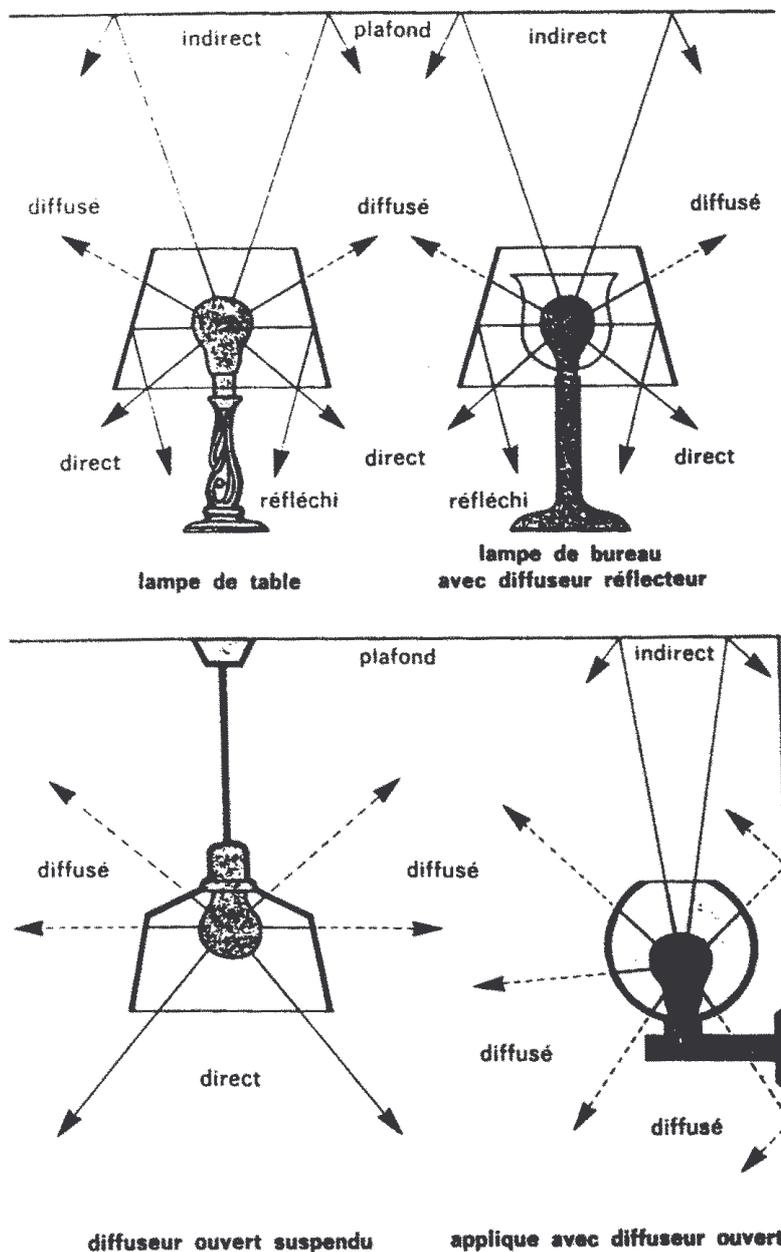


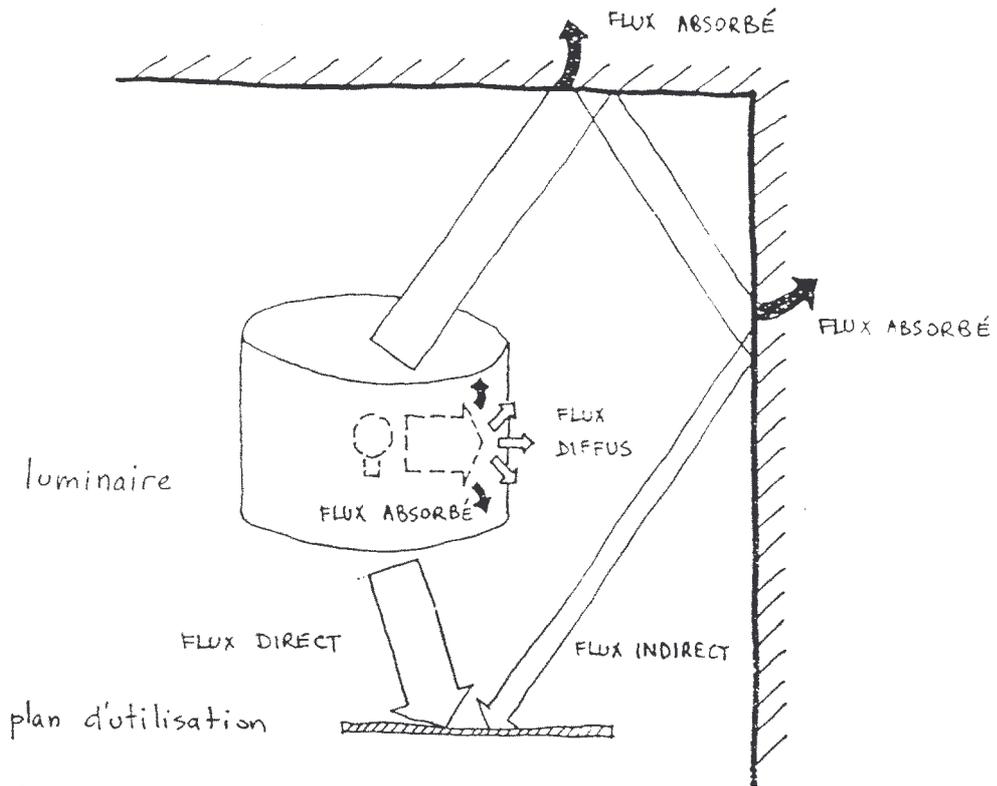
**deux exemples d'éclairage indirect**



Doc CEDEF

**quatre exemples d'éclairage mixte**





Flux lumineux d'une source et luminaire

(Doc. AFE)

**RECHERCHE DES RAPPORTS DE LUMINANCE**

CONTRASTÉ	<ul style="list-style-type: none"> <li>— luminaire opaque de type direct</li> <li>— flux direct de courte distance, concentré</li> <li>— pas de flux réfléchi ou réduit par la distance</li> <li>— sources puissantes (si niveau moyen d'éclairage élevé)</li> </ul>
ÉQUILIBRÉ	<ul style="list-style-type: none"> <li>— luminaires de type diffus ou indirect</li> <li>— répartition régulière des luminaires</li> <li>— pas de flux direct (sauf niveau moyen d'éclairage élevé)</li> </ul>

## TABLE DES MATIERES

<b>CHAPITRE 1 : AMBIANCES CLIMATIQUES</b>		<b>2</b>
1.	CARACTÉRISTIQUES DE L'AIR	2
1.1.	L'air	2
1.2.	Degré hygrométrique	2
1.3.	Exercices	2
2.	ELÉMENTS DE PHYSIOLOGIE HUMAINE	3
3.	NOTION DE CONFORT THERMIQUE	4
<b>CHAPITRE 2 : ISOLATION THERMIQUE</b>		<b>8</b>
1.	ETUDE QUANTITATIVE DE LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR	8
1.1.	Flux de chaleur transmis à travers une paroi plane	8
1.2.	Conduction de chaleur à travers une paroi, Loi de Fourier	8
1.3.	Conductivité thermique de quelques matériaux	8
1.4.	Résistance thermique d'une paroi à la conduction	9
1.5.	Cas d'une paroi composite	9
1.6.	Transmission de la chaleur par la surface d'une paroi	9
1.7.	Résistance thermique superficielle d'une paroi	9
1.8.	Transmission globale de chaleur à travers une paroi	10
1.9.	Exercices et études de cas	11
2.	BILAN THERMIQUE	14
2.1.	Calcul des déperditions thermiques d'un bâtiment	14
2.1.1.	Déperdition à travers les parois	14
2.1.2.	Pertes par les ponts thermiques et les liaisons	14
2.1.3.	Pertes dues au renouvellement de l'air	14
2.1.4.	Flux total de chaleur perdu	14
2.2.	Coefficient G	14
2.3.	Bilan thermique	15
2.4.	Réglementation	16
2.5.	Puissance à installer	16
2.6.	Calculs des consommations	17
2.7.	Réduction de la consommation d'énergie liée au chauffage	21
2.7.1.	Réduction du volume du local chauffé	21
2.7.2.	Augmentation du rendement de l'installation	21
2.7.3.	Diminution du coefficient G	21
3.	LES ISOLANTS THERMIQUES	21
4.	TECHNIQUES D'ISOLATION	26
4.1.	Réhabilitation thermique des bâtiments existants	26
4.2.	Techniques	27
4.3.	Isolation par l'extérieur	27
4.4.	Isolation par l'intérieur	28
4.5.	Cas d'un mur avec lame d'air	28
4.6.	Isolation des combles	29
4.7.	Portes et fenêtres	29
<b>CHAPITRE 3 : LE CHAUFFAGE DES LOCAUX</b>		<b>40</b>
1.	GENERALITES	40
1.1.	Définitions	40
1.2.	Besoins	40
1.3.	Sources d'énergie	40
1.4.	Critères de choix	40
1.5.	Coût	41
2.	LE CHAUFFAGE CENTRAL	41
2.1.	Principe	41

2.2.	Etude fonctionnelle .....	43
2.3.	Chaudières.....	44
2.3.1.	principe de fonctionnement .....	44
2.3.2.	Chaudières au fioul .....	44
2.3.3.	Chaudières au gaz .....	44
2.3.4.	Chaudières polycombustibles.....	46
2.3.5.	Chaudières biénergie.....	46
2.4.	Emetteurs de chaleur .....	48
2.4.1.	radiateurs.....	48
2.4.2.	planchers chauffants.....	48
2.4.3.	convecteurs .....	48
2.4.4.	Aérotherme et ventilo-convecteur.....	49
2.4.5.	Plafond et panneaux radiants .....	49
2.4.6.	radiateurs biénergie .....	49
2.5.	Entretien.....	49
2.6.	Chauffage à vapeur .....	49
3.	LE CHAUFFAGE ELECTRIQUE INTEGRE .....	50
3.1.	Définition .....	50
3.2.	Convecteurs.....	50
3.3.	Chauffage divisé par accumulation.....	51
3.4.	Ventilo-convecteurs et aérothermes (air chaud).....	52
3.5.	Radiants à infra-rouge court.....	52
3.6.	Panneaux et plafonds rayonnants.....	52
3.7.	Plancher chauffant modulable.....	53
3.8.	Chauffage à semi-accumulation (base + appoint).....	53
3.9.	Chauffage électrique avec ventilation double-flux .....	54
4.	LE CHAUFFAGE SOLAIRE .....	57
4.1.	Transformation de l'énergie solaire en chaleur .....	57
4.2.	L'effet de serre, principe.....	57
4.3.	Chauffage des locaux, système solaire passif .....	57
4.4.	Chauffage des locaux, système solaire actif.....	60
4.5.	Entretien des capteurs solaires .....	60
5.	CHAUFFAGE PAR GEOTHERMIE .....	62
6.	LES ECONOMIES DE CHAUFFAGE .....	63
6.1.	Economies d'énergie .....	63
6.2.	Pompes à chaleur ( P.A.C. ).....	63
6.2.1.	Différents types de P.A.C. ....	63
6.2.2.	Pompe à chaleur en relevé de chaudière (Perche T) .....	63
6.2.3.	Performances des P.A.C.....	64
6.3.	Système "Thermittance".....	64
6.4.	Systèmes biénergie.....	64
6.5.	Système "Frigopac".....	64
6.6.	Récupérateurs de chaleur .....	64
6.7.	Programmation.....	65
<b>CHAPITRE 4 : LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE .....</b>		<b>66</b>
1.	BESOINS EN EAU CHAUDE.....	66
1.1.	Température d'utilisation de l'eau chaude .....	66
1.2.	Consommations, estimations statistiques.....	67
1.3.	Consommation, détermination par le calcul.....	67
1.4.	Débits .....	68
2.	MODE DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE .....	68
3.	MODE DE DISTRIBUTION D'EAU CHAUDE.....	68
4.	TYPES D'APPAREILS DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE.....	69
4.1.	Producteurs d'eau chaude instantanée .....	69
4.2.	Producteurs d'eau chaude à accumulation.....	69
4.3.	Producteurs d'eau chaude semi-instantanée ou semi-accumulée.....	69

4.4.	Appareils indépendants à gaz.....	70
4.4.1.	Appareils instantanés.....	70
4.4.2.	Appareils à accumulation.....	70
4.4.3.	Appareils à condensation.....	72
4.5.	Appareils électriques indépendants.....	73
4.5.1.	Principe.....	73
4.5.2.	Appareils à accumulation.....	73
4.5.3.	Installation "hydroaccumulation 8 heures.".....	74
4.5.4.	Installation "hydroaccumulation 8 h avec relance".....	74
4.5.5.	Chaudière électrique semi-instantanée.....	74
4.6.	Chauffe-eau solaire.....	77
4.7.	Pompe à chaleur spécialisée en eau chaude sanitaire.....	79
4.8.	Production d'eau chaude liée au chauffage des locaux.....	79
4.9.	Entretien.....	79
4.10.	Régulation, Sécurité.....	79
4.10.1.	Thermostat :.....	79
4.10.2.	Alimentation en eau :.....	79
4.10.3.	Raccordement en gaz :.....	79
4.10.4.	Ventilation.....	79
4.10.5.	Alimentation électrique :.....	79
<b>CHAPITRE 5 : LES TRAITEMENTS DE L'AIR.....</b>		<b>85</b>
1.	FONCTIONS DES SYSTÈMES DE CONDITIONNEMENT DE L'AIR.....	85
1.1.	Rôle du conditionnement de l'air.....	85
1.2.	fonctions techniques du conditionnement d'air.....	85
2.	CLIMATISATION DES LOCAUX.....	86
2.1.	Procédés de climatisation.....	86
2.1.1.	Climatisation centralisée.....	86
2.1.2.	Climatisation divisée.....	86
2.2.	Types d'appareils.....	86
2.3.	Climatiseurs individuels.....	86
2.3.1.	Window-unit (ou climatiseur compact à condensation par air).....	86
2.3.2.	Console à eau (ou climatiseur compact à condensation par eau).....	87
2.3.3.	Split-system (ou climatiseur 2 blocs).....	88
2.4.	Centrales autonomes de climatisation.....	88
2.5.	Climatisation centrale avec distribution par gaines.....	89
2.6.	Ventilo-convecteurs.....	90
2.7.	Ejecto-convecteurs.....	90
2.8.	Climatiseur à gaz.....	90
2.9.	Humidificateurs d'air.....	91
2.10.	Déshumidificateurs.....	91
2.11.	Epurateurs d'air.....	93
3.	VENTILATION DES LOCAUX.....	93
3.1.	Procédés.....	93
3.2.	Ventilation naturelle.....	93
3.2.1.	Définitions.....	93
3.2.2.	Principes physique à la base des procédés de ventilation.....	93
3.3.	Ventilation semi - mécanique contrôlée simple flux.....	94
3.3.1.	Extraction sans insufflation, circulation par dépression.....	94
3.3.2.	Insufflation sans extraction, circulation par surpression.....	95
3.3.3.	V.M.C. hygroréglable.....	96
3.4.	Ventilation mécanique double flux.....	96
3.5.	Ventilation des locaux, réglementation.....	97
4.	VENTILATION DES CUISINES EN RESTAURATION COLLECTIVE.....	98
4.1.	Objectifs.....	98
4.2.	Obligations réglementaires ( principales directives ).....	98
4.3.	Emissions de polluants.....	100
4.4.	Fonctions du système de ventilation.....	101
4.4.1.	Conception de l'installation.....	101

4.4.2.	Capter.....	101
4.4.3.	Filtrer.....	101
4.4.4.	Extraire.....	103
4.4.5.	Transporter.....	106
4.4.6.	Evacuer.....	106
4.4.7.	Aérer.....	106
4.5.	Solutions techniques.....	107
4.5.1.	Hottes traditionnelles.....	107
4.5.2.	Hottes à compensation.....	107
4.5.3.	Plafonds filtrants.....	111
4.5.4.	Ventilation sans hotte (par induction).....	113
4.5.5.	La hotte électrostatique.....	113
4.5.6.	Traitements des nuisances.....	114
4.5.7.	Récupérateurs de chaleur.....	116
<b>CHAPITRE 6 : L'ECLAIRAGE.....</b>		<b>120</b>
1.	LA LUMIERE.....	120
1.1.	Energie lumineuse.....	120
1.2.	Nature de la lumière blanche.....	120
1.3.	Propagation de la lumière.....	120
1.4.	Couleur des corps.....	121
1.5.	Couleurs des sources et température de couleur.....	121
1.6.	Rendu des couleurs.....	122
2.	GRANDEURS PHOTOMETRIQUES.....	122
2.1.	Flux lumineux.....	122
2.2.	Intensité lumineuse.....	122
2.3.	Eclairement.....	122
2.4.	Luminance.....	124
2.5.	Efficacité lumineuse d'une source de lumière.....	124
3.	LES SOURCES DE LUMIERE.....	124
3.1.	Eclairage naturel.....	124
3.2.	Lampes à incandescence.....	124
3.2.1.	Principe.....	124
3.2.2.	Caractéristiques.....	125
3.2.3.	Résistance du filament d'une lampe à incandescence.....	127
3.2.4.	Lampes à halogène.....	127
3.3.	Tubes fluorescents.....	127
3.3.1.	Principe de fonctionnement.....	127
3.3.2.	Stabilisation.....	129
3.3.3.	Amorçage.....	129
3.3.4.	Caractéristiques.....	130
3.3.5.	Lampes fluocompactes.....	130
3.4.	Lampes à décharge.....	130
4.	L'ECLAIRAGE.....	132
4.1.	Confort visuel.....	132
4.2.	Niveaux d'éclairement.....	134
4.3.	Eblouissement et contrastes.....	134
4.4.	Rendu des couleurs.....	134
4.5.	Qualités d'un éclairage.....	134
4.6.	Différents modes d'éclairages.....	134
4.7.	Réglementation.....	134
4.8.	Réalisation d'un éclairage.....	135