

**OFPPT**

**ROYAUME DU MAROC**

---

**مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل**

**Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail**  
**DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION**

---

**RESUME THEORIQUE  
&  
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE N°8 : TRAITEMENT DE L'AIR**

**SECTEUR : FROID ET GENIE THERMIQUE**

**SPECIALITE : TSGC/TMGC**

**NIVEAU : TS/ T**

**AVRIL 2003**



**ISTA.ma**  
**Un portail au service**  
**de la formation professionnelle**

### **Le Portail <http://www.ista.ma>**

Que vous soyez étudiants, stagiaires, professionnels de terrain, formateurs, ou que vous soyez tout simplement intéressé(e) par les questions relatives aux formations professionnelles, aux métiers, <http://www.ista.ma> vous propose un contenu mis à jour en permanence et richement illustré avec un suivi quotidien de l'actualité, et une variété de ressources documentaires, de supports de formation, et de documents en ligne ( supports de cours, mémoires, exposés, rapports de stage ... ) .

Le site propose aussi une multitude de conseils et des renseignements très utiles sur tout ce qui concerne la recherche d'un emploi ou d'un stage : offres d'emploi, offres de stage, comment rédiger sa lettre de motivation, comment faire son CV, comment se préparer à l'entretien d'embauche, etc.

Les forums <http://forum.ista.ma> sont mis à votre disposition, pour faire part de vos expériences, réagir à l'actualité, poser des questionnements, susciter des réponses. N'hésitez pas à interagir avec tout ceci et à apporter votre pierre à l'édifice.

### **Notre Concept**

Le portail <http://www.ista.ma> est basé sur un concept de gratuité intégrale du contenu & un modèle collaboratif qui favorise la culture d'échange et le sens du partage entre les membres de la communauté ista.

### **Notre Mission**

Diffusion du savoir & capitalisation des expériences.

### **Notre Devise**

Partageons notre savoir

### **Notre Ambition**

Devenir la plate-forme leader dans le domaine de la Formation Professionnelle.

### **Notre Défi**

Convaincre de plus en plus de personnes pour rejoindre notre communauté et accepter de partager leur savoir avec les autres membres.

### **Web Project Manager**

- Badr FERRASSI : <http://www.ferrassi.com>

- contactez : [admin@ista.ma](mailto:admin@ista.ma)

## **Remerciements**

*La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module de formation.*

### **Pour la supervision :**

**GHRAIRI RACHID :** Chef de projet du Secteur Froid et Génie Thermique

**BOUJNANE MOHAMED :** Coordonnateur de C D C du Secteur Froid et Génie Thermique

### **Pour l'élaboration :**

**BOUJNANE. LIOUBOV** Formatrice à l' ISGTF DRGC

### **Pour la validation :**

**Mr .Ahmed LAKDARI** : Formateur à l'ISGTF  
**Mr Omar OUADGHIRI** : Formateur à l'ISGTF

***Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.***

**Monsieur Said SLAOUI**  
**DRIF**

## SOMMAIRE

	<b>Page</b>
<i>Présentation du module</i>	<b>5</b>
<i>Résumé de théorie</i>	<b>6</b>
I. <i>Illustration des diverses positions de l'air sur le D.P.</i>	
I.1. <i>Les composants et les propriétés de l'air</i>	
I.2. <i>Les conditions influant sur le confort humain dans un local</i>	
I.3. <i>Les termes utilisés en psychrométrie</i>	
I.4. <i>La détermination des caractéristiques physiques de l'air humide à l'aide du D.P.</i>	
	<b>21</b>
II. <i>Description de diverses évolutions de l'air</i>	
II.1. <i>Evolution de l'air à travers de la batterie chaude</i>	
II.2. <i>Evolution de l'air à travers de la batterie froide</i>	
II.3. <i>Evolution de l'air à travers des humidificateurs</i>	
II.4. <i>Evolution de l'air à travers des déshumidificateur</i>	
II.5. <i>Evolution de l'air à travers d'un caisson de mélange</i>	
III. <i>Les calculs relatifs à l'évolutions de l'air dans un appareil de T.A.</i>	<b>40</b>
III.1. <i>Caractéristiques du système de climatisation</i>	
III.2. <i>Bilan global du T.A.</i>	
III.3. <i>Grandeur caractéristique d'un T.A.</i>	
III.4. <i>Etude de cas</i>	
III.5. <i>Angle d'évolution d'un T.A</i>	
IV. <i>Les calculs relatifs à l'évolutions de l'air dans un local climatisé.</i>	<b>51</b>
IV.1. <i>Bilan d'un local climatisé</i>	
IV.2. <i>Droite d'évolution de l'air soufflé dans un local climatise</i>	
V. <i>Principe de fonctionnement des appareils de T.A.</i>	<b>54</b>
V.1. <i>Les filtres</i>	
V.1.1. <i>Méthode de filtration de l'air</i>	
V.1.2 <i>Type de filtre</i>	
V.2 <i>Les batteries</i>	
V.2.1. <i>Méthodes de transfert de chaleur</i>	
V.2.2. <i>Type des batteries</i>	
V.2.3. <i>Ecart moyen de température</i>	
V.3. <i>Les laveurs d'air</i>	
V.3.1. <i>Principe d'un laveur d'air</i>	
V.3.2. <i>Calculs pour le refroidisseur d'air</i>	
VI. <i>Choisir le meilleur traitement d'air</i>	<b>74</b>

VI.1. Climatisation d'une salle de conférences en été	
VI.1.1 Calcul des caractéristiques de la salle de conférence	
VI.1.2. Calcul du débit de soufflage	
VI.1.3. Tracé sur le D.P	
VI.1.4. Calcul des caractéristiques des appareils	
VII. Divers notions utilisées en psychrométrie	<b>79</b>
VII.1. SHF	
VII.2 SHF du local	
VII.3. SHF total	
VII.4. Température équivalente de surface	
VII.5. Bypass factor	
VII.6. Débit d'air traite nécessaire	
VII.7. SHF effectif	
VIII. Calculs relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie	<b>84</b>
VIII.1. Abréviations SYM	
VIII.2. Relations	
Guide de travaux pratique	<b>89</b>
I. TP1.	
I.1. Enumérer les composants et les propriétés de l'air	
I.2. Expliquer les conditions influant sur le confort humain dans un local	
I.3. Définir les termes utilisés en psychrométrie et lire ces termes sur le DP	
I.4. Résoudre des problèmes pratiques à l'aide du DP	
I.5. Illustrer diverse position de l'air sur le D.P	
II. TP2.	
II.1. Reconnaître et tracer juste l'évaluation d'air à travers de la BF	
II.2. Reconnaître et tracer l'évaluation de l'air à travers d'un humidificateur sur le DP en utilisant les paramètres physiques pris en considération.	
II.3. Reconnaître et tracer juste l'évaluation d'air à travers de la batterie chaude sur le DP en utilisant les paramètres physiques pris en considération.	
II.4. Reconnaître et tracer l'évaluation d'air à travers d'un déshumidificateur en utilisant les paramètres physiques pris en considération.	
II.5. Reconnaître l'évaluation d'air à travers de casson de mélange et tracer cet évaluation sur le DP en utilisant les	

paramètres physiques pris en considération.

II.6. Décrire divers l'évolution d'air à travers des appareils de TA

III. TP3.....

III.1. Calculer la quantité de la chaleur et l'humidité à apporter où à évacuer par un appareil de T.A.

III.2. Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un appareil de traitement d'air

IV. TP4

IV.1. Effectuer les calculs relatifs à un local climatisé

IV.2. Tracer l'évaluation d'air dans un local climatisé en utilisant la rapport 'J'

IV.3. Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un local Climatisé

V. TP5

V.1. Distinguer les filtres dans une installation de C.T.A, décrire leur principe de fonctionnement et leur rôle.

V.2. Distinguer les batteries (refroidisseurs et réchauffage) dans une installation de C. TA, décrire leur principe de fonctionnement et leur rôle.

V.3. Distinguer les laveurs d'air dans une installation de C. T.A

V.4. Décrire le principe et le fonctionnement des appareils de C.T.A

VI. TP6

VI.1. composer le C.T.A à partir des conditions des bases donnes et tracer l'évaluation d'air à travers d'un C.T.A.

VI.2. Choisir le meilleur traitement d'air

VII. TP7

VII.1. Indiquer des données relatives aux diverses notions sur le D.P

VIII. TP8

VIII.1. Calculer la quantité de la chaleur sensible, latente et totale

VIII.2. Effectuer des calculs et tracé relatifs au diverses notions utilisées en psychrométrie

## **PRESENTATION DU MODULE**

*Ce module de traitement d'air est destiné au formateur pour l'aider à préparer ses cours .  
Il renferme toutes les activités d'apprentissage nécessaires à l'acquisition de la compétence  
visée par ce module. Il peut être adapté par le formateur à toutes les filières du Technicien  
et Technicien spécialisé dont le programme de formation prévoit l'acquisition de cette  
compétence.*

*Le concept d'apprentissage de ce résumé théorique et de travaux pratiques repose  
Sur une pédagogie de la réussite qui favorise la motivation du stagiaire .*

*Le volume horaire des contenus théoriques est de 38 heures  
Le volume horaire pratique est de 37 heures.*

**Module18 : TRAITEMENT D'AIR**

*Durées : 75heures*

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER  
NIVEAU DE COMPORTEMENT**

**Comportement attendu :**

*Pour démontrer sa compétence le stagiaire doit : analyser divers évolutions d'air dans les appareils de traitement d'air*

*Selon les conditions, et les critères qui suivent :*

*Conditions d'évaluation :*

- *A partir d'une mise en situation*
- *A partir d'une analyse de diverses évolutions de l'air dans les appareils de traitement de l'air*
- *Sans aucune documentation technique*

**Critères généraux de performance :**

- *Justesse de l'explication de l'évolutions d'air dans les appareils de traitement d'air*
- *Exactitude de calculs.*
- *Exactitude de tracés sur le diagramme psychrométrique d'évaluation d'air dans les appareils de traitement d'air.*
- *Exactitude des calculs et tracés des diverses notions utilisées en psychrométrie.*

<b>Précisions sur le comportement attendu</b>	<b>Critères particuliers de performance</b>
<p><b>A. Illustrer diverses positions d'air sur le D P</b></p> <p><b>B. Décrire les évolutions d'air dans les appareils de traitement d'air</b></p> <p><b>C. Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un appareil de traitement d'air</b></p> <p><b>D. Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un local</b></p> <p><b>E. Décrire le principe et le fonctionnement des appareils de traitement d'air</b></p> <p><b>F. Choisir le meilleur traitement d'air</b></p> <p><i>Champ d'application de la compétence domaine de la climatisation</i></p> <p><b>G. Définir les diverses notions utilisés en psychrométrie.</b></p> <p><b>H. Effectuer des calculs relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte approprié du données relatives aux paramètres physiques considères</li> <li>- Exactitude des diverse positions d'air sur D P</li> <li>- Explication juste de l'évolution de l'air relatifs aux points suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chauffage</li> <li>• Refroidissement</li> <li>• Humidification</li> <li>• Déshumidification</li> <li>• Mélange d'air</li> </ul> </li> <li>- Description juste d'évolution d'air en tenant compte des facteurs suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition exacte des concepts de base</li> <li>• Justesse des paramètres physiques déterminants</li> </ul> </li> <li>- Exactitude des calculs relatif aux : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chauffage</li> <li>• Refroidissement</li> <li>• Humidification</li> <li>• Déshumidification</li> </ul> </li> <li>- Exactitude des calculs relatif à l'évolution d'air dans un local</li> <li>- Tracer juste d'évolution d'air dans un local</li> <li>- Description adéquate des principes et des fonctionnement des appareils de traitement d'air</li> <li>- Composition juste des C T A à partir des conditions des bases données</li> <li>- Tracé juste d'évolution d'air à travers des C T A</li> <li>- Définition juste des notions utilisées en psychrométrie.</li> <li>- Position juste de ces notions sur le D.P.</li> <li>- Exactitude des calculs relatifs aux : <ul style="list-style-type: none"> <li>• SHF</li> <li>• RSHF</li> <li>• GSHF</li> <li>• ESHF</li> </ul> </li> <li>- Tracé juste d'évolution d'air en utilisant des diverse notions</li> </ul>

## **OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU**

**Le stagiaire doit maîtriser le savoir, le savoir-faire, le savoir percevoir-faire et le savoir –être, jugés préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif opérationnel de premier niveau, tels que :**

**Avant d'apprendre à décrire les procédés de climatisation à détente directe le stagiaire doit (A) :**

1. *Enumérer les composants de l'air*
2. *Enumérer les propriétés de l'air*
3. *Expliquer les conditions influant sur le confort humain dans un local*
4. *Définir les termes utilisés en psychrométrie*
5. *Indiquer ou lire des données sur le DP*
6. *Résoudre des problèmes pratiques à l'aide du DP*

**Avant d'apprendre à décrire diverses évolutions d'air le stagiaire doit (B) :**

7. *Reconnaître l'évolution d'air*
8. *Tracer juste l'évolutions de l'air*
9. *Distinguer les paramètres physiques pris en considération en évolution d'air*

**Avant d'apprendre à effectuer des calculs relatifs à l'évolutions d'air dans un appareils de traitement d'air le stagiaire doit (C) :**

10. *Calculer la quantité de chaleur à apporter ou à évacuer par un appareil de traitement d'air*
11. *Calculer la quantité d'humidité à apporter ou à évacuer par un appareil*

**Avant d'apprendre à effectuer des calculs relatifs à l'évolutions d'air dans un local le stagiaire doit (D) :**

12. *Calculer la quantité de chaleur à apporter ou à évacuer dans un local*
13. *Calculer la quantité d'humidité à apporter ou à évacuer dans un local*
14. *Calculer la quantité d'air à diffuser dans un local en fonction des charges*
15. *Tracer l'évolutions d'air dans un local*

**Avant d'apprendre à décrire le principe et le fonctionnement des appareils de traitement d'air le stagiaire doit (E) :**

16. *Distingue les accessoires des appareils de traitement d'air et les localiser sur un plan*
17. *Décrire les principes de fonctionnement et le rôle des accessoires des appareils de traitement d'air*
18. *Décrire les principes de fonctionnement des appareils de traitement d'air*

**Avant d'apprendre à choisir le meilleur traitement d'air le stagiaire doit (F).**

19. *Composer le C.T.A. à partir des conditions des bases données.*
20. *Tracer l'évolution d'air à travers d'un C.T.A.*

**Avant d'apprendre à définir divers notions utilisées en psychrométrie le stagiaire doit (G)**

21. *Indiquer des données relatives aux diverses notions sur le D.P.*

**Avant d'apprendre à effectuer des calculs et tracés relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie le stagiaire doit (H).**

22. *Calculer la quantité de chaleur sensible.*

23. *Calculer la quantité de chaleur latente.*

24. *Calculer la quantité de chaleur totale.*

***Module : TRAITEMENT D'AIR  
RESUME THEORIQUE***

*1. Illustrer diverses positions de l'air sur le D.P.*

## 1.1. Les composants et les propriétés de l'air

### 1. La composition et les propriétés d'air sec.

L'air sec est un mélange de gaz la composition volumétrique habituelle est :

Oxygène	- 20,99%
Azote	- 78,03%
Argon	- 0,94%
Gaz carbonique	- 0,03%

Ces gaz peuvent être considérés comme parfaits on peut donc appliquer à l'air sec l'équation des gaz parfaits :  $PV = RT$

P- pression en mm de hauteur de colonne d'eau :

V- volume spécifique en mètre cubes par kg.

T- température absolue en °K  $T^{\circ} K = 273,15 t^{\circ}C$

R- constante de l'air.

Soit M le poids moléculaire de l'air. Une molécule kilogramme d'un gaz parfait occupe un volume de 22,412 m<sup>3</sup>. Pour une température de 0°C et une pression de 760 mm de mercure, correspondant à 10.332 mm d'eau.

$$10.332 \times 22,412 = M \times R \times 273,15$$

$$\text{d'ou } R = \frac{848}{M}$$

Or poids moléculaire de l'air est égal à :

$$M = 22,412 \times 1,293 = 29 \quad (1,293\text{- masse volumique})$$

$$\text{donc } R = \frac{848}{29} = 29,2$$

L'équation d'état de l'air sec s'écrit donc :

$$PV = 29,2 T$$

#### 1.1

**1.2 La chaleur spécifique** à pression constante CP de 1kg poids d'air est donnée par la formule :

$$CP = 0,24 + 0,000061$$

En conditionnement d'air où t varie en général de -10°C à + 40° l'on peut considérer CP comme constant et = à 0,24 kcal / kg °C

Rappelons que 1 kcal / kg °C = 4,185 Kj / kg °C.

**1.3 L'échauffement adiabatique** de l'air sec que l'on porte de la pression statique P1 à la pression P2 dans compresseur de rendement 100% est :

$$T_2 - T_1 = T_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,29} - 1 \right]$$

**1.4 La masse volumique** de l'air sec, mesurée à une température de 0°C et sous une pression de 760 mm de mercure est 1293 gr/m<sup>3</sup>.

Pour toute autre température la pression est donnée par la formule classique :

$$P = 0,465 \frac{P}{T}$$

$P$ - masse volumique en  $\text{gr/m}^3$ .

$P$ - pression en mm de mercure.

$T$ - température en  $^{\circ}\text{k}$ .

## 2. La composition et les propriétés d'air humide

L'air atmosphérique n'est jamais parfaitement sec et contient toujours, en suspension, une certaine quantité de vapeur d'eau. (on admet que cette vapeur se comporte comme un gaz parfait.

$$R_w = \frac{848}{M_w} = \frac{848}{18} = 47 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{kmol} \cdot ^{\circ}\text{k}$$

$M_w$ - masse moléculaire de l'eau égale à 18

### 2.1 Degré hygrométrique : (d'humidité relative)

définit la proportion de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air.

$$e = \frac{P_v}{F} \times 100$$

$P_v$  - pression partielle de la vapeur d'eau dans le volume  $V$  du mélange de temp.  $t^{\circ}\text{C}$

$F$ - tension maximale de la vapeur d'eau à la même température.

### 2.2 Humidité absolue W : la masse de vapeur d'eau exprimée en grammes associée à 1kg d'air sec.

Lorsque l'on réchauffe une certaine q-te d'air humide son humidité relative diminue alors que son humidité absolue  $W$  ne varie pas : inversement quand on refroidit l'air, son humidité relative augmente, mais ne peut dépasser 100% : son humidité absolue  $W$  reste constante jusque à ce que l'on ait atteint la température dite point de rosée au-dessous de laquelle  $W$  diminue, la vapeur se condensant.

### 2.3 Volume Vn ( $\text{m}^3$ ). Occupé par le mélange d'air humide contenant $W$ (kg) de vapeur d'eau associés à 1kg d'air sec sous une pression de $P$ à une temp. de $^{\circ}\text{k}$

$$V_n = \frac{T}{P} (29,2 + 47 W)$$

### 2.4 Pression partielle P' de la vapeur d'eau dans le mélange

$$p' = p \frac{47 W}{29,2 + 47 W}$$

**2.5 Degré hygrométrique**, la tension de la vapeur d'eau à la temp.  $T^{\circ}k$  étant donnée comme égale à  $F$  mm d'eau

$$e = 100 \frac{P'}{F} = 100 \frac{p}{F} \frac{47 W}{29,2 + 47 W}$$

**2.6 Quantité de vapeur d'eau**  $W/kg$  associée à  $1kg$  d'air sec dans un mélange d'humidité relative  $e\%$

$$W = \frac{29,2}{47 (100p/eF - 1)} = \frac{0,622}{100p/eF - 1}$$

**2.7 La courbe d'air saturé** correspond à  $e = 100$  p.ex.  $t = 25^{\circ}C$  et  $p = 10.332$  mm.c.e. les tables donnent  $F = 322$  mm e.e. (tension maximale,

$$W = \frac{0,622 \times 322}{10010} = 0,0200 \text{ kg}$$

**2.8 Le volume  $V_h$**  occupé par le mélange contenant  $1$  kg d'air sec sera :

$$V_h = \frac{273 + 25}{10.332} (29,2 + 47,0 \times 0,0200) = 0,872 \text{ m}^3$$

**2.9 La masse volumique** de l'air humide sera :

$$p = \frac{1,000 + 0,0200}{0,872} = 1,170 \text{ kg/m}^3$$

pour de l'air humide à 50%

$$W = \frac{0,622}{\frac{100 \times 10332}{50 \times 322} - 1} = 0,0098 \text{ kg}$$

**2.10 Le degré de saturation** est de :

$$\frac{0,0098}{0,020} = 0,49$$

légèrement inférieur à l'humidité relative

### **2.11 La quantité de chaleur de l'air humide**

Etant donné un mélange à une  $t^{\circ}\text{C}$  et sous  $p$  mm Hg :

$m_a$ - air sec (gramme)

$m_v$ - vapeur d'eau (gramme)

$m_e$ - eau en gouttelettes (gramme)

La chaleur totale qu'il contient se décompose :

1. la chaleur sensible de  $m_a$  en gramme d'air sec

$$S_a = m_a \times 0,24 \times t \text{ (0,24 la chaleur massique)}$$

2. la chaleur totale de  $m_v$  en gramme de vapeur comprend la chaleur sensible de cette valeur plus la chaleur latente

$$\theta(S+L)_v = (595 + 0,47 t) m_v$$

3. la chaleur sensible de  $m_e$  gramme d'eau

$$S_e = m_e \times 1 \times t$$

la chaleur totale sera

$$S_t = m_a \times 0,24 t + 595 + 0,47 t) m_v + m_e \times t$$

Cette valeur rapportée au kilogramme d'air sec est appelée enthalpie.

### **2.12 Température sèche et température humide de l'air humide.**

**2.12-a)** un thermomètre, à colonne de mercure, soustrait à tout influence de rayonnement et entièrement baigné par air indique la température sèche de l'air humide.

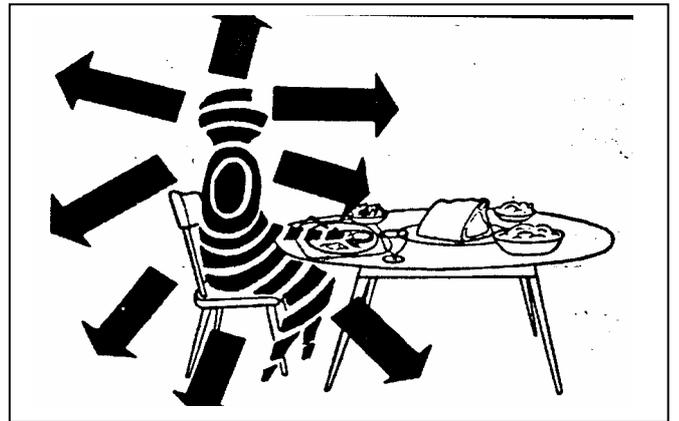
**2.12-b)** L'air s'est saturé de vapeur d'eau. Le thermomètre indiquera la température humide de l'air humide (bulbe humide) tous les mélanges d'air et de vapeur d'eau ayant même chaleur totale ont même température humide. Pour une temp. sèche et une temp. humide  $t_n$ , la différence,  $t_s - t_n$  permet de calculer l'humidité relative.

## 1.2. Les conditions influant sur le confort humain dans un local

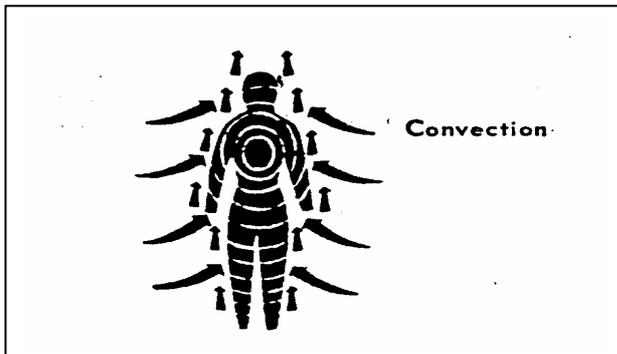
Le corps peut être considéré comme une machine thermique, qui consomme des aliments en guise de combustible. Ce combustible est transformé en énergie... ce qui se traduit par un dégagement de chaleur intense. A chaque mouvement du corps... chaque clin d'œil... une partie de l'énergie accumulée est détruite et la quantité de chaleur dégagée augmente.



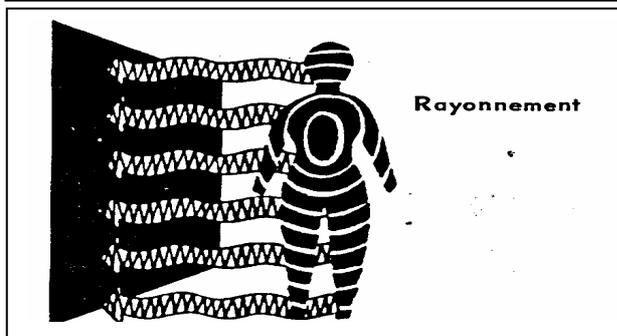
Cette chaleur dégagée, doit être évacuée au fur et à mesure de sa production, de façon à ce que la température du corps reste égale à 37° comme le corps dégage toujours plus de chaleur qu'il n'en a besoin, cette évacuation de chaleur doit se poursuivre de façon continue... à chaque seconde, chaque jour de l'année. Les échanges de chaleur entre le corps et l'ambiance ont lieu suivant trois modes... Convection, rayonnement et évaporation. D'une façon générale, ces trois modes de transmission de chaleur ont lieu simultanément.



### 1. La convection



Du fait de la convection, l'air en contact avec le corps s'échauffe, ce qui entraîne une diminution de son poids spécifique. Il tend donc à se déplacer vers le haut et est remplacé par de l'air plus froid, qui s'échauffe à son tour, d'où la formation de "courants de convection".

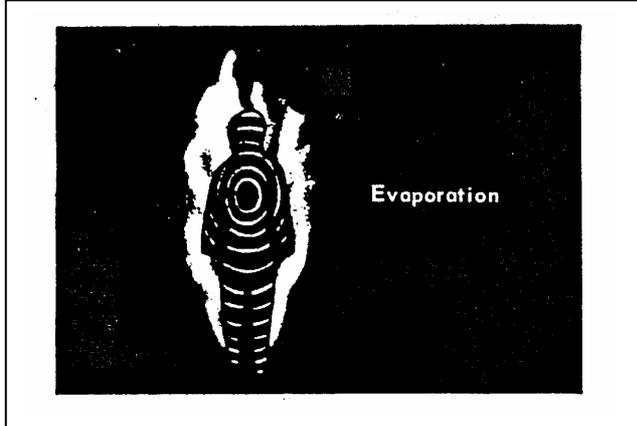


### 2. Le rayonnement

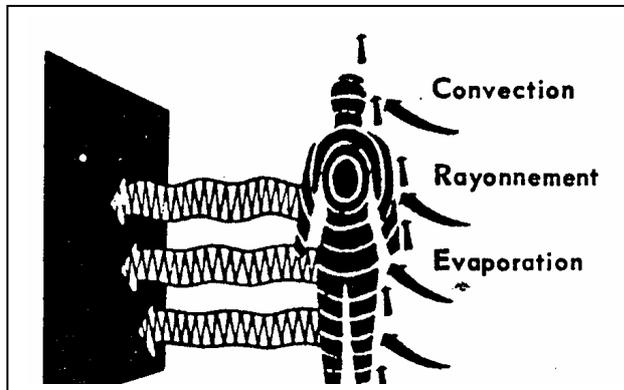
La chaleur du corps est également évacuée par rayonnement, c'est-à-dire que le corps rayonne de la chaleur directement vers toutes les surfaces plus froides qui l'entourent... tout comme les rayons du soleil traversent l'espace pour venir réchauffer la terre. La chaleur peut ainsi être échangée entre le corps et un mur, un plafond ou toute surface de température inférieure à celle du corps et la surface n'a pas d'influence sur l'intensité

des échanges. Vous pouvez le constater quand vous vous réchauffez à la flamme d'un feu de camp. Les parties de votre corps exposées à la flamme s'échauffent, même si la température de l'air extérieur est très faible.

### 3. L'évaporation

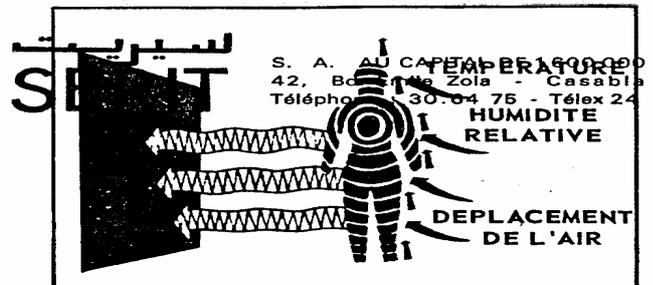


L'évaporation est le troisième mode de transmission de la chaleur du corps. De l'humidité arrive par tous les pores jusqu'à la surface de la peau. Là, elle s'évapore empruntant au corps sa chaleur latente de vaporisation et donc le refroidit. Ce phénomène peut être rendu plus sensible en frottant la peau avec de l'alcool, vous ressentez une plus grande impression de froid parce que l'alcool s'évaporant plus vite, absorbe la chaleur plus rapidement. Que vous vous en aperceviez ou non, l'évaporation à la surface du corps se poursuit constamment. Si des gouttes de transpiration apparaissent, cela signifie que le corps produit plus de chaleur qu'il ne peut en évacuer.



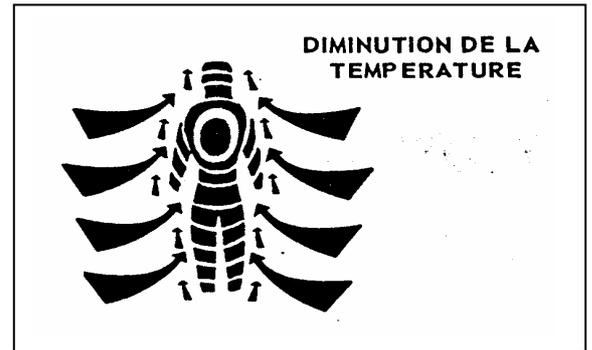
N'oublions pas que ces trois modes de transmission de chaleur interviennent simultanément. Convection, rayonnement et évaporation sont les trois moyens par lesquels le corps évacue l'excès de chaleur qu'il produit. Pourtant, suivant les conditions de l'ambiance, l'un de ces moyens peut intervenir dans une plus grande proportion que l'autre. Les conditions de l'ambiance auront donc une influence importante sur la facilité pour le corps d'évacuer la chaleur qu'il produit.

La température, le degré hygrométrique et le déplacement de l'air ambiant sont les trois facteurs qui influent sur la possibilité offerte au corps d'évacuer de la chaleur. Des variations de ces paramètres entraîneront une diminution ou une augmentation de l'intensité de échanges par convection, rayonnement ou évaporation. Considérons chacun de ces paramètres un à un, Tout d'abord la température.

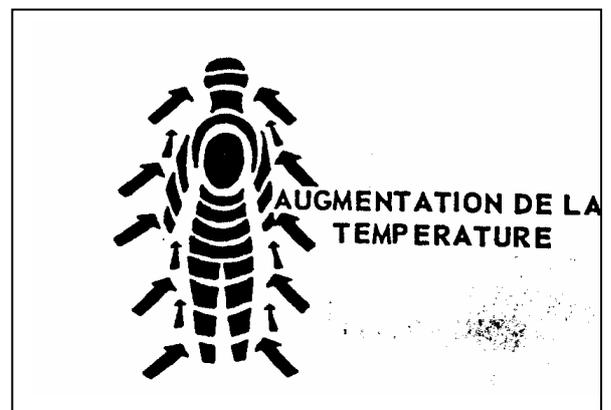


### **1. La température**

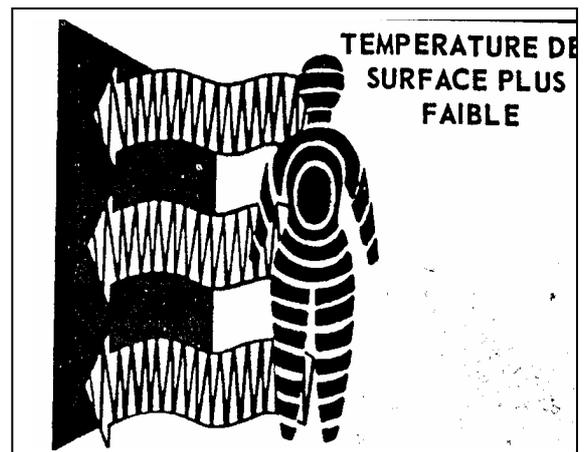
*Une diminution de la température entraîne une augmentation des échanges par convection, donc plus l'air est froid, plus le corps perd de chaleur par convection. Nous savons que la chaleur tend toujours à se transmettre d'un corps chaud à un corps froid. Plus la différence de température est grande, plus les échanges et les courants de convection sont intenses. Si la différence est trop grande, la perte de chaleur est trop forte, ce qui se traduit par une sensation de froid.*

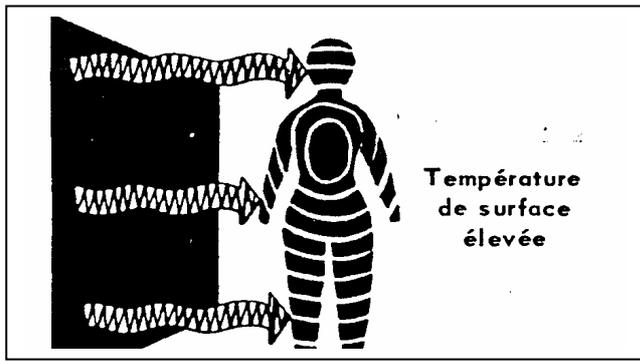


*Inversement... plus la température de l'air ambiant est élevée, plus les échanges par convection sont faibles. Quand la température de l'air se rapproche de celle du corps, les échanges par convection diminuent. On voit donc que la température de l'air a une influence importante sur la sensation de confort. L'expérience a montré que la plupart des gens se sentent à l'aise pour une température comprise entre 22 et 27°C.*

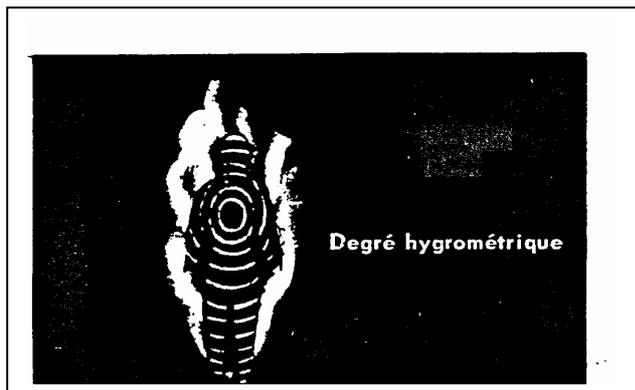


*La température des surfaces qui entourent le corps est importante également puisqu'elle affecte l'intensité des échanges par rayonnement. Plus la température des surfaces est faible... c'est-à-dire, plus la différence de température entre le corps et les surface est importante... plus le corps dégage de chaleur par rayonnement. Inversement les échanges par rayonnement se trouvent diminués au fur et à mesure que la température des surfaces se rapproche de celle du corps et...*





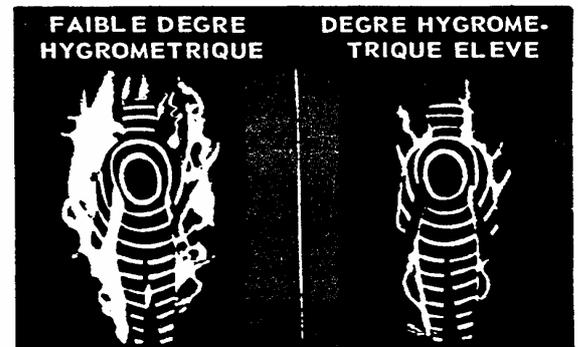
Changent de sens si la température des surfaces est supérieure à celle du corps. Celui-ci doit alors évacuer davantage de chaleur par convection et évaporation. La température des surfaces qui l'entourent ne représente pas le seul facteur qui affecte les échanges de chaleur entre le corps et l'ambiance.



## 2. Le degré hygrométrique

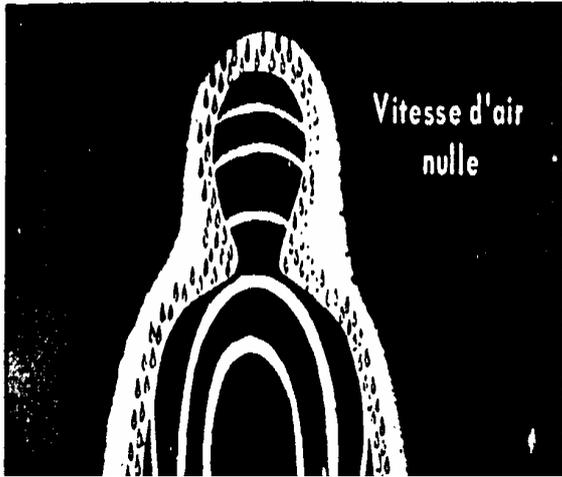
Le degré hygrométrique influe sur la quantité de chaleur que le corps est susceptible d'évacuer par évaporation. Le degré hygrométrique définit la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air. On peut considérer qu'il exprime la capacité de l'air à absorber plus ou moins d'humidité.

Si le degré hygrométrique de l'air qui baigne le corps est faible, celui-ci est capable d'évacuer davantage de vapeur par évaporation, que si le degré hygrométrique est élevé. Donc à une diminution du degré hygrométrique correspond une augmentation des échanges par évaporation et inversement. L'expérience a montré que pour une température de 26°C, un degré hygrométrique de 50% donne une sensation de confort raisonnable.



## 3. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air est le troisième facteur qui influe sur les échanges de chaleur entre le corps et l'ambiance. Le renouvellement de l'air en contact avec le corps se traduit par une accélération de l'évaporation. Comme nous l'avons vu, l'évaporation dépend de l'habilité de l'air à absorber de l'humidité. Si cet air est constamment renouvelé l'humidité se trouve entraînée, ce qui favorise l'évaporation.



*Si la vitesse de l'air à proximité du corps était nulle, la couche directement en contact avec celui-ci tendrait rapidement vers la saturation, c'est-à-dire que son degré hygrométrique augmenterait à un point tel, qu'il ne pourrait plus absorber l'humidité.*

*Le déplacement de l'air accélère également les échanges par convection, puisqu'il permet l'évacuation de l'air échauffé et son remplacement par de l'air plus froid. Ce mouvement de l'air accélère également les échanges par convection des murs, plafonds et autres surfaces entourant le corps. Mais la chose importante à retenir est que la vitesse de l'air constitue un des facteurs ayant une influence sur la sensation de confort.*

*Pour nous résumer, nous dirons donc que la sensation de confort dépend de trois facteurs : la température, le degré hygrométrique et la vitesse de l'air.*

### **I.3. Les termes utilisés en psychrométrie**

#### **I. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'AIR HUMIDE**

Une installation de climatisation a pour rôle de maintenir à des conditions fixées à l'avance l'état de l'air dans le local que l'on veut conditionner.

Pour ce faire, on utilise des procédés pour chauffer, refroidir, humidifier et déshumidifier l'air. Pour faciliter la représentation des transformations de l'air et le calcul des différents éléments de l'installation de climatisation on utilise le « diagramme psychrométrique » de l'air humide.

Un tel diagramme précise, pour tous les états que peut occuper l'air humide, ses caractéristiques physiques :

##### **1- Température de bulbe sec**

L'axe horizontal représente une grandeur fondamentale du diagramme psychrométrique que l'on appelle plus couramment :

température sèche =  $t_s$  (°C).

Les lignes verticales, appelées isothermes sont des lignes où la température sèche est constante.

##### **2- Humidité absolue**

L'axe vertical de droite représente cette autre grandeur fondamentale qui indique la teneur en vapeur d'eau de l'air considéré.

L'humidité absolue  $X$  (ou  $W$ ) s'exprime en g d'eau par kg d'air (g/kg).

Les lignes horizontales, appelées isohydes, sont des lignes à teneur en vapeur d'eau constante.

##### **3- Pression partielle**

L'axe vertical de gauche représente la pression partielle  $P$  de la vapeur d'eau contenue dans l'air considéré. Elle s'exprime en mbar (millibar) kPa (kilo Pascal).

La concentration en vapeur d'eau peut augmenter (en suivant une isotherme) jusqu' à ce que l'air atteigne l'état de saturation ; cet état est représenté par la courbe incurvée la plus à gauche qui permet de déterminer la pression de saturation  $P_{sat}$  lue sur l'axe des pressions.

##### **4- Température de rosée**

Si on se déplace à partir d'un point A du diagramme, sur une isohyde, de droite à gauche on atteint la courbe de saturation en un point appelé point de rosée, dont la température lue sur l'axe horizontal est la température de rosée de A :  $t_r$ .

## **5- Humidité relative**

L'air situé la ligne de saturation, citée plus haut, est saturé de vapeur d'eau. On dit que son humidité relative  $\varphi = 100\%$ . C'est une ligne à humidité relative constante.

Si l'on divise la teneur en vapeur d'eau, l'air se trouve sur une ligne saturée de moitié, c'est-à-dire à  $\varphi = 50\%$ .

On peut tracer ainsi un réseau de courbes à différentes valeurs d'humidité relative constante.

## **6- Enthalpie**

L'enthalpie  $h$  est la quantité de chaleur totale de l'air humide considéré. Elle s'exprime en kcal/kg ou en hJ/kg. On considère que l'air à une température  $t_s = 0^\circ\text{C}$  et une teneur en vapeur d'eau  $X = 0\text{g/kg}$  a une enthalpie  $h = 0\text{ kJ/kg}$ .

Le réseau de droites obliques perpendiculaires à l'échelle des enthalpies constitue des lignes à enthalpie constante, appelées isenthalpes.

## **7- Température humide**

Si d'un point A du diagramme on se déplace sur une isenthalpe on atteint la courbe de saturation en un point dont la température lue sur l'axe horizontal est appelée communément température humide  $t_h$  du point initial considéré.

On mesure les températures sèche et humide au moyen d'un thermomètre appelé psychromètre.

## **8- Masse volumique**

Les lignes légèrement inclinées vers la gauche sont des droites à masse volumique  $\rho$  constante. Elle s'expriment en kg/m<sup>3</sup>.

#### ***1.4. La détermination des caractéristiques physiques de l'air humide à l'aide du D.P***

*Pour déterminer exactement l'état dans lequel se trouve un air humide considéré pris à une pression barométrique donnée il suffit d'en connaître deux grandeurs physiques ; les autres peuvent être déterminées à l'aide du diagramme psychométrique.*

#### **Exemple :**

Positionner le point B (  $t_s = 25^\circ \text{C}$   
(  $\varphi = 50 \%$

*Déterminer toutes ses caractéristiques physiques.*

<i>Désignation</i>	<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Point B</i>
<i>Température de bulbe sec</i>	<i>ts</i>	<i>° C</i>	<i>25° C</i>
<i>Humidité absolue</i>	<i>X (W)</i>	<i>g/ kg</i>	
<i>Pression partielle</i>	<i>P</i>	<i>mbar kPA</i>	
<i>Température de rosée</i>	<i>tr</i>	<i>° C</i>	
<i>Humidité relative</i>	<i>HR</i>	<i>%</i>	<i>50 %</i>
<i>Enthalpie</i>	<i>h</i>	<i>kJ/ kg kcal/ kg</i>	
<i>Température de bulbe humide</i>	<i>th</i>	<i>° C</i>	
<i>Masse volumique</i>	<i>ρ</i>	<i>Kg/ m3</i>	

***II. Description de diverses évolutions de l'air***

## II.1. Evolution de l'air à travers de la batterie chaude

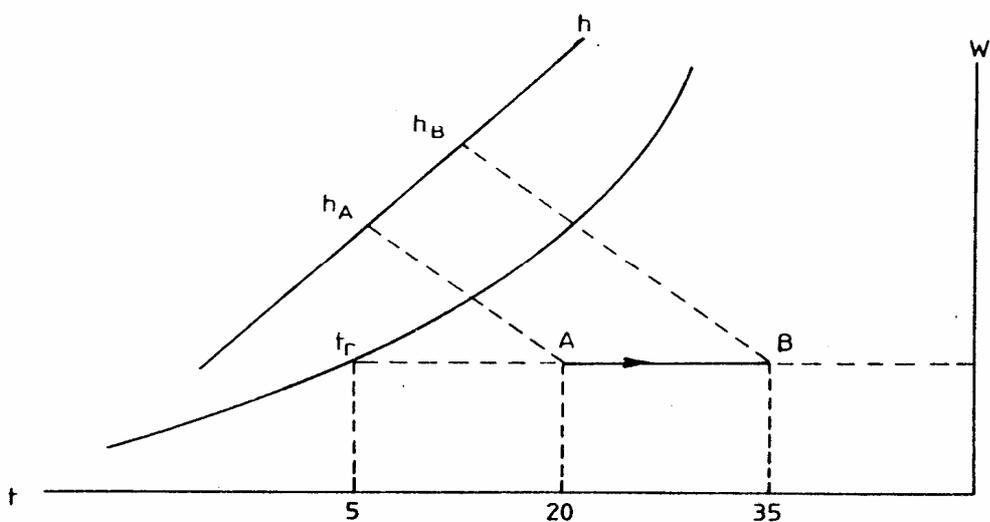
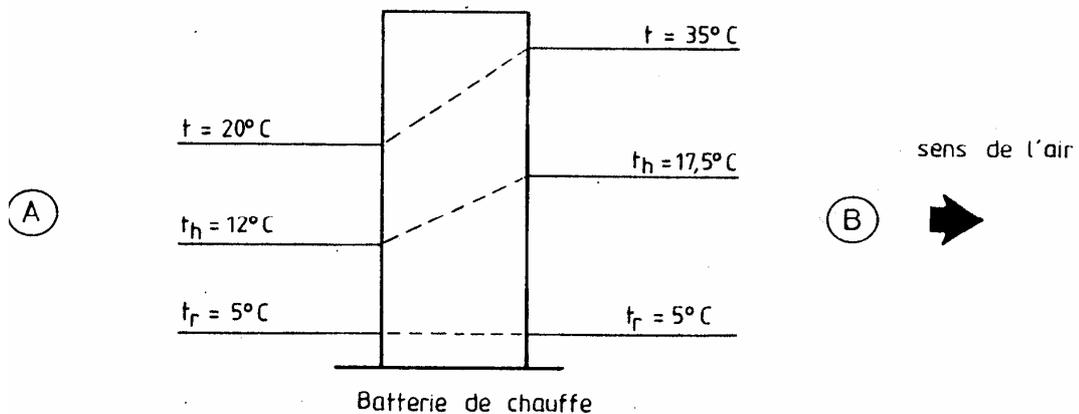
### CHAUFFAGE DE L'AIR

#### 1- Evolution de l'air

Le chauffage est représenté sur le diagramme psychométrique par une horizontale entre les points A et B.

On remarque que lorsque la température sèche  $t$  augmente :

- la température de rosée  $t_r$  reste constante
- l'humidité absolue  $X$  reste constante



## 2- Calcul de la puissance calorifique

La puissance calorifique  $P$  de la batterie de chauffe, c'est-à-dire la quantité de chaleur fournie par unité de temps, peut être calculée à partir de la formule générale

$$P = \rho \cdot C \cdot V \cdot \Delta t$$

avec  $\rho$  = masse volume de l'air considéré

$C$  = chaleur massique de l'air

$V$  = débit de l'air

$\Delta t = t_B - t_A$  = différence de température sèche entre la sortie et l'entrée de la batterie.

Systemes d'unités utilisés

$P$	$\rho$	$C$	$V$	$\Delta t$
$W$	$Kg/ m^3$	$Wh/ kg - ^\circ C$	$m^3/ h$	$^\circ C$
$kcal/ h$	$Kg/ m^3$	$kcal/ kg - ^\circ C$	$m^3/ h$	$^\circ C$

Les débits d'air indiqués dans les caractéristiques des équipements de climatisation sont basés sur un air dont l'état est dit « standard ». cet état correspond à la pression barométrique normale (1 013 mbar au niveau de l'eau), à une température sèche de 21° C et à un degré hygrométrique de 50 %.

La masse volumique de cet air standard est : 1,18 kg/ m<sup>3</sup>.

La chaleur massique est :

$$C = 0,24 \text{ kcal/ kg} - ^\circ C$$

$$C = 0,28 \text{ Wh/ kg} - ^\circ C$$

La formule générale donnée plus haut prend les formes suivantes selon le système d'unités :

$P$  en kcal / h

$$P = 0,29 \cdot \rho V \cdot \Delta t$$

$P$  en W

$$P = 0,34 \cdot \rho V \cdot \Delta t$$

(1)

On utilise parfois dans les calculs le débit masse  $M$  (kg) de l'air au lieu du débit volume :

$$M = \rho \cdot V \quad \text{et} \quad \boxed{P = M \cdot C \cdot \Delta t} \quad (2)$$

### **3- Calcul par le diagramme de l'air humide**

Il est évident, que la température de soufflage dans un local chauffé à l'air chaud, doit être supérieure à celle que l'on désire y maintenir. Cet air soufflé, en se refroidissant jusqu' à la température du local, libère une quantité de chaleur, qui doit être suffisante pour compenser les déperditions. Si l'air que l'on fait passer sur la batterie est uniquement de l'air de reprise, la quantité de chaleur libérée dans le local sera égale à la puissance calorifique de la batterie de chauffe. Par contre, si l'on admet une certaine quantité d'air extérieur, la puissance de la batterie de chauffe est supérieure à celle qui est libérée dans le local.

Des valeurs numériques sensiblement égales à celle résultant de l'application de la relation précédente peuvent être obtenues en utilisant le diagramme psychométrique. En effet, si sur la figure 1, on appelle  $h_A$  et  $h_B$  les enthalpies correspondant aux points A et B, on aura :

$$P = M (h_B - h_A)$$

$$\boxed{P = M \Delta h = \rho V \Delta h} \quad (3)$$

Systemes d'unités utilisés

$P$	$M$	$\Delta h$
$W$	$Kg/ h^3$	$Wh/ kg - ^\circ C$
	$Kg/ h^3$	$kcal/ kg - ^\circ C$
$kcal/ h$	$Kg/ h^3$	$kcal/ kg - ^\circ C$

#### **Remarque :**

Une telle transformation ne modifie que la chaleur sensible de l'air considéré.

## II.2. Evolution de l'air à travers de la batterie froide

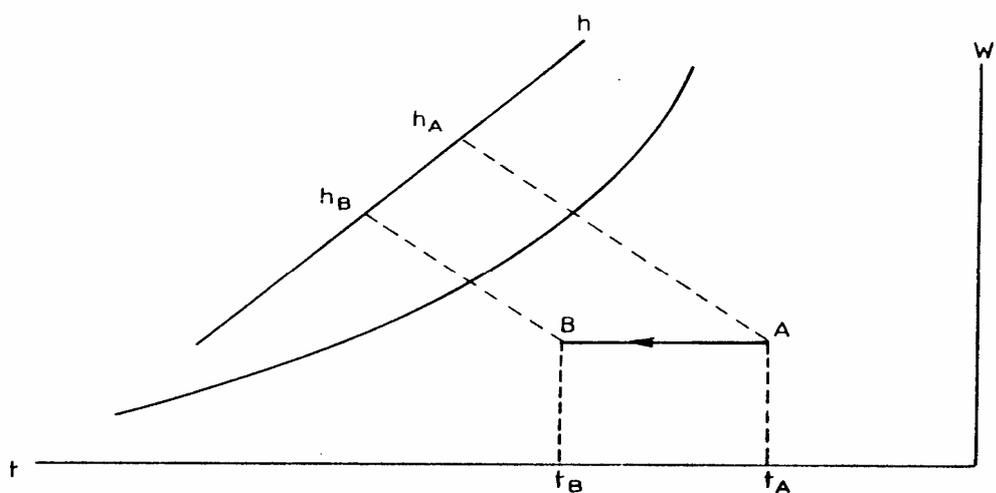
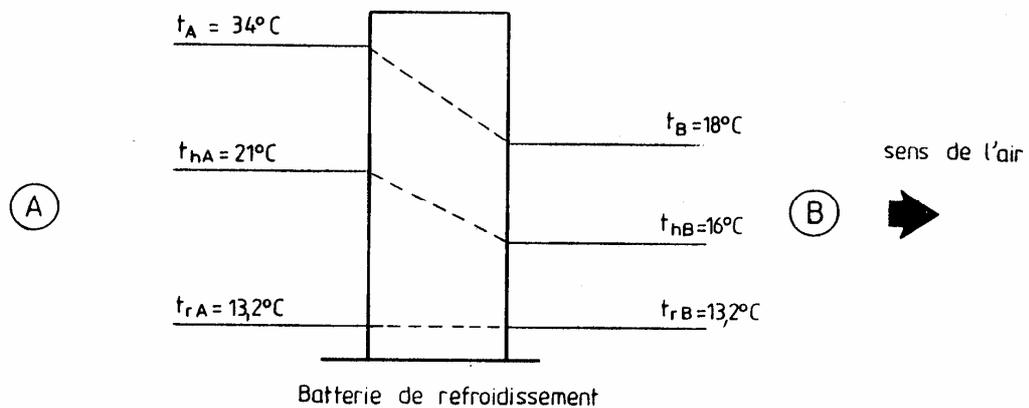
### REFROIDISSEMENT DE L'AIR

Le refroidissement est représenté sur le diagramme psychrométrique par une horizontale entre les points A et B.

Il s'agit donc d'une transformation inverse du chauffage.

On remarque que lorsque la température sèche diminue :

- la température de rosée reste constante
- l'humidité absolue reste constante



*Pour calculer la puissance d'une batterie de refroidissement on utilise les même formules que précédemment :*

$$P = 0,29 \cdot \rho V \cdot \Delta t \quad \text{avec} \quad \Delta t = t_A - t_B$$

$$\text{ou } P = M \cdot \Delta h \quad \text{avec} \quad \Delta h = h_A - h_B$$

**Remarque :**

*Une telle transformation ne modifie que la chaleur sensible de l'air considéré.*

## REFROIDISSEMENT + DESHUMIFICATION

Le refroidissement de l'air, à une température inférieure à son point de rosée, s'accompagne toujours d'une déshumidification.

La diminution de température sèche s'accompagne de :

- la diminution de la température de rosée
- la diminution de l'humidité absolue.

Une telle transformation modifie à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente de l'air considéré.

### **1- Batterie de réfrigération avec une efficacité de 100 %**

De l'air pris dans les conditions A :  $t_s = + 27^\circ \text{ C}$  et  $t_h : 20,3^\circ \text{ c}$  doit être refroidi aux conditions B :  $t_s = 10^\circ \text{ C}$ .

Le diagramme psychométrique permet de déterminer les caractéristiques des points A et B.

#### **Caractéristiques de A**

Température sèche	$t_s = + 27^\circ \text{ C}$
Température humide	$t_s = + 20,3^\circ \text{ C}$
Enthalpie	$t_s = + 14 \text{ kcal/ kg}$
Humidité absolue	$t_s = + 12,2 \text{ g/ kg}$
Température de rosée	$t_r = + 17^\circ \text{ C}$

#### **Caractéristique de B**

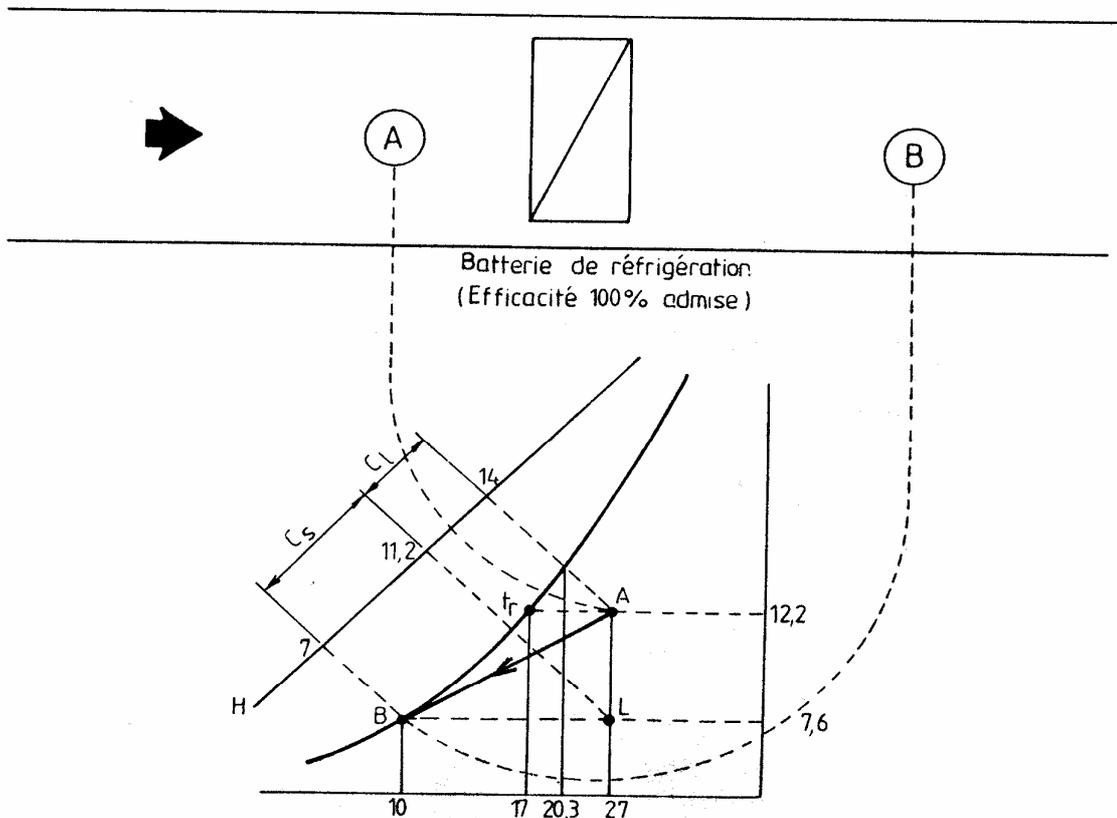
Température sèche	$t = + 10^\circ \text{ C}$
-------------------	----------------------------

Comme l'efficacité de la batterie est de 100 % le point de sortie se trouve sur la courbe de saturation

Enthalpie	$h = 7 \text{ kcal/ kg}$
Humidité absolue	$W = 7,6 \text{ g/ kg}$



Evolution de l'air humide



Sur le diagramme psychrométrique l'évolution de l'air humide est représenté par le segment de droite AB.

C'est la droite d'évolution de l'air

## Calculs par le diagramme

La différence des lectures respectives d'enthalpies des points A et B, soit  $+ 14 - (+ 7) = 7$  kcal représente la chaleur totale à enlever qui se compose de la chaleur latente et de la chaleur sensible.

- La chaleur latente est représentée par la portion « AL » de l'isotherme + 27 limitée par les 2 isohydes passant respectivement par les points A et B. l'écart d'enthalpies correspond :  $+ 14 - (+ 11,2) = 2,8$  kcal donne la quantité de chaleur représentée par la chaleur latente seule (partie C1).

- La chaleur sensible est représentée par la portion « LB » de l'isohyde passant par le point B. l'écart d'enthalpie correspond :  $+ 11,2 - (+ 7) = + 4,2$  kcal donne la quantité de chaleur représentée par la chaleur sensible seule (partie Cs).

- La chaleur totale :  $C1 + Cs = + 2,8 + 4,2 = + 7$  kcal

NOTA : Le coefficient de la pente ou valeur de la droite d'évolution de l'air est déterminé par le rapport :

$$S.H.F. = \frac{Cs}{Ct} = \frac{\text{Chaleur sensible}}{\text{Chaleur totale}}$$

Dans l'exemple ci-dessus :

$$S.H.F. = \frac{Cs}{Ct} = \frac{4,2}{7} = 0,6$$

La quantité d'eau enlevée est représentée par la différence des valeurs de teneur en eau entre l'air point B soit  $12,2 - 7,6 = 4,6$  g.

## **2- Batterie de réfrigération avec une efficacité inférieure à 100 %**

Dans ce cas, l'air sortant à  $+ 10^{\circ} \text{C}$  n'est pas sur la courbe de saturation, mais sur une autre courbe d'égale humidité relative de valeur inférieure.

C'est la connaissance des caractéristiques de la batterie qui permet de déterminer le point de sortie.

La prolongation de la droite d'évolution vers la courbe de saturation détermine à l'intersection une température dite température équivalente de surface de la batterie ( $t_{ES}$  ou a.d.p).

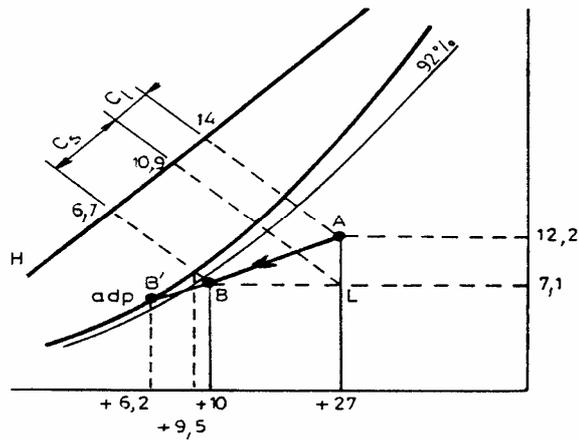
Cette température est choisie pratiquement de la manière suivante :

+ pour une batterie à détente directe dont la température d'évaporation est  $t_o$

$$t_{ES} = t_o + (4 \text{ à } 6)^{\circ} \text{C}$$

+ Pour une batterie à eau glacée dont les températures d'entrée et de sortie d'eau sont  $t_{EW}$  et  $t_{SW}$  :

$$t_{Es} = \frac{t_{sW} + t_{EW}}{2}$$



**Caractéristiques des points A et B**

	<i>Point A</i>	<i>Point B</i>
<i>Température sèche</i>	27° C	10° C
<i>Température humide</i>	20,3° C	9,5° C
<i>Température de rosée</i>	17° C	8,8° C
<i>Humidité absolue</i>	12,2 g/ kg	7,1 g/ kg
<i>Enthalpie</i>	14 kcal/ kg	6,7 kcal/ kg

Le point B' représente la température équivalente de surface de la batterie, soit 6,2° C.

### Caractéristiques de la batterie

- Chaleur sensible :  $C_s = 10,9 - 6,7 = 4,2 \text{ kcal/ kg}$

- Chaleur latente :  $Cl = 14 - 10,9 = 3,1 \text{ kcal/ kg}$

- Chaleur totale :  $C_t = C_s + Cl = 7,3 \text{ kcal/ kg}$

- Efficacité :  $E = \frac{BA}{B'A} \times 100$

$$E = \frac{19 \times 100}{27} = 70 \%$$

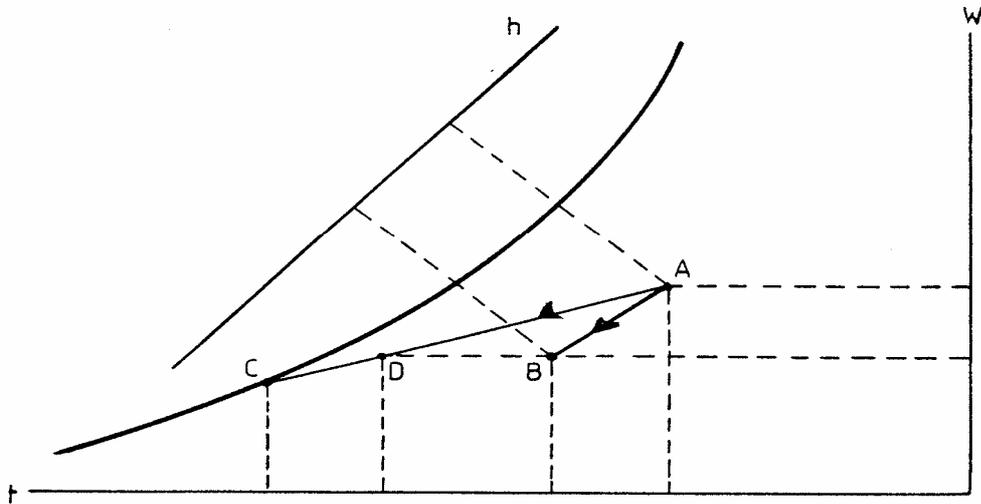
- Facteur de by-pass :

On utilise souvent ce facteur à la place de l'efficacité :

$$B.P.F. = \frac{BA}{B'A} \times 100$$

$$B.P.F. = 100 - E$$

### 3- Cas où la droite d'évolution de l'air ne coupe pas la courbe de saturation



On désire obtenir des conditions de soufflage B à partir d'un air A. La droite d'évolution de l'air AB ne coupe pas la courbe de saturation.

Pour obtenir le point B il faut d'abord procéder à un refroidissement avec déshumidification de A à D puis à un chauffage de D à B.

Le point D est situé sur une isohyde passant par B et sur la droite d'évolution de l'air, à travers la batterie de réfrigération, qui coupe la courbe de saturation en C.

Les points A, D et C nous permettent de déterminer les caractéristiques de la batterie froide :

- $T_{es}$  : température équivalente de surface
- $E$  : efficacité
- $P$  : puissance.

Les points D et B nous permettent de déterminer la puissance de la batterie de chauffage.

## II.3. Evolution de l'air à travers des humidificateurs

### HUMIDIFICATION PAR VAPEUR

Dans ce procédé d'humidification, la droite d'évolution suit une transformation pratiquement isotherme (légère variation de cette évolution suivant la pression de la vapeur d'eau admise).

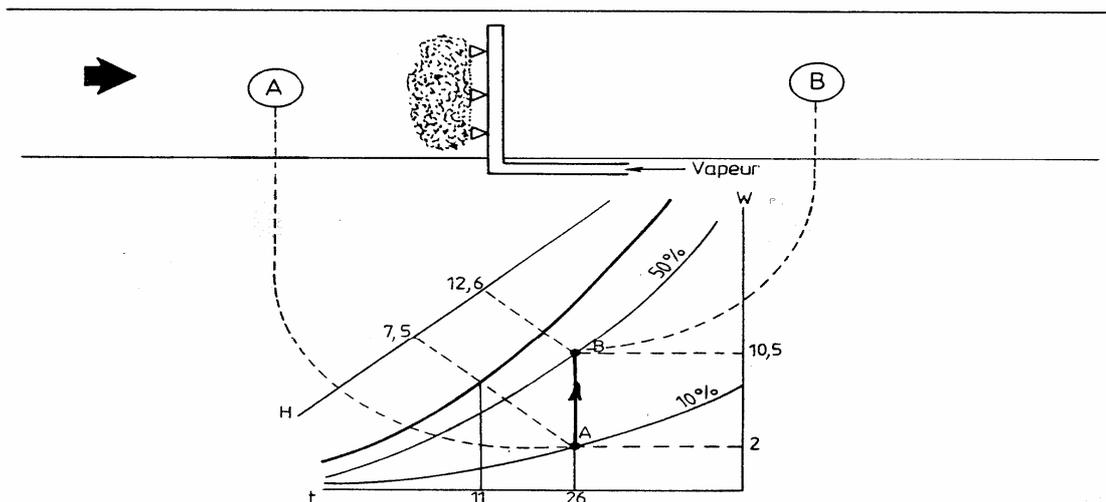
Il y a apport de chaleur latente sans modification de la chaleur sensible.

Cette méthode est utilisée pour contrôler l'humidité avec précision, ou pour injecter dans l'air de grande quantité d'humidité.

**Exemple** : porter à 50 % l'humidité relative d'un air

$t_s : + 26^\circ \text{C}$

$t_h : + 11^\circ \text{C}$



a) Localisation du point A :

température sèche :  $+ 26^\circ \text{C}$   
température humide :  $+ 11^\circ \text{C}$   
enthalpie :  $7,5 \text{ kcal/ kg}$   
teneur en eau :  $2 \text{ g/ kg}$

b) Localisation du point B :

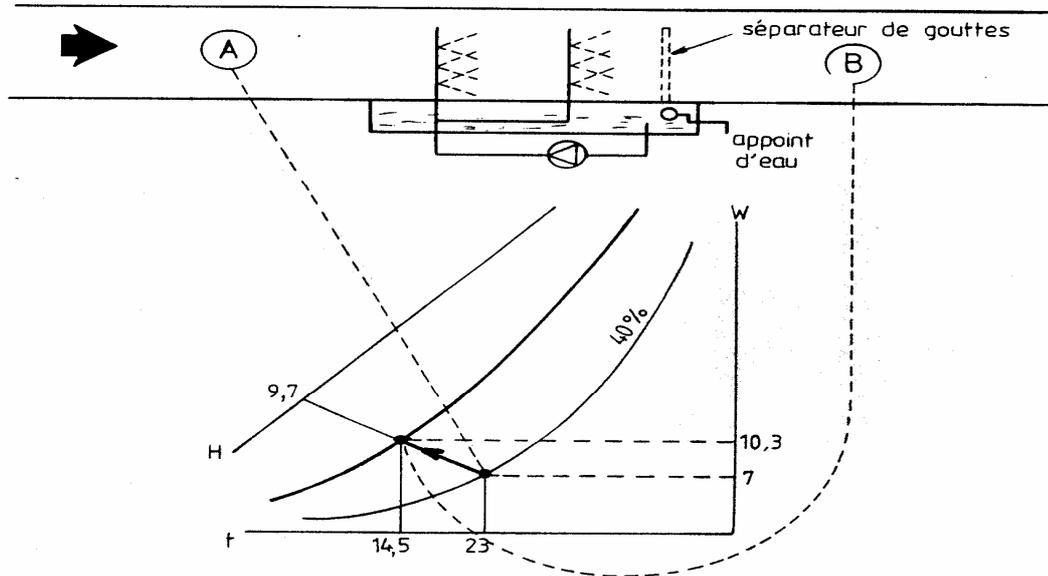
température sèche :  $+ 26^\circ \text{C}$   
température humide :  $50 \%$   
enthalpie :  $12,6 \text{ kcal/ kg}$   
teneur en eau :  $10,5 \text{ g/ kg}$

c) Cette opération nécessitera par kilo d'air à traiter :

un apport d'humidité de  $10,5 - 2 = 8,5 \text{ g d'eau}$   
un apport d'humidité de  $12,6 - 7,5 = 5,1 \text{ kcal/ kg}$   
(sans changement de température)

## HUMIDIFICATION PAR LAVEUR

### I. Laveur d'eau recyclée



Dans ce procédé d'humidification, la droite d'évolution de l'air suit une isenthalpe jusqu' à la courbe de saturation.

L'air se sature en humidité sans modification de sa chaleur totale.

**NOTA** : S'il n'y a pas modification de la chaleur totale, il y a cependant abaissement de la température de l'air traité, ce qui peut nécessiter son réchauffement pour certaines applications.

**Exemple** : Nouvelles caractéristiques d'un air à + 23° C, 40 % traité par un laveur à recirculation d'eau (caractéristiques constantes à l'entrée du laveur).

**Solution** :

Enthalpie	H : 9,7 kcal/ kg
Température humide	th : + 14,5° C
Teneur en eau de l'air entrant	W : 7 g/ kg
Teneur en eau de l'air sortant	W : 10,3 g/ kg

Ainsi, pour le cas cité, la différence entre 10,3 et 7, soit = 3,3 représente le poids d'eau à apporter par le laveur pour saturer chaque kilo d'air qui le traversera.

**NOTA** : Un tel laveur est calculé pour que le temps de contact de l'air avec les particules d'eau soit suffisant pour que l'air puisse se saturer.

**Remarques** :

1- En fonctionnement normal, la température de l'eau de ce type de laveur est très proche de la température humide de l'air traité.

2- En fait l'air traité par un laveur n'atteint jamais la courbe de saturation ; son efficacité n'est pas égale à 100 %, elle est au maximum égale à 95 %.

## II. Laveur à eau réchauffée

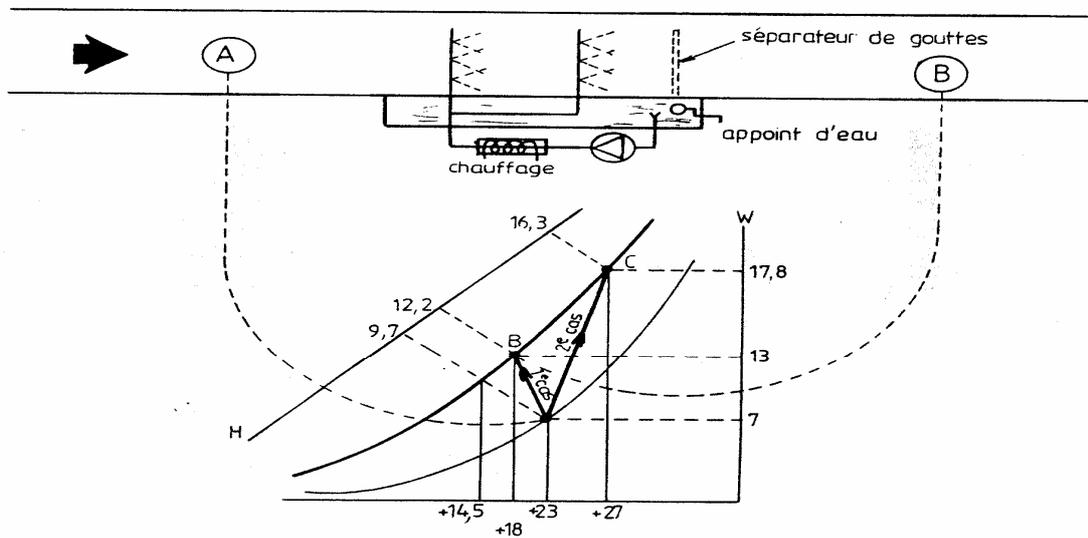
La température d'eau est maintenue supérieure à la température humide d'entrée d'air.

Dans ce procédé, en admettant que le temps de contact de l'air avec l'eau soit suffisant, la température de l'air se rapproche sensiblement de la température d'entrée d'eau. L'humidification n'est plus adiabatique (c'est-à-dire ne suit plus l'isenthalpe), il y a apport de chaleur. Mais selon que la température de l'eau sera supérieure ou inférieure à la température sèche de l'air, il y aura chauffage ou refroidissement.

**Exemple** : Nouvelles caractéristiques d'un air à + 23° C,  $t_h$  : 14,5° C traversant un laveur efficace alimenté par de l'eau maintenue :

a) à + 18° C

b) à + 27° C



Localisation point A (voir précédemment)

1er cas : Localisation point B :

$t^\circ$  sortie d'air =  $t^\circ$  d'eau = + 18° C  
sur courbe de saturation  
 $H = 12,2$  kcal/ kg  $W = 13$  g/ kg

**NOTA** : L'air sortant est plus froid  
que l'air entrant.

2e cas : Localisation point C :

$t^\circ$  sortie d'air =  $t^\circ$  d'eau = + 27° C  
sur courbe de saturation  
 $H = 16,3$  kcal/ kg  $W = 17,8$  g/ kg

**NOTA** : L'air sortant est plus chaud  
que l'air entrant.

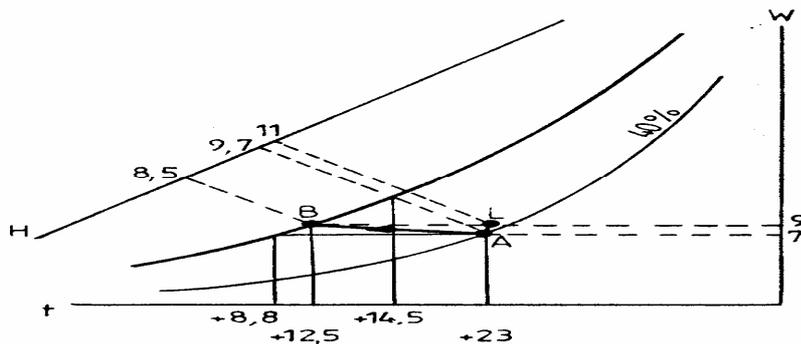
**Remarques** : L'utilisation d'eau chaude, ou le réchauffement de l'eau d'un humidificateur à recyclage, accroît l'efficacité de l'appareil.

### III. Laveur à eau refroidie

La température d'eau est maintenue inférieure à la température humide d'entrée d'air.

ce procédé d'humidification s'accompagnant alors d'un refroidissement de l'air ne peut fonctionner que pour les températures d'eau comprise entre le point de rosée et la température humide de l'air à traiter : en dessous du point de rosée, il y a déshumidification de l'air.

**Exemple :** Nouvelles caractéristiques d'un air à + 23° C 40 % traité par un laveur dont l'eau est maintenue à +12,5° C.



a) Localisation du point A (voir précédemment)

Pr = Point de rosée = + 8,8° C

b) Localisation du point B

Température sortie d'air = température d'eau = + 12,5° C (compris entre Pr = + 8,8° C et th = + 14,5° C)

h = 8,8 kcal/ lg W = 9 g/kg

**NOTA :** Il y a bien apport d'eau :  $9 - 7 = 2$  g/ kg

mais enlèvement de chaleur :  $9,7 - 8,5 = 1,2$  kcal/ kg

et abaissement de température de l'air de :  $+ 23 - (+ 12,5) = 10,5°$  C

**Explication complémentaire :**  $CT = CS + CL$

( Chaleur totale = Chaleur sensible + Chaleur latente)

CS =  $(9,7 \rightarrow 8,5) = 1,2$  kcal/ kg  
kcal/ kg

doit prendre le signe  
négatif  
chiffre

puisque l'on refroidit

soit :

(segment LB) soit : - 2,5

CL =  $(9,7 \rightarrow 11) = 1,3$  kcal/ kg

doit prendre le signe  
positif

puisque l'on humidifie

(segment AL) soit : + 1,3

CT =  $-2,5 + 1,3 = -1,2$

d'ou  
le signe négatif du

de la chaleur totale,

- 1,2

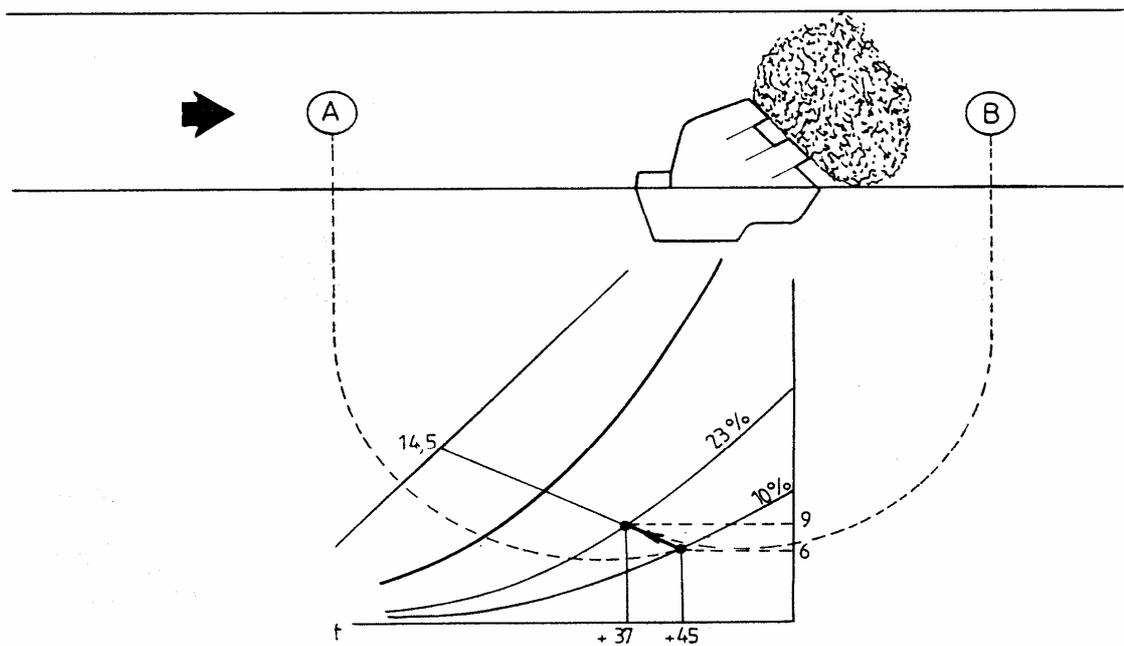
Il y a donc bien modification de la chaleur sensible dans le sens du refroidissement.

## HUMIDIFICATION PAR ATOMISATION

Atomiser l'eau, c'est la diviser mécaniquement en particules si petites que leur seule diffusion dans l'air puisse provoquer leur évaporation presque instantanée.

Lorsque au lieu d'un laveur, l'humidification est obtenue par atomisation de l'eau dans l'air à traiter, de telle façon que toute l'eau projetée puisse s'évaporer, l'évolution reste très près de l'adiabatique quelle que soit la température de l'eau utilisée (0 à 90° C).

**Exemple :** Ajouter 3 g d'eau par ce dispositif à de l'air à + 45° C 10 %.



a) Localisation du point A :

température sèche  $t_s$  : + 45° C  
 humidité relative  $\varphi$  : 10 %  
 enthalpie  $h$  : 14,5 kcal/ kg  
 teneur en eau  $W$  : 6 g/ kg

b) Localisation du point B :

température sèche  $t_s$  : + 37° C  
 humidité relative  $\varphi$  : 23 %  
 enthalpie  $h$  : 14,5 kcal/ kg  
 teneur en eau  $W$  : 6 + 3 = 9 g/ kg

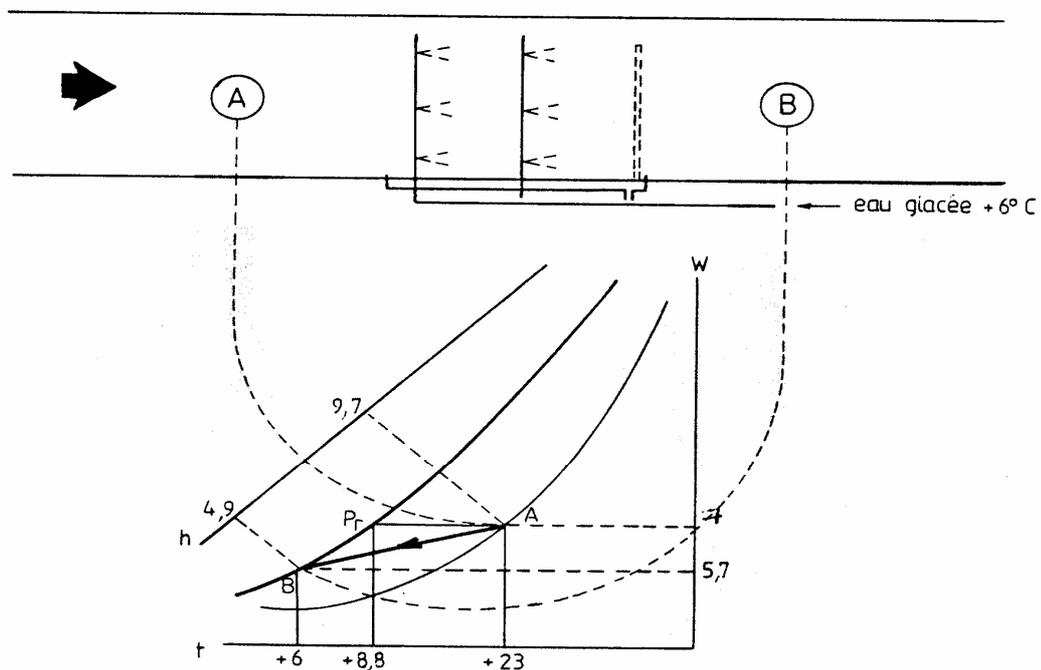
## II.4. Evolution de l'air à travers des déshumidificateur

### DESHUMIDIFICATION PAR LAVEUR

#### A CIRCULATION D'EAU GLACEE

La température d'eau est maintenue inférieure à la température humide d'entrée d'air.  
(L'appareil est supposé suffisamment efficace pour assurer une température de sortie d'air très près de la température d'entrée d'eau).

**Exemple :** Nouvelles caractéristiques d'un air à + 23° C 40 % traité par un laveur dont l'eau est maintenue à + 6° C.



a) Localisation du point A (voir précédemment).

b) ) Localisation du point B

température sortie d'air = température d'eau = + 6° C

teneur en eau  $W$  : 5,7 g/ kg

enthalpie  $h$  : 4,9 kcal/ kg

Il y a bien déshumidification :  $7 - 5,7 = 1,3$  g d'eau enlevés par kg d'air.

Il y a enlèvement de chaleur totale :  $+ 9,7 - (+ 4,9) = 4,8$  kcal/ kg et abaissement de la température d'air de :  $+ 23 - (+6) = 17°$  C.

## II.5. Evolution de l'air à travers d'un caisson de mélange

Déterminer l'état du mélange de deux quantités d'air n'ayant pas les mêmes caractéristiques.

A)  $t_s = 9^\circ$ ,  $\varphi = 100\%$   
8400 kg

B)  $t_s = 25,4 = 50\%$   
5100 kg  
(M) = ?

ou

$$\frac{MB}{AB} = \frac{PA}{PA + PB}$$

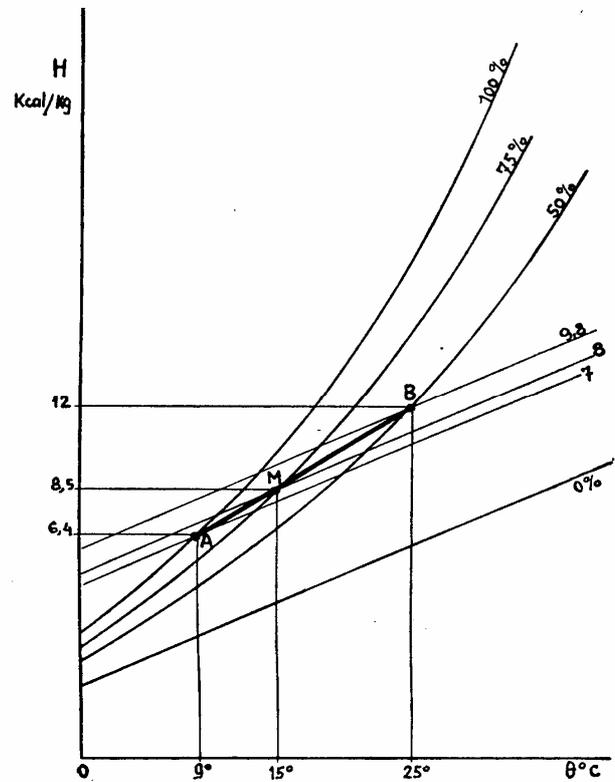
PA- poids des quantités d'air A  
PB- poids des quantités d'air B

$$\frac{MB}{AB} = \frac{8400}{13,500} \quad \frac{MB}{5,2cm} = 0,622$$

$$MB = 5,2 \times 0,622 = 3,235 \text{ cm}$$

(M)  $t_s = 15$ ,  $\varphi = 75\%$  13,500 kg

Ou  $t_m = \frac{PA \times t_a + PB \times t_s}{PA + PB}$



***III. Les calculs relatifs à l'évolutions de l'air dans un appareil de T.A.***

### III.1. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME DE CLIMATISATION :

pour choisir et dimensionner les appareils de climatisation, il faut tout d'abord déterminer un certain nombre de caractéristiques fondamentales.

Notre objectif est de suivre les évolutions de l'air sur le diagramme psychrométrique, mais ainsi de connaître la puissance et le débit des appareils à installer.

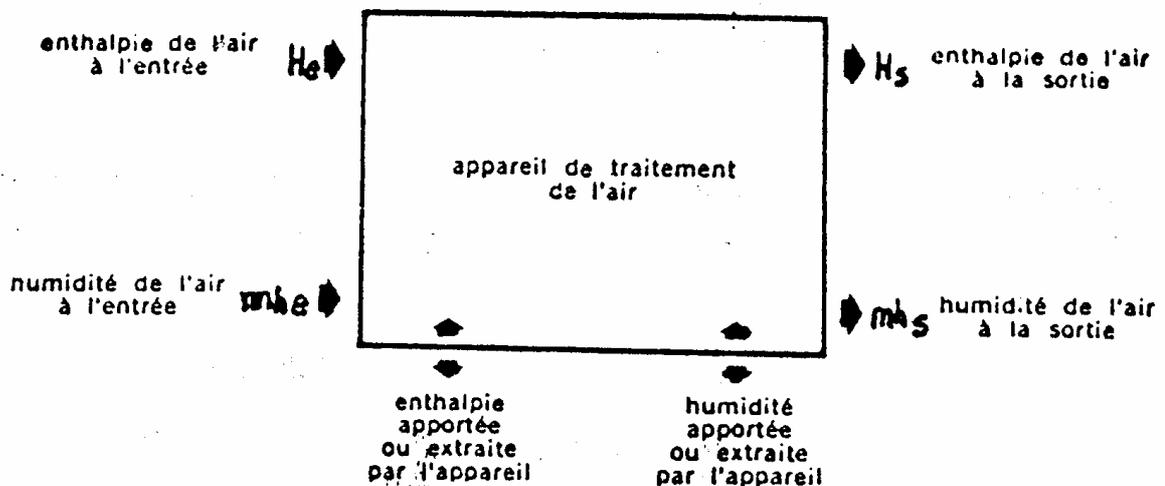
#### Différentes opérations de traitement d'air :

quelque soit le système, les 6 opérations fondamentales sont les suivantes :

- le réchauffage
- et le refroidissement
- l'humidification
- et la déshumidification (appelée aussi séchage)
- puis la filtration
- enfin le traitement acoustique (ou insonorisation)

Les 4 premières opérations modifient l'enthalpie  $h$  de l'air et l'humidité  $r$ .

#### Schéma général d'un traitement d'air :



Les fournitures d'enthalpie et humidité sont considérées positivement ; et négativement si elles sont enlevées à l'air.

### III.2 Bilan global du traitement d'air :

Rappelons que le débit massique de l'air, soit  $q_{mas}$ , reste constant au cours des différentes opérations de traitement d'air en [ kg/S ].

Rappelons également les relations :

$H = h \cdot q_{mas}$  et  $m_h = r \cdot q_{mas}$   
où  $h$  = enthalpie spécifique de l'air en J/ kgas  
et  $r$  = teneur en humidité de l'air en kg/ kgas.

L'air entrant dans l'appareil (voir schéma plus avant), a les caractéristiques suivantes :

$$H_e = h_e \cdot q_{mas} \quad \text{en [ W ]}$$

$$m_{he} = h_e \cdot q_{mas} \quad \text{en [ kg/ S ]}$$

L'air sortant a les caractéristiques :

$$H_s = h_s \cdot q_{mas} \quad \text{en [ W ]}$$

$$m_{hs} = r_s \cdot q_{mas} \quad \text{en [ kg/ S ]}$$

Faire le bilan du traitement d'air, c'est écrire :

- que l'enthalpie de l'air sortant  $H_s$  est égale à l'enthalpie de l'air entrant  $H_e$  + l'enthalpie  $H$  apportée ou extraite par l'appareil.

$$\text{donc } H_s = H_e + H \quad \text{en [ W ]}$$

$H > 0$  si enthalpie apportée par l'appareil

$H < 0$  si enthalpie extraite par l'appareil.

- que l'humidité contenue dans l'air sortant  $m_{hs}$  est égale à l'humidité de l'air entrant  $m_{he}$  + l'humidité  $M$  apportée ou extraite par l'appareil.

$$\text{donc } H_s = H_e + H \quad \text{en [ kg/S ]}$$

$M > 0$  si l'humidité apportée par l'appareil

$M < 0$  si enthalpie extraite par l'appareil

$$\text{D'où : } h_s \cdot q_{mas} = h_e \cdot q_{mas} + H$$

$$\boxed{h_s - h_e = \frac{H}{q_{mas}}}$$

ou

$$\boxed{H = q_{mas} (h_s - h_e)}$$

D'où également :

$$r_s \cdot q_{mas} = r_e \cdot q_{mas} + M$$

$$r_s - r_e = \frac{M}{q_{mas}}$$

ou

$$M = q_{mas} (r_s - r_e)$$

Ces relations sont fondamentales.

Il convient de noter que H et M peuvent être positifs ou négatifs.

### III.3 Grandeur caractéristique d'un traitement d'air :

On peut écrire :

$$\frac{h_s - h_e}{r_s - r_e} = \frac{H}{M}$$

qui s'exprime en [ J/ kg d'humidité ]

On appelle ce rapport le « rapport caractéristique d'un traitement d'air ».

On le désigne par le lettre j

$$\text{Donc } j = \Delta h / \Delta r = H / M$$

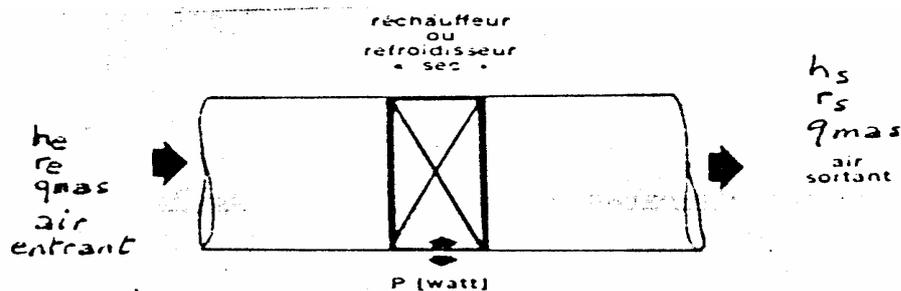
On remarque :

- que j ne dépend pas du débit massique d'air traité
- que j peut être positif ou négatif
- que j est le lien entre le calcul du système et sa représentation sur le diagramme de l'air humide.

### III.4 Etudes de cas :

#### A. Réchauffage (ou refroidissement d'air) sans échange d'humidité :

Soit un échangeur selon le schéma suivant :



$$\text{On a } h_s = h_e + H / q_{mas}$$

$$\text{et } r_s = r_e + M / q_{mas}$$

$$\text{D'où : } h_s = h_e + P / q_{mas}$$

$$r_s = r_e$$

La grandeur  $j = P/M$  est alors infinie ( $M = 0$ ),

+  $\infty$  en cas de réchauffage

-  $\infty$  en cas de refroidissement.

où  $H = P =$  puissance de la batterie en Watts.

où  $H = 0$ , car pas d'échange d'humidité.

**Exemple :**

- Débit d'air = 5000 [ m<sup>3</sup>/ h ] à 20 [ °C ] et 50% d'humidité
- Batterie froide de 5000 (fg/ h)
- On admet qu'il n'y a pas de condensation sur la batterie.

Lisons les caractéristiques de cet air sur le diagramme psychrométrique :

$$h_e = 38,46 \quad [ \text{kJ/ kgas} ]$$

$$r_e = 0,0072 \quad [ \text{kg/ kgas} ]$$

$$v_e = 0,84 \quad [ \text{m}^3/ \text{kg} ]$$

On détermine :  $q_{\text{mas}} = 5000/ 0,84 = 5952 \quad [ \text{kgas/ h} ] = 1,65 \quad [ \text{kgas/ S} ]$

L'air de sortie a une enthalpie  $h_s$  telle que:

$$h_s = 9,2 - 5000/5952 = 8,36 \quad [ \text{kcal/ kgas} ]$$

$$= 34,94 \quad [ \text{kcal/ kgas} ]$$

Pour l'humidité,  $r_s = r_e = 0,0072 \quad [ \text{kg/ kgas} ]$

On détermine les conditions de sortie d'air sur le diagramme :

$$\theta = 16,5 \quad [ \text{°C} ]$$

$$HR = 63 \quad [ \% ]$$

et  $j = - 5000/0 = - \infty$

## **B. Humidification (ou déshumidification sans échange d'enthalpie :**

On appelle ces transformations « adiabatique ».

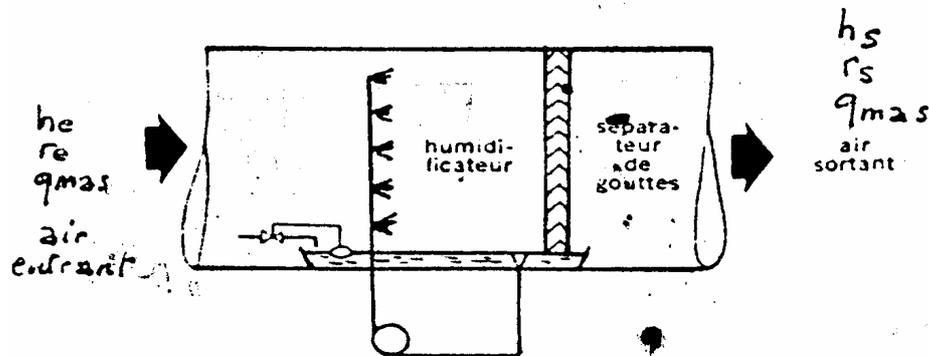
L'humidificateur vaporise ou condense complètement dans l'air traité une certaine quantité d'humidité, soit  $M$  [ kg/S ].

Dans ce cas :  $h_s = h_e$  (enthalpie constante)

$$\text{et } r_s = r_e$$

$$\text{Alors } j = H/M = 0$$

### **Schéma de l'humidification sans échange d'enthalpie :**



### **Exemple :**

Soit un air de débit (5000 m<sup>3</sup>/h) et de caractéristiques (20° C et 50 %) identiques à l'exemple précédent, mais traversant un humidificateur adiabatique de débit d'humidification = 10 [ kg/h ]

$$\begin{aligned} \text{An l'entrée : } h_e &= 38,46 \quad [ \text{kJ/kgas} ] \\ r_e &= 0,0072 \quad [ \text{kg/kgas} ] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A la sortie : } h_s &= h_e = 38,42 \quad [ \text{kJ/kgas} ] \\ r_s &= 0,0072 + 10/5952 \\ r_s &= 0,0089 \quad [ \text{kg/kgas} ] \end{aligned}$$

On lit sur le diagramme :

$$\theta = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$HR = 81 \text{ [\%]}$$

### **C. Réchauffage (ou refroidissement) avec humidification de l'air :**

Dans ce cas, les appareils réchauffent (ou refroidissent) puis humidifient l'air traité.

L'humidification est assurée par l'eau ou la vapeur, qui apporte ou extrait une certaine enthalpie, telle que :

$$H_h = M \cdot h_h$$

ou  $H_h$  = enthalpie apportée ou extraite dans l'humidificateur [ W ]

$M$  = débit d'humidification [ kg/S ]

$h_h$  = enthalpie de l'eau ou de la vapeur [ J/ kg ]

#### **Cas de l'eau :**

$$h_h = C \cdot \theta \text{ avec } C = 1 \text{ [ kcal/ kg } \cdot \text{ }^\circ\text{C} \text{ ]}$$
$$= 4,18 \text{ [ kJ/ kg } \cdot \text{ }^\circ\text{C} \text{ ]}$$

donc  $H_h = M \cdot \theta$  en [ kcal/ h ]

ou  $H_h = 1,16 M \cdot \theta$  en [ kcal/ h ]

#### **Cas de la vapeur :**

$$H_h = M \cdot h_v$$

ou  $h_v$  = enthalpie de la vapeur utilisée.

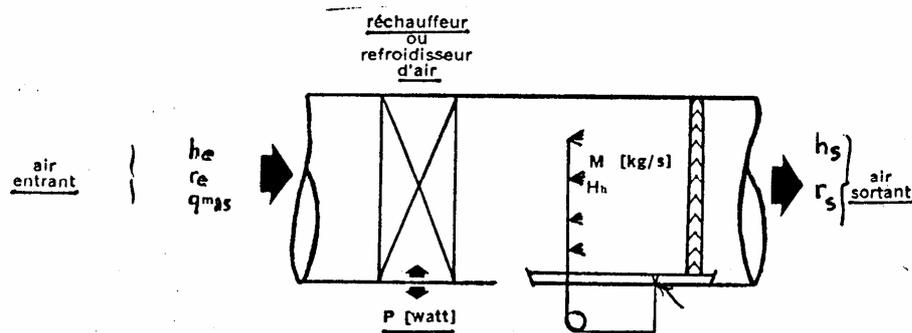
Donc le traitement d'air apporte (ou extrait, une enthalpie totale de  $Q = P + H_h$  en [ W ].

Dans ce cas :

$$h_s = h_e + (P + H_h) / q_{mas}$$

$$r_s = r_e + M / q_{mas}$$

et le rapport  $j = (h_s - h_e) / (r_s - r_e) = (P + H_h) / M$



**Exemple:**

- Débit d'air = 2,78 [ kgas/ S ] réchauffé par une batterie de 23,2 kW, puis humidifié avec de l'eau à 10°C et un débit d'humidité de 20 [ kg/ h ] de manière non adiabatique.
- Air entrant à 10°C ET 60%
- Caractéristiques de cet air à l'entrée :

$$h_e = 21,53 \text{ [ kJ/ kgas ]}$$

$$r_e = 0,0046 \text{ [ kg/ kgas ]}$$

L'enthalpie apportée à l'air traité est de :

$$Q = 23\,200 + 1,16 \cdot 20 \cdot 10 = 23\,432 \text{ [ W ]}$$

Donc, l'air à la sortie a les caractéristiques suivantes :

$$h_s = 21,53 + 23,432 / 2,78 + 29,96 \text{ [ kJ/ kgas ]}$$

$$r_s = 0,0046 + 20 / (3600 \times 2,78) = 0,0066 \text{ [ kg/ kgas ]}$$

On lit sur le diagramme :

$$\theta = 13^\circ\text{C}$$

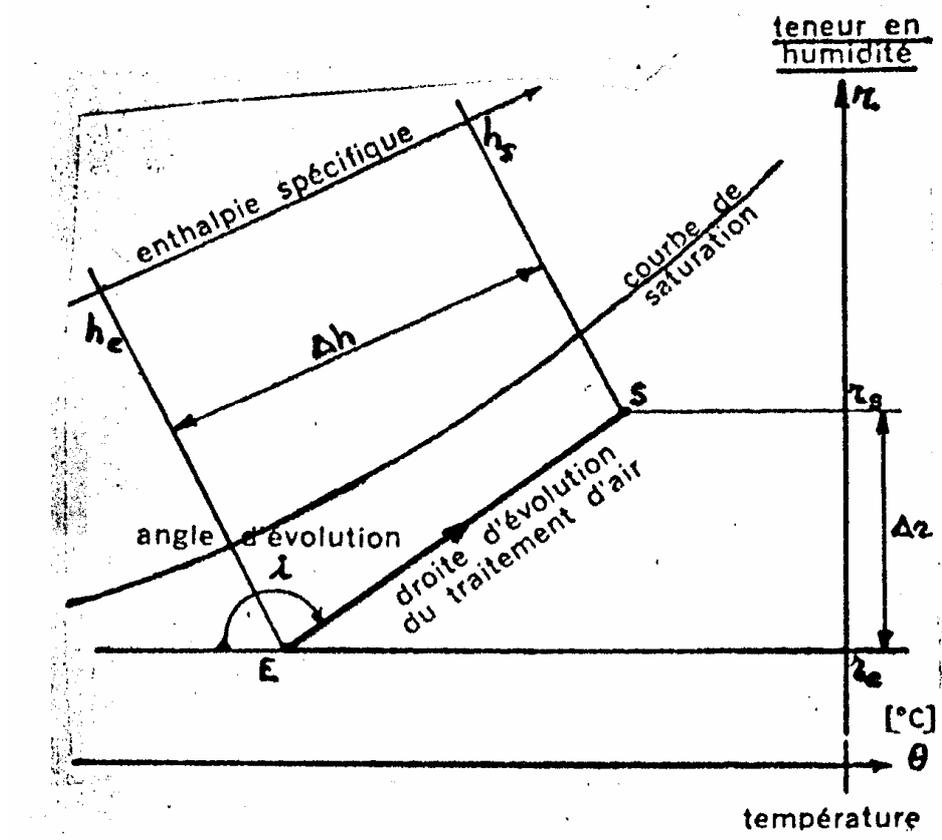
$$\varphi = 71\%$$

$$\text{et } j = 23,432 \times 3600 / 20 = 4218 \text{ [ kJ/ kgas ]}$$

### III.5 Angle d'évolution d'un traitement d'air :

Nous avons vu précédemment que  $j = \Delta h / \Delta r$   
où  $\Delta h$  = modification d'enthalpie spécifique  
 $\Delta r$  = modification d'humidité

Sur la figure ci-après, on lit  $i$  = angle d'évolution, angle qui détermine « l'inclinaison » de la droite d'évolution :



Il est possible d'établir une correspondance entre  $i$  et  $j$  en fonction du type de traitement d'air :

Type de traitement	$\Delta h$	$\Delta r$	$j$	$i$
Réchauffage simple	$> 0$	$0$	$+\infty$	$180$
Refroidissement simple	$< 0$	$0$	$-\infty$	$0$
Humidification adiabatique	$0$	$> 0$	$0$	$33$
Refroidissement et déshumidification	$< 0$	$< 0$	$> 0$	$33 < i < 180$
Réchauffage et humidification	$> 0$	$> 0$	$> 0$	$33 < i < 180$

$\Delta h$  en [kJ/kgas]

$\Delta r$  en [kg/kgas]

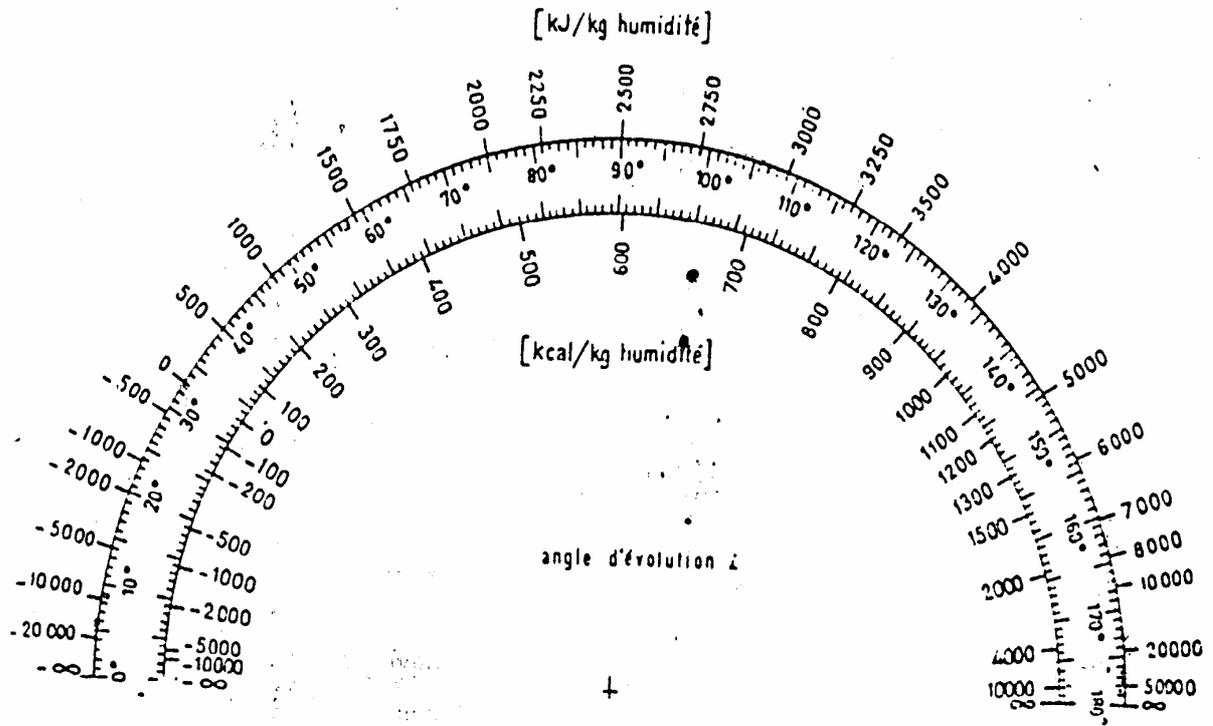
$j$  en [kJ/kgas]

$i$  en [degrés]

Donc en conclusion, à chaque valeur du rapport caractéristique  $j$  d'un traitement d'air particulier correspond une valeur bien déterminée de l'angle d'évolution  $i$  (sur le diagramme de l'air humide).

On peut ainsi tracer la « droite d'évolution » correspondante.

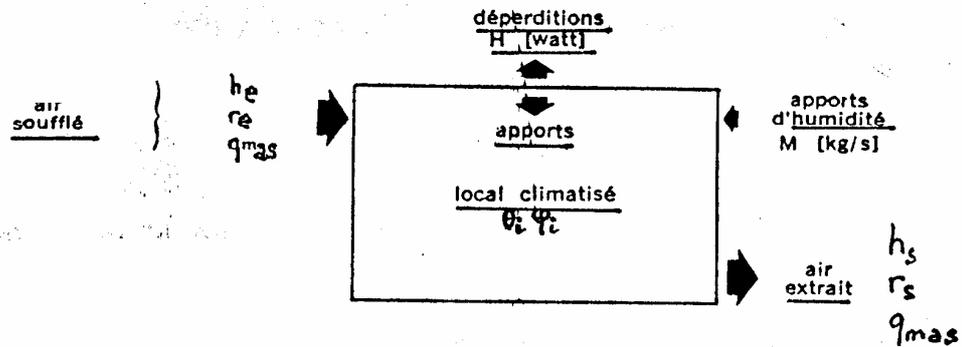
Il est souhaitable d'utiliser le diagramme ci-après, qui permet de lire directement la correspondance entre  $j$  et  $i$  :



***IV. Les calculs relatifs à l'évolutions de l'air dans un local climatisé.***

## IV.1 Bilan d'un local climatisé

Bilan d'un local climatisé :



Dans ce cas :

$$h_s = h_i$$

$$r_s = r_i$$

$$\text{d'où } h_i = h_e + H_0/q_{mas} \quad [J/kgas]$$

$$\text{et } r_i = r_e + M/q_{mas} \quad [kg/kgas]$$

Nous avons à nouveau :

$$q_{mas} = \frac{H_0}{h_i - h_e} = \frac{M}{r_i - r_e}$$

$$\text{d'où } j = \frac{h_i - h_e}{r_i - r_e} = \frac{H_0}{M}$$

Ce rapport est extrêmement important, car il va nous permettre de représenter sur le diagramme de l'air humide l'évolution de l'air soufflé à l'intérieur du local.

### Exemple :

Soit un local ayant en hiver des déperditions de 4640 [ W ], des apports dus aux occupants de 580 [ W ] et de 0,25 [ kJ/h ] d'humidité, et dont les conditions intérieures sont de 20°C et 50 %.

Déterminer la valeur de  $j$  et les caractéristiques de l'air soufflé (de débit 1000 kg/h).

Nous avons :  $j = H_0 / M$

$$\text{Avec } H_0 = -4640 + 580 = -4060 [ W ]$$

$$M = + 0,25 / 3600 = 0,0000694 [ kg/S ]$$

$$j = - 4060 / 0,0000694 = 58,5 \cdot 10^6 [ J/kg ]$$

$$= 58500 [ kJ/ kg ]$$

On lit sur le diagramme:

$$h_i = 38,46 [ kJ/ kg ]$$

$$r_i = 0,0072 [ kg/ kgas ]$$

Calcul des caractéristiques de l'air soufflé:

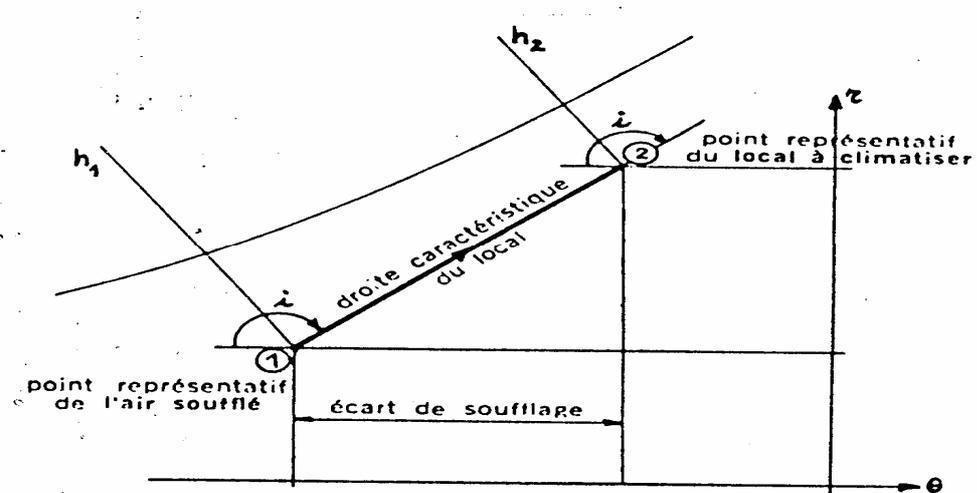
$$h_e = h_i - H_0/q_{mas} = 38,46 + 4,06 \times 3600/1000$$

$$h_e = 53,08 [ kJ/ kg ]$$

$$r_e = r_i - M/q_{mas} = 0,0072 - 0,25/1000$$

$$r_e = 0,0070 [ kg/ kgas ]$$

## IV.2 Droite d'évolution de l'air soufflé dans le local climatisé :



Sur cette droite, se trouvent :

- le point 1, représentant l'air soufflé
- le point 2, représentant les conditions à réaliser dans le local.

La distance horizontale entre 1 et 2 représente « l'écart de soufflage ».

### Remarques :

- Si le dégagement d'humidité dans le local est nul, alors la droite caractéristique est horizontale.
- L'inclinaison de cette droite est plus ou moins grande selon l'importance relative du dégagement d'humidité.

***V.Principe de fonctionnement des appareils de T.A.***

## **V.1. Les filtres**

---

### **V.1.1 Méthode De Filtration De L'air**

*Tout air utilisé en climatisation doit être filtré pour maintenir une atmosphère propre dans l'espace climatisé. L'air de l'extérieur contient toujours un certain nombre de contaminant, tels que bactéries, pollens, insectes, suie, cendre, poussière et impuretés. L'air de retour contient des contaminant tels que poussière d'intérieur, peluche, suie et cendre. La concentration de ces contaminant dans l'air, et le degré de propreté exigé dans l'espace climatisé déterminera le type de filtre(s) devant être utilisé(s).*

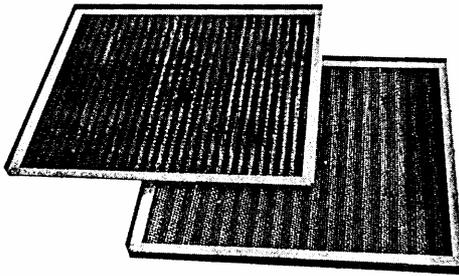
*les contaminant dans l'atmosphère peuvent avoir des dimensions allant d'un minimum inférieur à 0.01 micron jusqu'à dimensions telles qu'ils peuvent être arrêtés par une grille normale de fenêtre : tel est le cas des peluches, feuilles, insectes et plumes. On peut inclure dans cette liste toutes les formes et toutes les dimensions. Egaleme nt peuvent y être inclus des fumées ou vapeurs et des organismes vivants tels que virus et spores de moisissures*

*La variété infinie des contaminant rend impossible de concevoir un type d'épurateur d'air qui soit idéal pour toutes les applications. Par conséquent, beaucoup de types de filtres à air ou épurateurs ont été étudiés pour satisfaire aux besoins des diverses applications.*

### **V.1.2 Type des filtres**

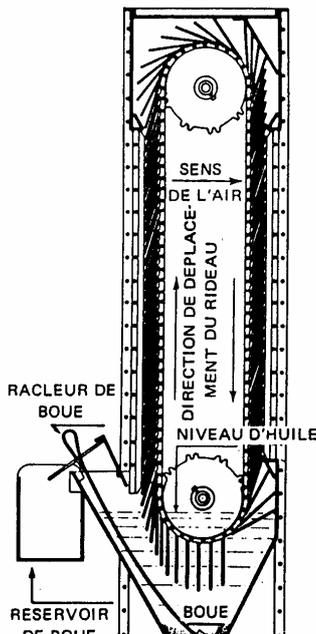
*On peut diviser ces filtres en trois classes : (1) type à huile à choc, (2) filtres à air du type sec, (3) dépoussiéreurs d'air électroniques.*

*Les filtres du type à huile à choc peuvent encore être subdivisés en : (a) type à jeter, (b) type netto yable et, (c) type à rideau ou à rouleau. Voir les figures , 2 et 3.*



**FIGURE 2**  
**FILTRE A AIR DU TYPE**  
**NETTOYABLE**  
 (Compagnie American Air

Ces deux écrans. Cette matière peut être de la fibre de verre filée, de la laine d'aluminium ou de cuivre, des poils d'animaux, des fibres de chanvre, du feutre, et d'autres matériaux. Toutes la surface de cette matière est généralement enduite d'une matière visqueuse adhésive. La matière est parfois agglomérée d'une façon plus serrée du côté où l'air sort de sorte que les contaminant soient répartis d'une façon plus uniforme à travers le filtre, ce qui tend à prolonger sa durée de vie. Lorsque la matière filtrante devient chargée d'impuretés, ce qui est indiqué par une augmentation de la chute de pression à travers le filtre, on la sort, on la jette, et on la remplace par une neuve.

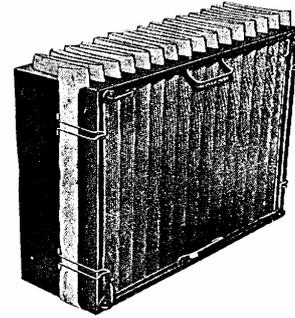


**FIGURE 3**  
**FILTRE A AIR DU TYPE A**  
**ROULEAUX**  
 (Compagnie American Air  
 Filter

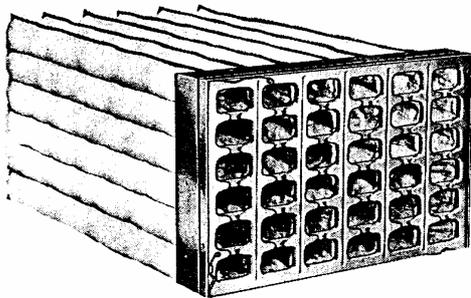
Le type visqueux nettoyable est fabriqué d'une manière très semblable au type à jeter, sauf que les écrans et les cadres sont entièrement en métal. La matière filtrante est généralement constituée d'un certain ombre d'écrans disposés en zig-zag dans lesquels les surfaces des ouvertures diminuent à partir du côté entrée jusqu'au côté sortie. Lorsque le filtre devient charge ou rempli d'impuretés, on le retire du service et on le remplace par une autre section. Le filtre sale est alors lavé dans une solution nettoyante dans un bac, séché et puis plongé dans un bain d'huile visqueuse. L'huile en excès s'égoutte et le filtre propre est stocké pour un usage ultérieur.

Les filtres du type à rouleaux ou à rideau consistent en deux rouleaux, situés l'un en haut du passage e l'air, l'autre en bas. La matière filtrante peut être du type à jeter ou du type à nettoyer. Lorsque cette matière est du type à jeter, elle est faite d'un rouleau que l'on place sur le rouleau supérieur, qu'on étend vers le bas à travers l'écoulement d'air et qu'on réenroule sur le rouleau du bas après qu'il a ramassé les impuretés, etc. se trouvant dans l'air. Quand le rouleau tout entier a été enroulé sur le rouleau inférieur, on l'enlève, on le jette et on replace un rouleau propre sur le rouleau du haut. Les rouleaux peuvent être entraînés par un petit moteur à faible vitesse, ou bien on peut les faire tourner à la main lorsqu'on le désire.

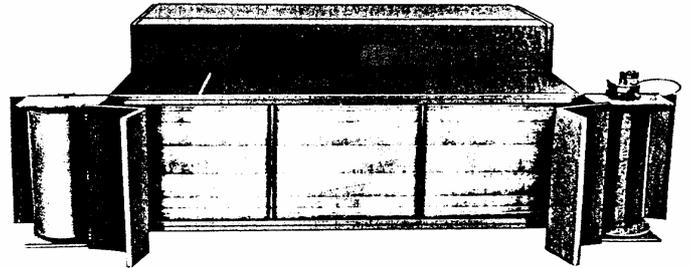
*Le type à jeter peut être enlevé et jeté lorsqu'il est saturé d'impuretés et de contaminant. Les cadres de ce type de filtre sont généralement en carton avec un écran en métal déployé ou matière plastique*



**FIGURE 4**  
**FILTRE A AIR AVEC MEDIA A JETER , DU**  
**TYPE SEC**  
*(Compagnie American Air Filter)*



**FIGURE 5**  
**FILTRE A MATIERE FILTRANTE**  
**REPLACABLE DU TYPE A POCHE**  
*(Compagnie American Filter)*



**FIGURE 6**  
**FILTRE A AIR TRANE DU TYPE**  
**ROTATIF**

La matière filtrante nettoyable dans un filtre du type à rouleaux consiste en plaques métalliques attachées à une chaîne qui se déplace sur des roues dentées sur les rouleaux du haut et du bas. Un bain d'huile est installé sous le rouleau du bas. Lorsque les plaques trempent dans le bain d'huile, elles sont nettoyées et réenduites de cette huile visqueuse. Les rouleaux sont entraînés de cette moteur électrique. La chaîne du filtre tourne de façon continue chaque fois que le système de climatisation est en fonctionnement. Les impuretés et contaminant sont déposés dans le fond du carter d'huile, par conséquent, exige d'être nettoyé souvent.

Les filtre à air du type sec sont équipés d'une matière filtrante jetable et on peut les classer soit comme fixés, soit comme tournants. Ceux du type fixe sont fabriqués en deux versions. L'une d'elles utilise un tapis dense en fibre de verre, fibres de cellulose ou de coton, qui est maintenu en position dans le courant d'air par des cadres en 'V'. l'autre version utilise une matière filtrante en fibre de coton en forme de poche avec l'air circulant à travers les poches à partir de l'intérieur. Quand l'un quelconque de ces types est rempli d'impuretés, on le remplace avec de la matière filtrante propre et on jette la vieille. Voir les filtres 4 et 5.

Le type tournant est semblable au type à choc rotatif utilisant des rouleaux de fibre de coton qui se déplace d'un rouleau à l'autre. La principale différence réside dans le fait que la matière filtrante est sèche. Voir figure 6.

Les dépoussiéreurs d'air électroniques sont de deux types: (1) ceux qui donnent aux particules de poussière une charge en les faisant passer à travers une zone ionisante, (2) ceux qui utilisent un milieu chargé électriquement pour électrifier les particules.

Dans le premier type, des plaques métalliques séparées entre elles par de petits espaces sont disposées parallèlement à l'écoulement de l'air, où des plaques adjacentes ont une polarité opposée. On réalise ceci en chargeant les plaques alternées d'environ 12 000 volts courant continu et en mettant les autres plaques à la terre. Des fils verticaux ayant une charge positive élevée précèdent de quelques cm les groupes de plaques. Toute particule traversant le filtre à air électronique recevra une charge positive et sera attirée vers les plaques chargées négativement. Pour nettoyer les plaques, on débranche la source de tension et on les lave avec de l'eau chaude ou un solvant. Après avoir lavé les plaques, on leur donne une couche d'adhésif avant de les remettre en service. Dans ce type d'installation un écran à maille de 16 est placé en amont du filtre pour empêcher les oiseaux, insectes, feuilles et morceaux de papier, d'entrer dans le dépoussiéreur d'air. Dans bien des cas, un groupe de filtres secs à jeter est installé en amont du dépoussiéreur d'air électronique pour empêcher les grosses particules d'y pénétrer. A cause de la haute tension, on devra prendre toutes les précautions pour s'assurer que le courant est coupé lorsqu'on entrera dans la salle du filtre pour le service ou le nettoyage. Voir figure 7.

Dans le type de filtre à matière filtrante chargée, la fibre de verre est maintenue dans des cadres non conducteurs et installée dans un groupe en forme de 'V' disposé sur la gaine d'entrée d'air vers l'unité de climatisation. Ces cadres sont maintenus entre une grille chargée positivement et le cadre métallique support mis à la terre. La charge la matière filtrante est de 10 000 à 12 000 Volts continus et provoque l'attraction des particulière par la matière filtrante. Ce type de filtre possède un avantage du fait que si le redresseur de courant tombe en panne, la matière filtrante est encore efficace en fonctionnant comme un filtre à choc pour le nettoyage de l'air. Ce type de filtre est illustré sur la figure 8.

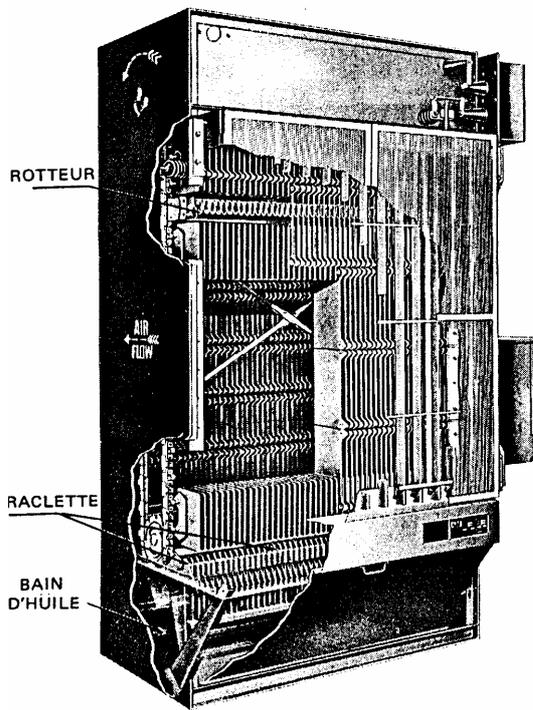


FIGURE 7  
 FILTRE A AIR ELECTRONIQUE  
 (Compagnie American Air Filter)

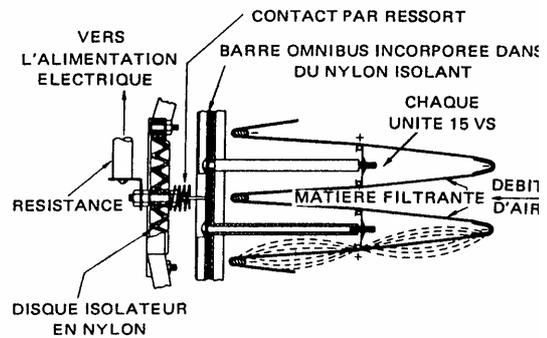
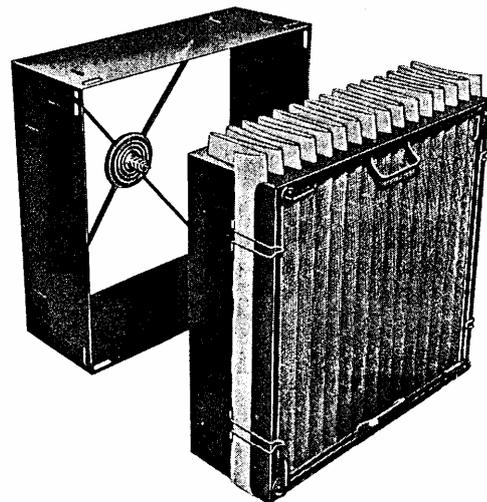


FIGURE 8  
 FILTRE DU TYPE A MATIERE FILTRANTE CHARGEE  
 (Compagnie American Air Filter)

## V.2 Les batteries

### V.2.1 Méthodes de transfert de chaleur

Il existe en général deux méthodes pour transférer de la chaleur ou du froid, vers l'air, ou en provenance de celui-ci, dans un système de climatisation. Ce sont les batteries avec tube à ailettes et les laveurs d'air.

Les batteries avec tube à ailettes sont largement utilisées pour refroidir l'air en utilisant de l'eau froide ou des réfrigérants et pour le réchauffer en utilisant de la vapeur ou de l'eau chaude. Ils doivent leur popularité à leur faible encombrement et à leur facilité d'installation.

Lorsque, dans les batteries, l'eau est à une température plus basse que le point de rosée de l'air entrant, l'humidité en provenance de l'air se condense. Ainsi, on pourra utiliser des batteries pour déshumidifier aussi bien que pour refroidir.

La surface de la section droite des batteries, c'est à dire la surface perpendiculaire à la direction du courant d'air, est généralement basée sur une vitesse de l'air d'environ 2,5 m/s à 3,5 m/s. toutefois, on utilise quelquefois des vitesses plus élevées, la perte par frottement, et donc la puissance nécessaire pour faire circuler l'air à travers la batterie s'en trouve augmentée. C'est pourquoi on limite généralement la vitesse maximum de l'air à travers la batterie à environ 3,5 m/s. Sur la plupart des installation de refroidissement, 4 à 10 rangées de tubes sont nécessaires. Bien que la surface de la section droite requise, tant pour les batteries, que pour les laveurs d'air, soit à peu près la même, l'épaisseur nécessitée par une batterie est considérablement plus faible que celle qu'il faut pour les laveurs d'air. Un laveur d'air ayant la même capacité qu'une batterie de 8 rangées qui aura une épaisseur de 0,5 m serait de 2 à 4 m de longueur.

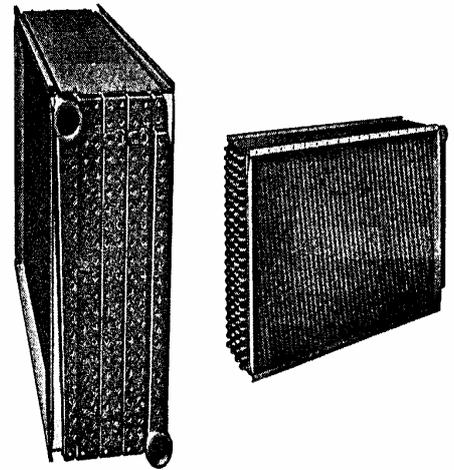


FIGURE 1  
BATTERIE DE  
REFROIDISSEMENT PAR  
EAU, DRAINABLE

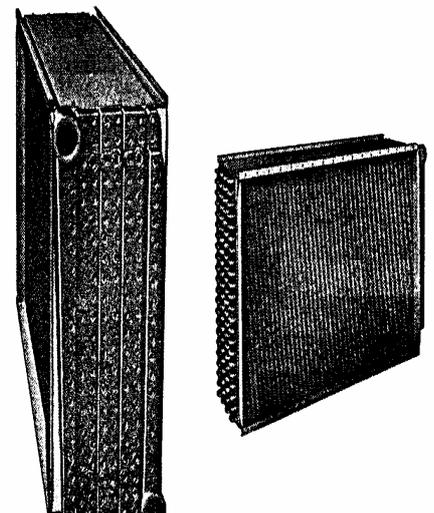


FIGURE 2  
BATTERIE DE  
REFROIDISSEMENT PAR EAU,  
DRAINABLE

*Les batteries avec tubes à ailettes pour le refroidissement et la déshumidification se fabriquent en deux types généraux. Dans l'un des types, l'eau ou la saumure réfrigérée circule à travers les tubes de la batterie, l'air s'écoulant sur les ailettes serties à la surface extérieure des tubes. DE, DX, ou détente directe. Dans cette batterie, le réfrigérant s'évapore à l'intérieur des tubes, et l'air s'écoule sur les ailettes. Les ailettes sont serties à la surface extérieure des tubes de la même façon que pour les batterie utilisant de l'eau ou de la saumure comme réfrigérant.*

### **V.2.2 Type des batterie**

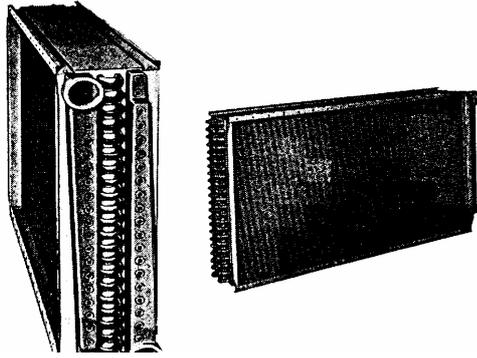
*On a illustré aux figures 1 à 4 plusieurs types de batteries utilisant l'eau comme agent de refroidissement.*

*Dans pratiquement toutes les batteries utilisant l'eau comme agent de refroidissement, les débit d'air et d'eau à travers la batterie s'écoulent en sens opposés l'un de l'autre, comme indiqué sur la figure 5. une telle disposition est désignée sous le nom de contre-courant parce que l'air et l'eau s'écoulent en sens inverse.*

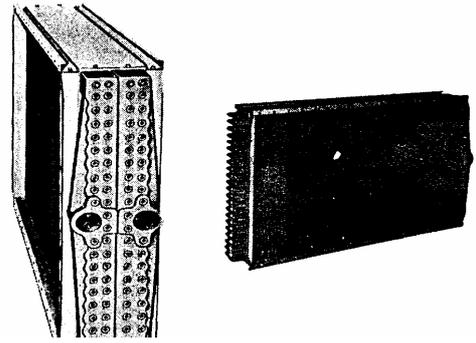
*L'écoulement parallèle, dans lequel l'eau et l'air s'écoulent à travers la batterie dans le même sens est rarement utilisé dans les installations classiques, à cause de la surface supplémentaire nécessaire pour un ensemble de conditions données.*

*Il est à remarquer que dans le contre-courant (figure 5), l'eau froide entre dans la batterie au point où l'air froid le quitte. Dans l'écoulement parallèle, au contraire, l'eau froide entre dans la batterie de côté ou l'air chaud y entre (figure 6).*

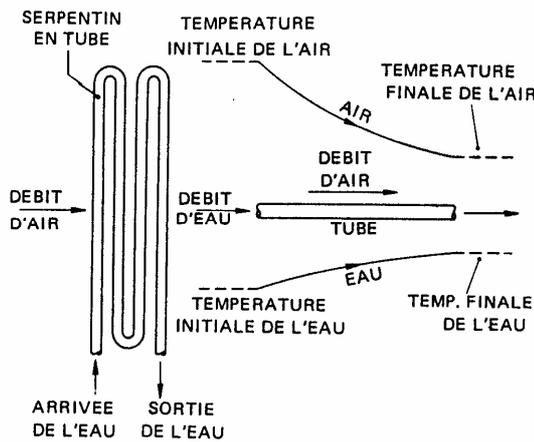
*Les raccords d'entrée d'eau dans les batteries de refroidissement à eau généralement disposés en partie basse, de telle sorte que l'écoulement de l'eau se fait vers le haut à travers la batterie, le raccord de sortie se trouvant en haut. Il existe deux raisons fondamentales pour raccorder les batteries de refroidissement à eau de cette façon. D'abord tout l'air dans la batterie sera poussé en avant par l'eau et s'accumulera dans la partie supérieure de celle-ci où il pourra être purgé facilement. Ensuite, la batterie restera complètement remplie d'eau même si la vanne de commande est fermée.*



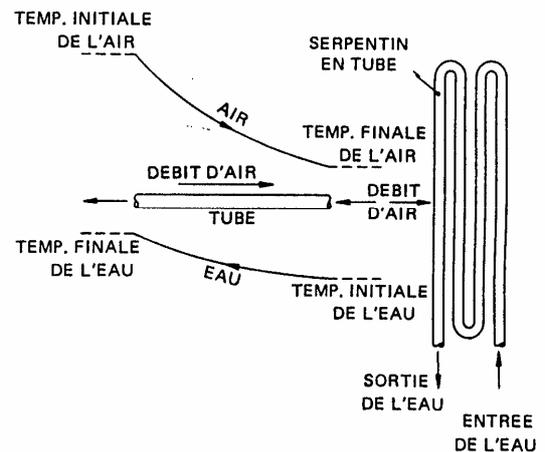
**FIGURE 3**  
**BATTERIE DE REFROIDISSEMENT A**  
**EAU A UNE SEULE RANGEE**



**FIGURE 4**  
**BATTERIE DE REFROIDISSEMENT A**  
**EAU A DEUX RANGEE, DRAINABLE**



**FIGURE 6**  
**ECOULEMENT PARALLELE DE**  
**L'EAU DE L'AIR**



**FIGURE 5**  
**ECOULEMENT CONTRE COURANT**

Les figures 7, 8, 9 illustrent les méthodes qui sont utilisées pour raccorder des batteries utilisées pour refroidir en utilisant de l'eau froide. Lorsqu'on utilise dans les tubes un réfrigérant qui se vaporise, on appelle la batterie de refroidissement un évaporateur. Ces batteries évaporateurs sont construites de la même façon que les batteries à eau, sauf que les tubes sont disposés

ou connectés entre eux de façon différente. Les tubes dans les batteries sont groupés en circuits de façon à ce qu'une quantité correcte de réfrigérant soit distribuée dans chaque circuit. Le débit de réfrigérant dans la batterie (évaporateur à sec) est régulé par une vanne automatique. Cette vanne dose la quantité de réfrigérant distribué dans la batterie de façon à maintenir une proportion correcte de surchauffe dans le gaz réfrigérant quittant la batterie.

Un autre type d'évaporateur est celui nommé l'évaporateur noyé. Dans cet évaporateur, un robinet à flotteur maintient un niveau de réfrigérant constant dans la batterie. En d'autres termes, si la vitesse d'évaporateur du réfrigérant est plus rapide, une plus grande quantité de liquide est admise par le flotteur.

Par conséquent, tout l'intérieur de l'évaporateur est rempli de réfrigérant jusqu'à un niveau déterminé par le flotteur. Au contraire, 'évaporateur sec' contient un mélange de liquide et de gaz dans toute la batterie jusqu'à ce qu'il atteigne la sortie où tout le liquide se transforme en vapeur.

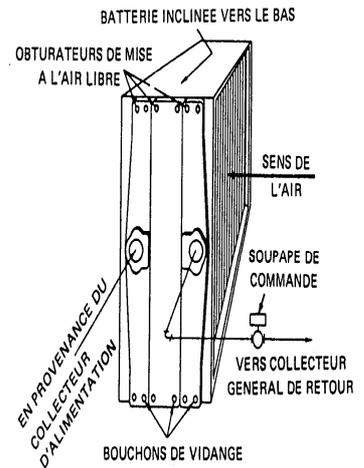


FIGURE 9  
BATTERIE A EAU A DOUBLE RANGEE

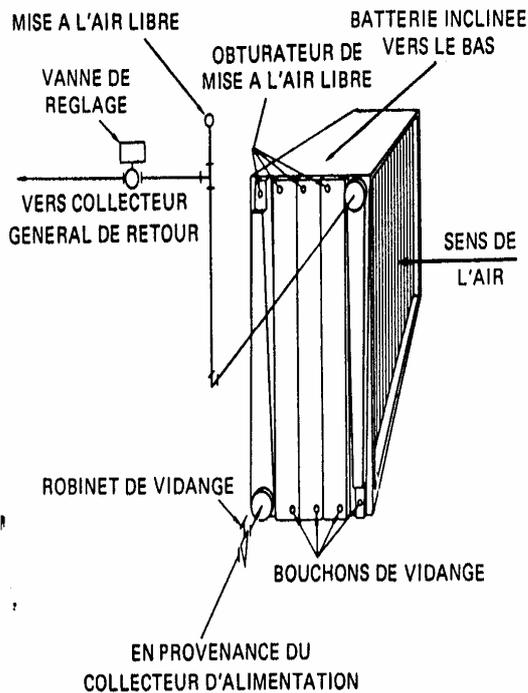


FIGURE 7  
BATTERIE DRAINABLE

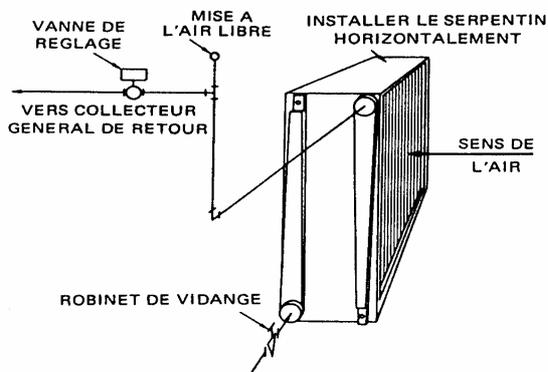


FIGURE 8  
BATTERIE A EAU A SIMPLE RANGEE

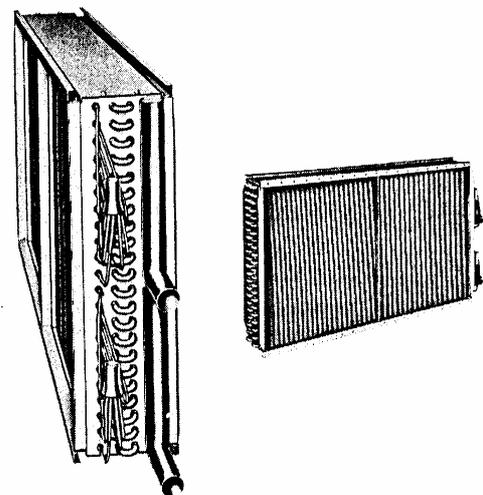
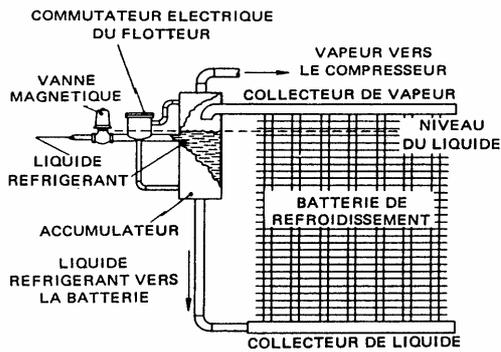


FIGURE 10  
BATTERIE POUR REFRIGERANT

Bien que les évaporateurs noyés soient plus efficaces, parce que tout l'intérieur de la batterie est recouverte de liquide, ils ont été peu utilisés en climatisation. Une des raisons les plus importantes est la dépense supplémentaire entraînée par l'utilisation d'une plus grande quantité de réfrigérant.



**FIGURE 11**  
**BATTERIE NOYEE**

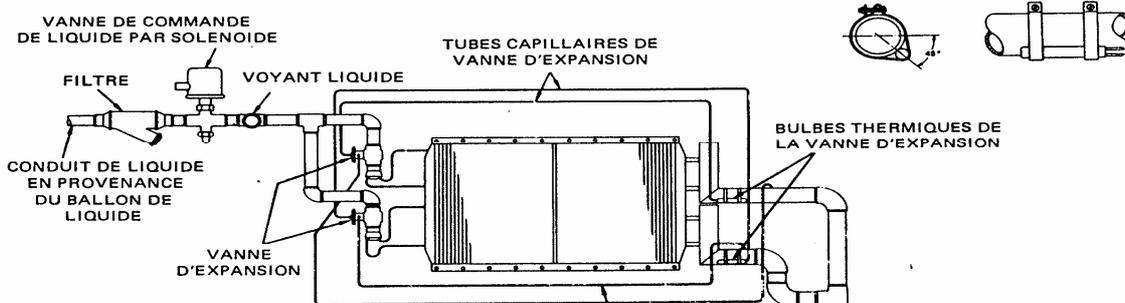
Les deux types d'évaporateurs sont représentés sur les figures 10 et 11. Un exemple de branchement de tuyauteries pour 'évaporateur sec' est montré sur la figure 12.

Les batteries avec tubes et ailettes sont également utilisées pour réchauffer l'air dans les systèmes de climatisation. L'argent de chauffage étant soit la vapeur soit l'eau chaude qui circule dans les tubes, l'air circulant sur les ailettes à l'extérieur

Les batteries à utiliser avec l'eau chaude sont similaires dans sur leur fabrication à celles utilisées pour les installations d'eau réfrigérée. La principale différence réside dans le fait que les batteries utilisées avec l'eau chaude exigent généralement moins de rangées de tubes que celles utilisées pour l'eau glacée. La raison en est que la différence entre la température de l'eau et celle de l'air est beaucoup plus grande. Les figures 13 et 14 illustrent des exemples de batterie utilisant l'eau chaude pour le réchauffage et les figures 15 et 16 illustrent certaines des méthodes utilisées pour faire des raccordements de tuyauteries aux batteries à eau chaude utilisés pour réchauffer l'air.

Les batteries de réchauffage utilisant la vapeur comme agent de réchauffage sont fabriquées selon deux types généraux. D'abord il y a ceux pour les applications de chauffage générales, où aucune tentative n'est faite pour obtenir des températures d'air égales sur toute la longueur de la batterie, ou qui ne sont pas utilisées que pour de l'air dont la température est positive. Ensuite il y celles qu'on appelle batteries de chauffage par distribution de vapeur, comportant des tubes intérieurs perforés pour distribuer la vapeur sur toute la longueur de la surface intérieure des tubes.

Le premier type, illustré en Figure 17 est le plus souvent utilisé dans les unités où il y a des registres d'arrêt ou de dérivation du courant d'air, où l'on peut utiliser des tubes comparativement courts.



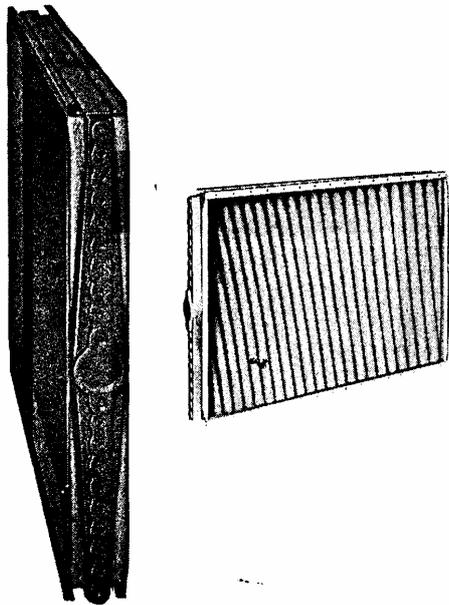


FIGURE 13  
BATTERIE DE CHAUFFAGE A  
RANGEE UNIQUE

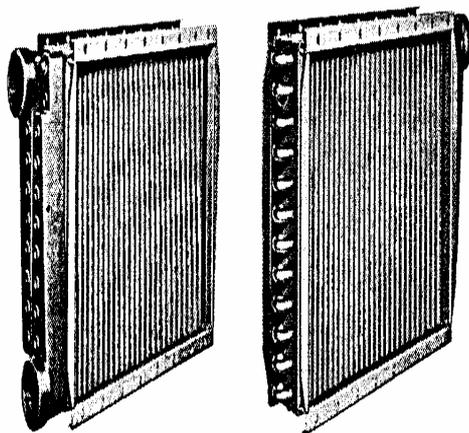


FIGURE 14  
BATTERIE DE CHAUFFAGE A  
MULTIPLI RANGEE

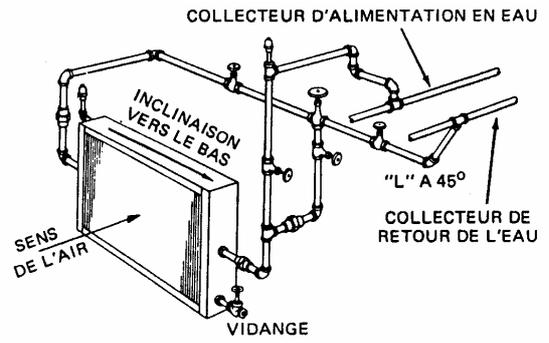
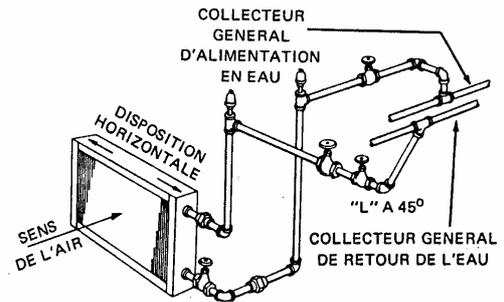
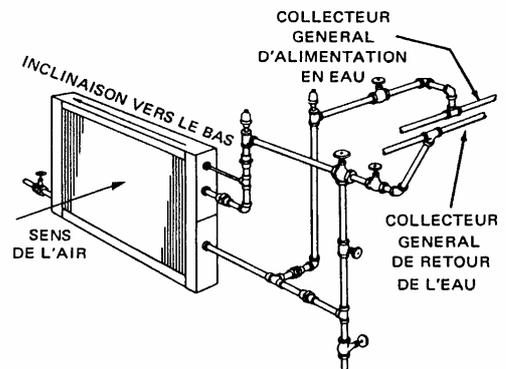


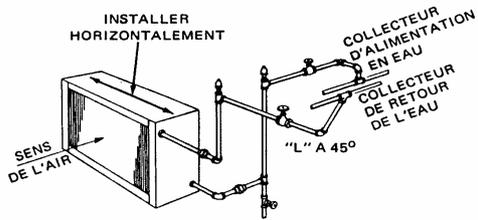
FIGURE 15  
BATTERIE DE CHAUFFAGE INCLINEE VERS LE  
BAS, DU COTE ENTREE D'EAU. LA PURGE EST  
BRANCHEE SUR LE RACCORD BOUCHONNE  
SITUE AU DESSUS DU DEPART DE LA  
TUYAUTERIE DE RETOUR SI LA VITESSE DE  
L'EAU A TRAVERS LA BATTERIE EST  
INFERIEURE A 0,45 m/s



BATTERIE DE CHAUFFAGE  
INSTALLÉE AVEC SES TUBES  
HORIZONTAUX



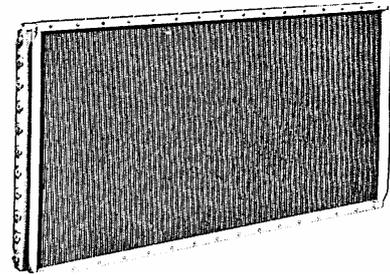
BATTERIE DE CHAUFFAGE INCLINEE EN  
S'ÉLOIGNANT DE L'EXTREMITÉ D'ALIMENTATION  
LA PURGE LIBRE UTILISÉE SI L'EAU A UNE  
VITESSE DE CIRCULATION INFERIEURE A 0,45 m/s



Des températures inférieures à zéro sur la batterie. Ce type de batterie avec type de distribution inférieure est illustré aux figure 18 et 19.

FIGURE 16

BATTERIE DE CHAUFFAGE A DOUBLE RANGEE INSTALLEE POUR DE L'EAU CHAUDE



Le type de batterie avec tubes appelée 'à distribution De vapeur' est généralement utilisée là où l'on doit admettre la vapeur par un étranglement pour en permettre le réglage, là où l'on de températures égales sur toute la longueur de la batterie, là où l'on rencontre souvent

FIGURE 18  
BATTERIE VAPEUR, AVEC TUBES DE DISTRIBUTION DE VAPEUR

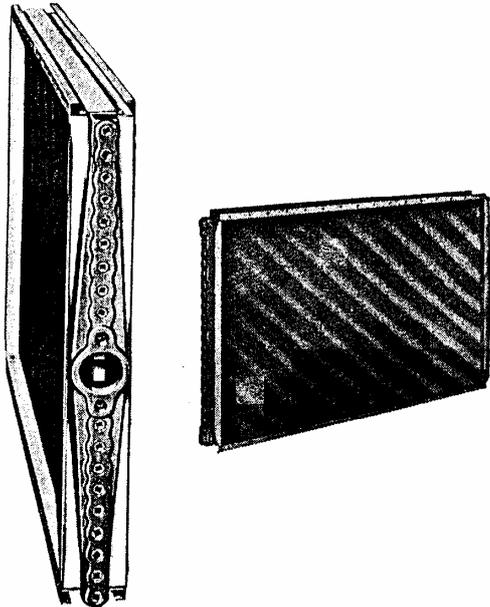


FIGURE 17  
BATTERIE DE CHAUFFAGE A RANGEE UNIONE AVEC RACCORDEMENTS AUX EXTREMITES OPPOSEES

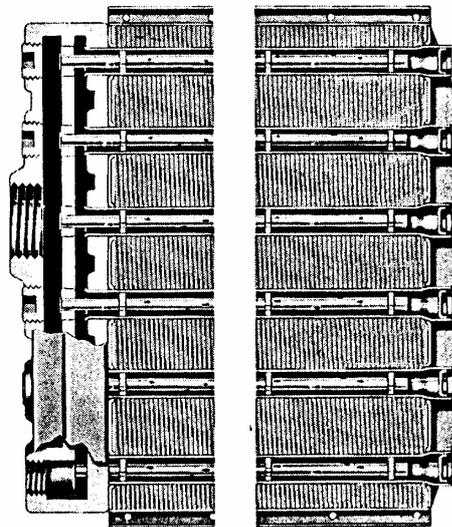


FIGURE 19  
BATTERIE DE CHAUFFAGE AVEC COLLECTEURS D'ALIMENTATION ET DE RETOUR 6TUBES DE DISTRIBUTION DE VAPEUR

## II. V.2.3. Ecart moyen de température

$$EMA = \Delta\theta_m = \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{(T_1 + t_1) + (T_2 + t_2)}{2} \quad [2]$$

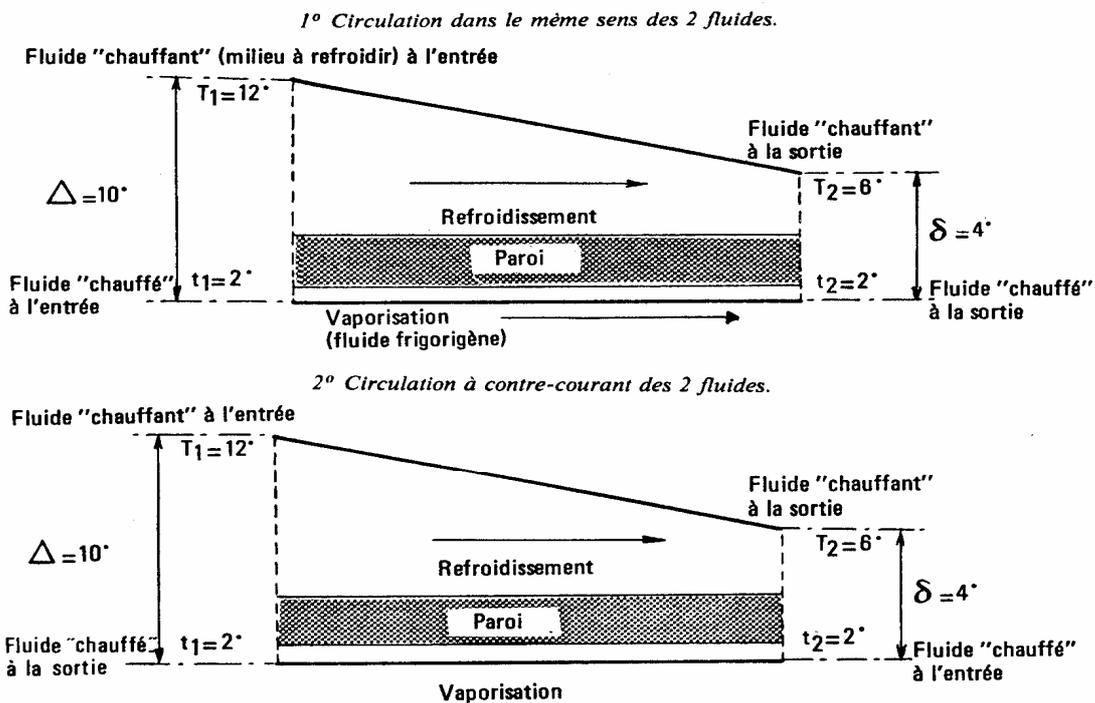
et dans laquelle les symboles  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $T_1$  et  $T_2$  représentent les différentes températures qui figurent dans les deux croquis de la figure 1 illustrant la transmission de la chaleur dans le cas d'une température variable de deux fluides s'écoulant dans le même sens ou à contre-courant (température variables le long de la surface de chauffe ou de refroidissement).

La relation [2] ci-dessus ne peut être valable que dans le cas où le rapport de la différence maximale de température entre les deux fluides ( $\Delta$ ) à la différence

Minimale ( $\delta$ ) est voisin de  $\left( \frac{\Delta}{\delta} = 1 \right)$

C'est le cas, notamment, des condenseurs en générale et des évaporateurs refroidisseurs d'air ou de liquide, en particulier.

Mais dans les installations de conditionnement d'air (seules qui nous intéressent ici) les valeurs des écarts.



**Remarque :** Dans les deux cas ci-dessus (1° et 2°) les mêmes formules (EML et EMA) sont applicables.

FIG. 1 – Représentation schématique du processus de transmission de chaleur entre le milieu « extérieur » (milieu à refroidir et le milieu « intérieur » (fluide frigorigène, absorbant la chaleur en se vaporisant à température constante).

A l'entrée et à la sortie de l'air, par exemple, s'éloignent considérablement l'une de l'autre et on verra, dans les deux exemples suivant, que l'application de la relation arithmétique [2] peut conduire à des valeurs d'écart moyens nettement supérieures à celles, réelles, des écarts moyens logarithmiques.

*Ecart moyen logarithmique (E. M. L)*

L'importance, sur le plan pratique, d'une telle différence n'échappera à personne puisque la surface d'échange d'une batterie, calculée à partir d'un écart moyen arithmétique, peut s'avérer insuffisante, l'écart moyen logarithmique étant inférieur au premier nommé.

Il est donc de bonne pratique d'appliquer dans tous les cas la formule exacte ci-après :

$$\Delta_{tm} = \frac{\Delta - \delta}{Le \frac{\Delta}{\delta}} \quad [3]$$

dans laquelle:

$\Delta$  = différence maximale de température entre les deux fluides

$\delta$  = différence maximale de température entre les deux fluides

$Le$  = logarithmique népérien (symbole Log)

## V.3. Les laveurs d'air

### V.3.1. Principe d'un laveur d'air

Pendant de nombreuses années avant l'apparition des batteries de tuyaux à ailettes, on utilisait presque exclusivement de pulvérisateurs d'eau pour la climatisation. L'eau et l'air étaient mis en contact dans une chambre de pulvérisateur que traversait de l'air aspiré par un ventilateur.

De telles chambres, dotées d'une bache, d'un éliminateur de gouttelettes et des autres éléments auxiliaires sont construites sous forme d'appareils monobloc et appelées laveurs d'air.

Un laveur d'air complet est illustré sur la figure 1. Il comprend essentiellement une chambre de pulvérisateur, dans laquelle sont montés un certain nombre de tubes ascendants et de buses de pulvérisateurs

Le laveur illustré une seule nappe de tubes de pulvérisateur. Il en comprend parfois deux ou trois.

Les buses de pulvérisateur utilisées pour les laveurs d'air ont normalement un débit d'environ 0.08 à 0.13 litre/seconde par buse. On peut faire varier la quantité d'eau pulvérisée par chaque nappe en modifiant le nombre de buses.

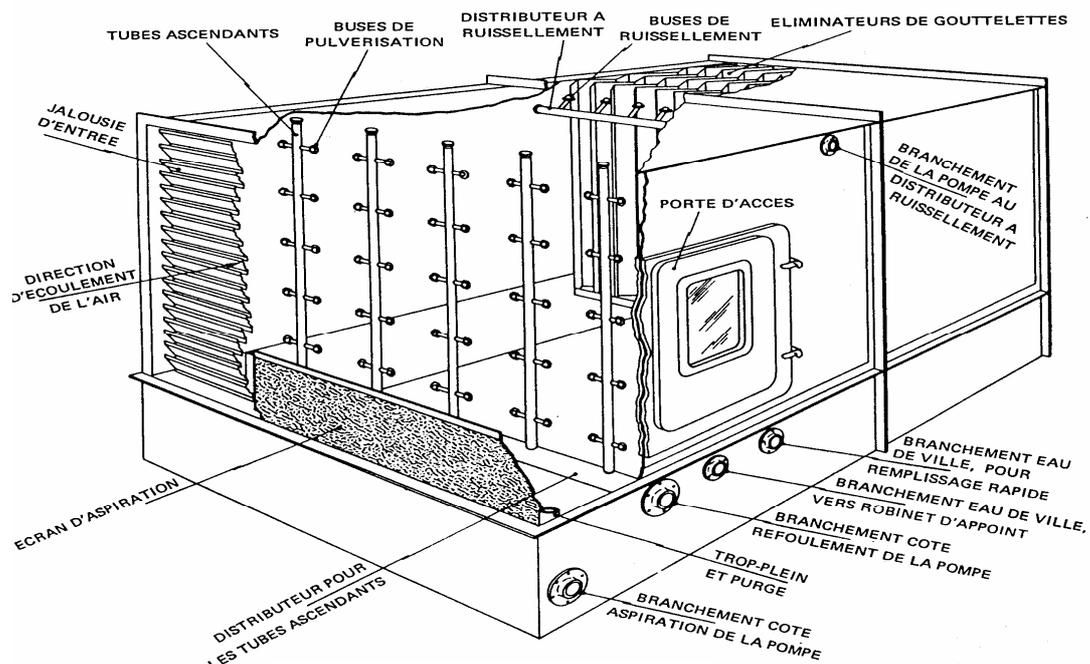


FIGURE 1  
LAVEUR D'AIR

L'éliminateur sont conçues et installées de telle sorte que l'air qui s'écoule à travers elles change de sens un certain nombre de fois. Ainsi, l'air se heurte aux surfaces humides des plaques et les particules de poussière et gouttelettes d'eau continu assuré par des buses. Les laveurs d'air n'éliminent pas toujours les particules de graisse et de suie.

La fumée de tabac passe normalement à travers le laveur d'air. L'éliminateur sont conçues et installées de telle sorte que l'air qui s'écoule à travers elles change de sens un certain nombre de fois. Ainsi, l'air se heurte aux surfaces humides des plaques et les particules de poussière et gouttelettes d'eau continu assuré par des buses. Les laveurs d'air n'éliminent pas toujours les particules de graisse et de suie.

La fumée de tabac passe normalement à travers le laveur d'air. Certaines odeurs peuvent être extraites de l'air qui passe dans un laveur d'air. Les odeurs proviennent généralement de matières gazeuses mélangées à l'air et nombre de ces gaz se dissolvent dans l'eau. Il est évident qu'à mesure que la solution de gaz approche du point de saturation, elle peut de moins éliminer les odeurs de l'air. De plus, l'eau elle-même acquiert une odeur causée par les matières en solution ; dans ces conditions, elle doit être renouvelée fréquemment ou bien l'appareil doit avoir un trop-plein et un appoint continu.

Les laveurs d'air sont conçus pour être installés du côté aspiration du ventilateur. Ils ne doivent jamais être installés du côté refoulement à moins d'avoir été spécialement conçus ainsi. Il n'y aura pas de problèmes de fuites d'eau à travers les joints d'un laveur d'air installé du côté aspiration d'un ventilateur. Par contre, si le laveur est installé du côté refoulement, la pression d'air exercée par le ventilateur peut provoquer des fuites, même à travers les garnitures en caoutchouc normalement utilisées.

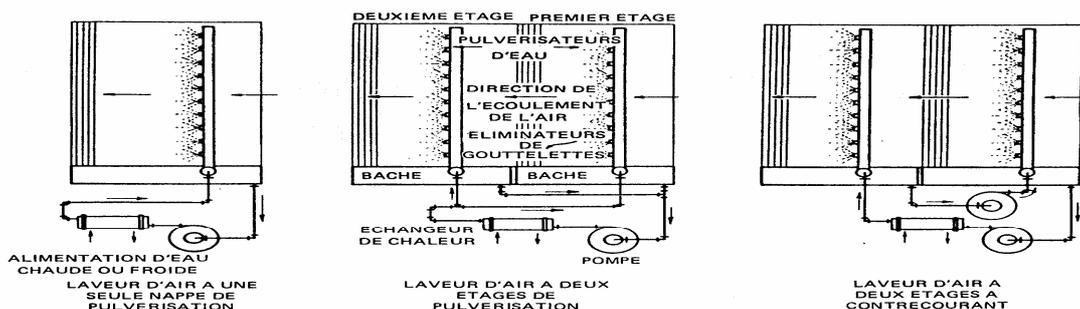
Si un jeu de plaques d'éliminateurs est installé après chaque nappe de pulvérisateurs, un laveur doté de deux nappes est un laveur à deux étages ; cet appareil est illustré et centre et à droite de la Figure 2. un laveur biétage peut parfois être doté de deux ou trois rampes de pulvérisateurs à chaque étage.

La section totale des laveurs d'air est généralement basée sur une vitesse d'air de 2,5 m/s. les vitesses plus élevées peuvent poser des problèmes d'entraînement d'eau excessive hors du laveur.

L'eau des laveurs d'air est normalement recirculée. Lorsque l'air doit être humidifié, l'air, l'eau et parfois les deux, sont chauffés avant d'entrer dans le laveur, l'eau doit être tout d'abord refroidie. Le réchauffage ou le refroidissement de l'eau peuvent être obtenus en fournissant de l'eau chaude ou réfrigérée à un échangeur de chaleur tel qu'illustré sur la Figure 2.

### V.3.2 Calculs pour le Refroidisseur d'Air

Dans un refroidisseur d'air à un étage, les écoulements d'eau et d'air sont parallèles, de sorte que les températures initiale et finale de l'eau doivent être plus basses que le point de rosée final de l'air. Ceci n'est vrai que pour un laveur monoétage. Lorsqu'on emploie un laveur à deux étages, la situation est quelque peu différente. Dans un grand nombre de ces laveurs, l'eau réfrigérée est divisée également entre chaque nappe de pulvérisateurs, comme sur l'illustration centrale de la Figure 2. l'eau est alors distribuée à



étage à la même température. Les problèmes concernant les laveurs à deux étages peuvent être résolus en considérant chaque étage comme un laveur séparé à nappe unique. Donc, pour un laveur biétagé, le problème est résolu exactement comme si l'air s'écoulait à travers deux laveurs en série. La température de l'eau fournie à chaque laveur est exactement la même, mais la température de l'air qui entre dans le second laveur a été abaissée car l'air a déjà refroidi dans le premier étage.

Pour une quantité de chaleur donnée qui est cédée à l'eau, l'augmentation de la température de l'eau est déterminée par la température de l'eau est déterminée par la quantité d'eau fournie. Le laveur monoétagé doit recevoir une quantité d'eau suffisante pour que sa température finale soit plus basse que la température du point de rosée finale à laquelle l'air doit être refroidi. Pour fournir un léger facteur de sécurité, la température finale de l'eau doit être d'environ un degré de moins que la température de rosée finale requise.

Si l'eau de refroidissement provient de la ville ou d'un puits profond, sa température initiale est connue. Si l'eau est refroidie par un moyen mécanique, elle doit l'être jusqu'à une température telle que l'augmentation de la température de l'eau

dans la chambre de pulvérisation sera de 4° à 8°C. une augmentation de 5,5°C est une bonne moyenne.

La quantité d'eau que l'on fera circuler dans un laveur d'air pour un besoin de froid donné peut être calculée par l'équation suivante :

$$V = \frac{q}{4,18 DT}$$

où

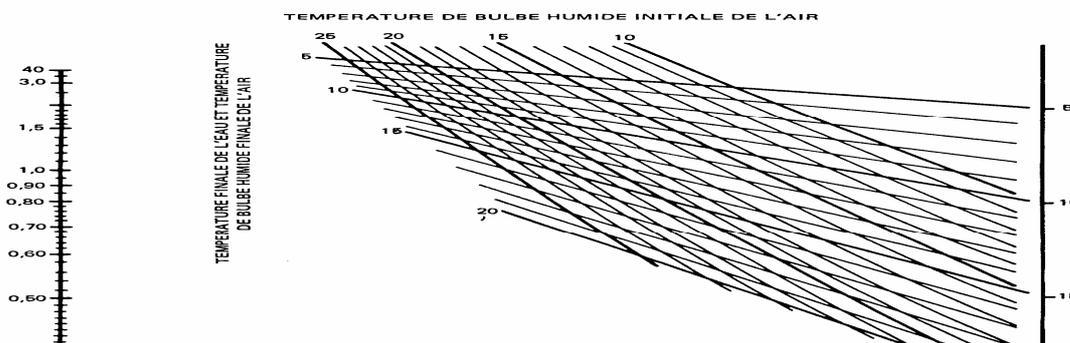
$V$  = débit volume, litres par seconde

$q$  = chaleur transférée de l'air à l'eau, KW

$DT$  = augmentation de la température de l'eau, °C

Le problème inverse est également fréquent ; il s'agit de déterminer la quantité de chaleur qui peut être extraite de l'air passant à travers un laveur lorsque l'eau disponible est limitée, soit en raison de son prix de revient, soit parce que la production du puits est fixée. Le diagramme de la Figure 3 a été réalisé pour faciliter le calcul de l'état final de l'eau et de l'air dans un laveur.

FIGURE 3  
DIAGRAMME DE L'EAU PULVERISSEE ET DE L'AIR



Ce diagramme est basé en premier lieu sur le principe essentiel que la chaleur cédée par l'air est égale à la chaleur acquise par l'eau. Et, lorsque l'air et l'eau entrent en contact étroit l'un avec l'autre dans un laveur d'air, la température finale de l'eau est égale à la température de bulbe humide finale à laquelle l'air se trouve refroidi. En réalité, la température finale de l'eau sera plus basse que la température de bulbe humide finale de l'air. Cependant, ce graphique permet de résoudre de nombreux problèmes concernant les laveurs car on peut y trouver tout d'abord la solution théorique, puis appliquer un facteur, puis appliquer un facteur de correction.

### Refroidissement

L'exemple 1 illustre l'utilisation du diagramme de la Figure 3 pour le refroidissement des laveurs.

#### Exemple 1 :

De l'air initialement à 350°C BS et 23°C BH doit être refroidi avec de l'eau avant une température initiale de 13°C. la quantité d'air à refroidir est de 4,7 m<sup>3</sup>/s et la quantité d'eau disponible est de 4,45 l/s. trouver la température finale à laquelle d'air peut théoriquement être refroidi.

### Solution :

Le rapport entre l'eau et l'air à gauche de la Figure 7 – V est exprimé en litres/seconde pour l'eau et en mètres<sup>3</sup>/second pour l'air. Donc:

$$V = \frac{4,45}{4,7} = 0,95 \text{ l/s par m}^3/\text{s}$$

En se reportant à la Figure 3, relier par une droite les deux points, 13 sur l'échelle de température initial de l'eau, et 0,95 sur l'échelle de l/s d'eau par m<sup>3</sup>/s d'air.

Repérer la température de bulbe humide initiale de 23 ; suivre la ligne 23 BH jusqu'à son intersection avec la ligne que nous venons de tracer : nous lisons 17,5 à l'intersection. C'est la température de bulbe humide finale de l'air.

La Figure 4 indique la solution de cet exemple. L'air peut être théoriquement refroidi jusqu'à 17,5 BH. Ce sera également la température finale de l'eau.

Dans la réalité, les températures finales de l'eau et de l'air dans un laveur ne sont pas identiques, et l'air n'est pas refroidi à une température aussi basse que celle qui a été

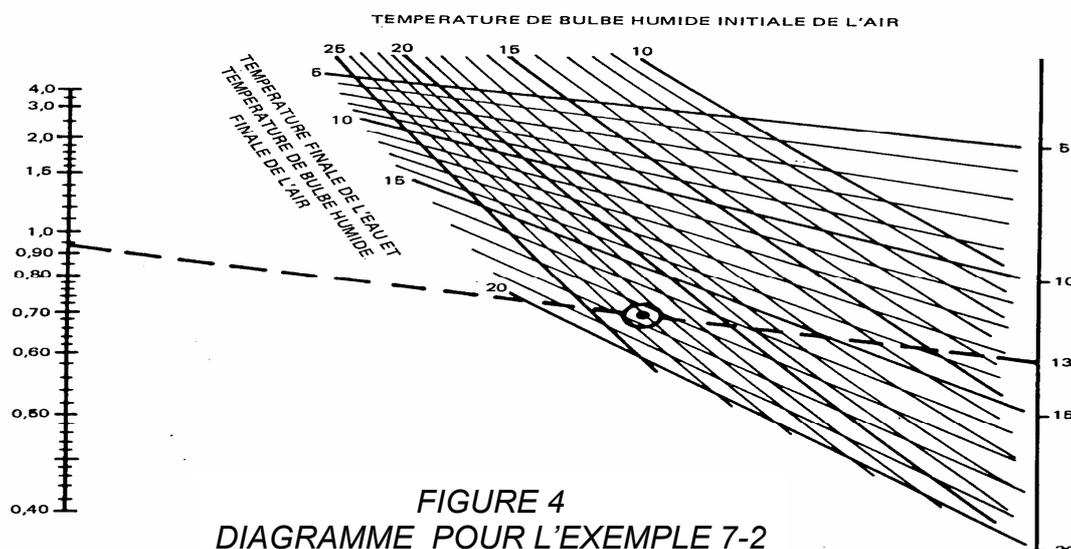


FIGURE 4  
DIAGRAMME POUR L'EXEMPLE 7-2

déterminer d'après la Figure 3 ; un peu moins de chaleur peut être transférée de l'air à l'eau que ne l'indique le calcul théorique. L'écart dépend de la construction du laveur, de la quantité d'eau fournie, de la longueur de laveur et de la pulvérisation de l'eau.

L'emploi d'un facteur de correction est une des méthodes de prédication de la performance du laveur. Le facteur de correction est défini comme suit :

$$\text{Facteur de Correction} = \frac{\text{Changement réel de l'enthalpie}}{\text{Changement théorique de l'enthalpie}}$$

Pour la plupart des matériels commerciaux et en régime de marche normal, le facteur de correction est d'environ 0,85. l'exemple suivant la méthode d'utilisation du facteur de correction dans les calculs des laveurs d'air.

**VI. Choisir le meilleur traitement d'air**

## VI.1. Climatisation d'une salle de conférences en été

### Dans un appareil de traitement d'air :

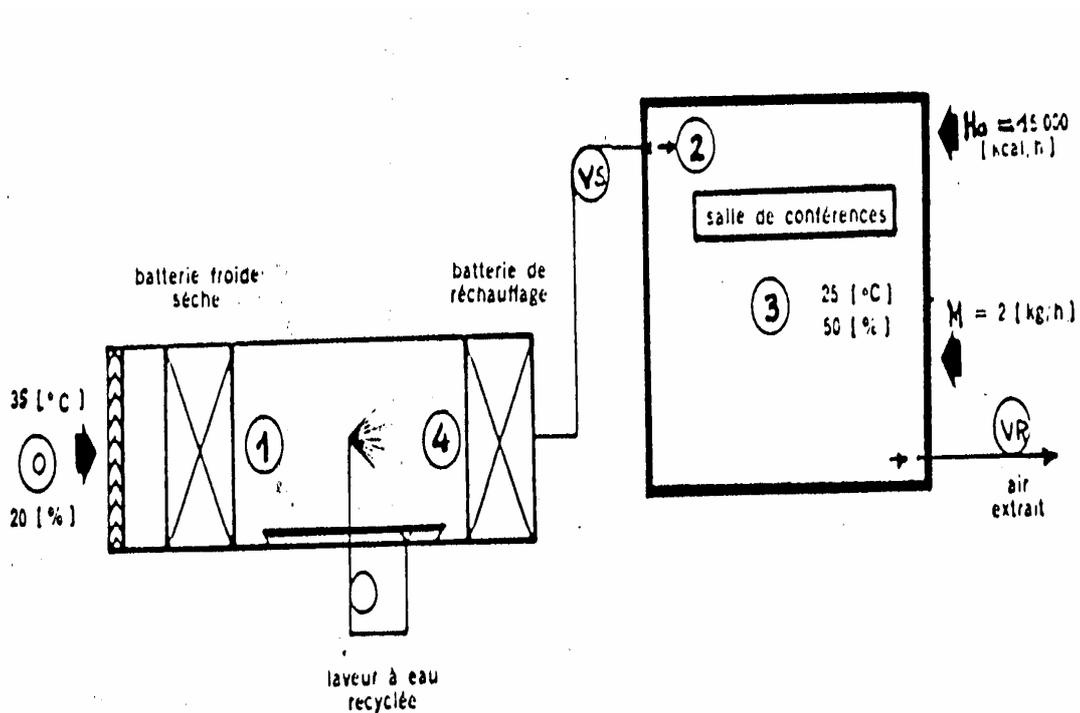
Il est généralement préférable de suivre l'évolution de l'air après chaque traitement partiel, afin d'en déterminer les caractéristiques.

### Exemple de calcul de climatisation :

l'exemple présenté ici est celui d'une salle de conférence, à climatiser en été, en climat chaud et sec :

- conditions intérieures à maintenir = 25 [°C] et 50 [%]
- apports globaux à combattre = 15000 [kcal/h]
- apports d'humidité dus aux occupants = 2 [kg/h]
- conditions extérieures = 35 [°C] et 20 [%]
- écart de soufflage = 5 [°C], en tout air neuf.
- 

Le schéma de l'installation de climatisation est représenté ci-après :



L'installation comprend :

- une batterie froide (sans condensation)
- un humidificateur (de type laveur)
- une batterie chaude.

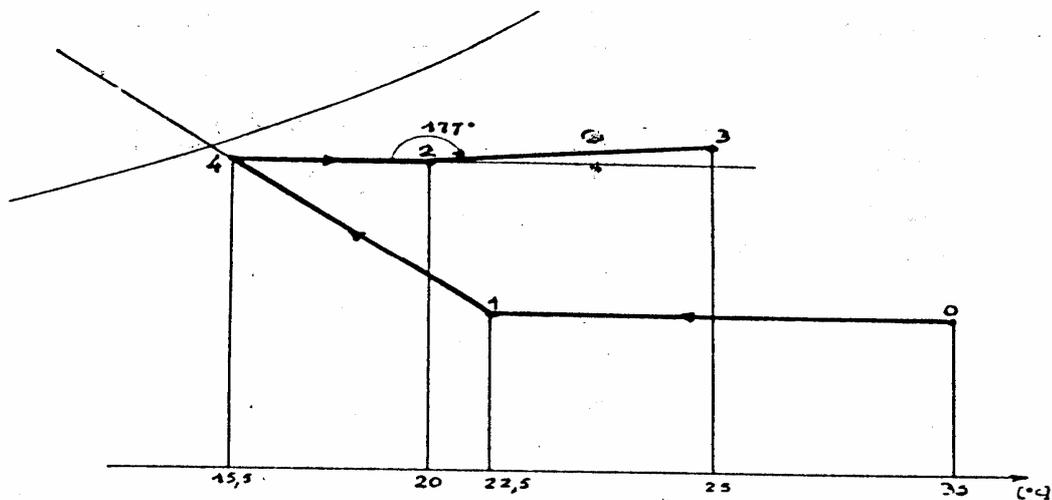
### VI.1.1 Calcul des caractéristiques de la salle de conférence :

Le rapport caractéristique  $j$  est égale à :

$$j = \frac{15000}{2} = 7500 \text{ [kcal/kg]} = + 31350 \text{ [kj/kg]}$$

On lit  $i$  sur l'échelle correspondante du diagramme, soit  $i = 177^\circ$  (lecture rendue difficile car proche de  $180^\circ$ ).

Il faut alors utiliser le diagramme de l'air humide : à partir du point 3 (=conditions intérieures), on trace l'angle de  $177^\circ$  (qui détermine la droite caractéristique du local), qui permet de définir le point 2, connaissant l'écart de soufflage de  $5^\circ\text{C}$ .



Le point 2 détermine les conditions de soufflage.

L'air est donc soufflé aux conditions suivantes :

- $20^\circ\text{C}$  et 67 %
- $h_2 = 10,7 \text{ [kcal/kgas]}$  et  $r_2 = 0,0097 \text{ [kg/kgas]}$

### **VI.1.2 Calcul du débit de soufflage:**

$$q_{mas} = H_o / (h_3 - h_2)$$

on peut lire  $h_3 = 12,1$  [kcal/ kgas]

$$q_{mas} = 15000 / (12,1 - 10,7) = 10700 \text{ [kgas/h]} \\ \text{ou } 2,97 \text{ [kgas/s]}$$

Le débit volumique de soufflage est égale à:

$$q_{v2} = q_{mas} \times v_2 \\ = 10700 \times 0,843 = 9020 \text{ [m}^3\text{/h]} \\ = 2,50 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

### **VI.1.3 Tracé sur le diagramme psychrométrique :**

*Evolutions des conditions de l'air :*

- . du point 0, refroidissement au point 1, (droite horizontale, humidité spécifique constante)
- . du point 1 au point 4, humidification dans le laveur adiabatique. (on arrive à  $\varphi_4 = 90\%$ )
- . du point 4 au point 2, réchauffage amenant l'air aux conditions de soufflage du point 2 (Voir schémas précédents):

*tracé sur le diagramme :*

- .du point 2 qui est connu, on trace 2-4, segment horizontal, limité par la courbe de degré hygrométrique = 90 %
- .du point 4, on trace l'isenthalpie passant par ce point, qui rencontre l'horizontale passant par le point 0 : l'intersection est le point 1.

Tracé du tableau donnant les caractéristiques (  $O$ ,  $\varphi$ ,  $h$ ,  $r$  et  $v$ ) des 5 points de cette évolution : à réaliser par les stagiaires.

### **VI.1.4 Calcul des caractéristiques des appareils :**

#### **Puissance de la batterie froide :**

$$P_F = q_{mas} (h_1 - h_0)$$

$$P_F = 10700 (9,6 - 12,7)$$

$$P_F = 33\,170 \text{ [fg/h]} = 38\,480 \text{ [w]}$$

**Puissance de la batterie chaude:**

$$P_c = q_{mas} (h_2 - h_0)$$

$$P_c = 10700 (10,7 - 0,6)$$

$$P_c = 11\,770 \text{ [kcal/h]} = 13\,650 \text{ [w]}$$

**Consommation d'eau dans l'humidificateur:**

*c'est la quantité d'eau évaporée dans le laveur au cours de l'humidification de l'air.*

*La consommation est égale à :*

$$q_{m,e} = q_{mas} (r_4 - r_1)$$

$$q_{m,e} = 10\,700 (0,0097 - 0,0070)$$

$$q_{m,e} = 28,9 \text{ [kg/h]} = 0,008 \text{ [kg/s].}$$

**VII. Diverses notions utilisées en psychrométrie**

## VII. Définitions des divers notions utilisées en psychrométrie

### VII.1 SHF(Sensible Heat Factor)

La quantité de chaleur totale TH à mettre en jeu pour faire un certain poids d'air d'un état (1) à l'état (2), peut être considérée comme étant la somme d'une quantité de chaleur latente Lh et une quantité de chaleur sensible Sh Par définition :

$$SHF = \frac{SH}{SH + LH} = \frac{SH}{TH}$$

### VII.2 SHF du LOCAL (RSHF)

De même si on appelle RSH les gains sensibles, RLH les gains latents et RTH les gains totaux du local, on aura par définition :

$$RSHF = \frac{RSH}{RSH + RLH} = \frac{RSH}{RTH}$$

L'état de l'air soufflé dans le local doit être tel qu'il compense simultanément les gains sensibles et les gains latents du local. Les points représentatifs sur le programme psychrométrique, de l'état de l'air soufflé et des conditions intérieures, peuvent être réunis par un segment de droite (1-2) fig.1. ce segment représente l'évolution de l'air à l'intérieur du local et est appelé : « droite de SHF du local », ou encore « droite de soufflage ».

La pente de la droite RSHF donne le rapport des gains de chaleur sensible  $\Delta h_s$  et latente  $\Delta h_f$  à l'intérieur du local (figure 1). Donc si le débit d'air soufflé est suffisant pour composer ces gains, on

à condition que le point représentatif de l'état de l'air soit situé sur cette droite de SHF du local.

La droite de SHF du local peut être tracée sur le diagramme psychrométrique, sans qu'il soit nécessaire de connaître les conditions de l'air de soufflage. Connaissant le RSHF et les conditions intérieures de base, on utilisera l'échelle à droite du diagramme, et le point de repère (80° F - 50%) :

1 - Tracer la droite passant par le point 1 et la division correspondant au RSHF calculé (2) (fig.2).

2 - La droite de SHF du local considéré sera parallèle à la droite (1-2) et passera par les conditions de base. Comme on le voit sur la figure 2 cette droite peut en général être prolongée jusqu'à la courbe de saturation (3-4).

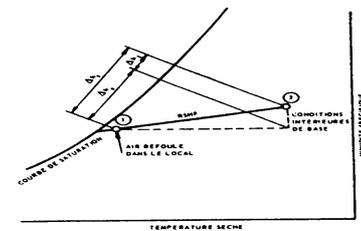


FIG 1 DROITE DE RESHF (DROITE DE SOUFFLAGE) JOIGNANT LES CONDITIONS AU SOUFFLAGE AVEC LES CONDITIONS

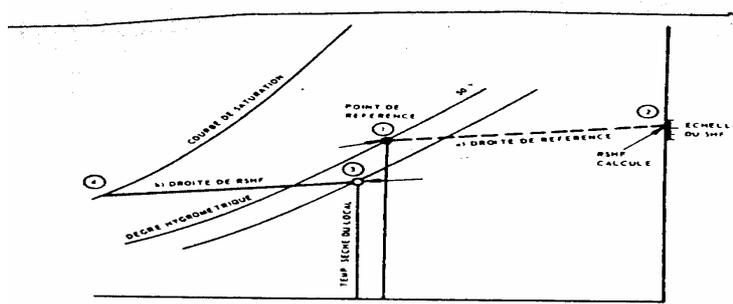


FIG 2. TRACE DE LA DROITE DE RSHF

### VII.3 SHF TOTAL (GSHF)

Ce coefficient est le rapport de la chaleur sensible total au bilan thermique de l'installation, y compris les apports de chaleur sensible et latente provenant de l'air extérieur. Il est défini par la relation :

$$GSHF = \frac{TSH}{TLH + TSH} = \frac{TSH}{GTH}$$

Le passage de l'air dans l'appareil de traitement se traduit par des variations de sa température et de son humidité spécifique. L'importance relative de ces variations dépend des quantités de chaleur sensible et latente fournies. On peut porter sur le diagramme psychométrique les points représentatifs de l'état de l'air à l'entrée et à la sortie et les réunir par un segment de droite (1-2) (figure 3). Ce segment de droite représente l'évolution de l'air à travers l'appareil et est appelé : « droite de SHF total » (GSHF).

La pente de cette droite est égale au rapport des quantités de chaleur sensible d'une part, et latente d'autre part, mises en jeu au cours de la transformation, soit sur la figure 3, au rapport

$$\frac{\Delta h_s \text{ (chaleur sensible)}}{\Delta h_l \text{ (chaleur latente)}}$$

Comme la droite de RSHF, la droite de GSHF peut être tracée sur le diagramme psychométrique, sans qu'il soit nécessaire de connaître l'état de figure 4. Tracer d'abord la droite de GSHF passant par le point de repère (80° F – 50%), puis la parallèle à cette droite passant par le point représentatif de l'air de mélange à l'entrée de l'appareil.

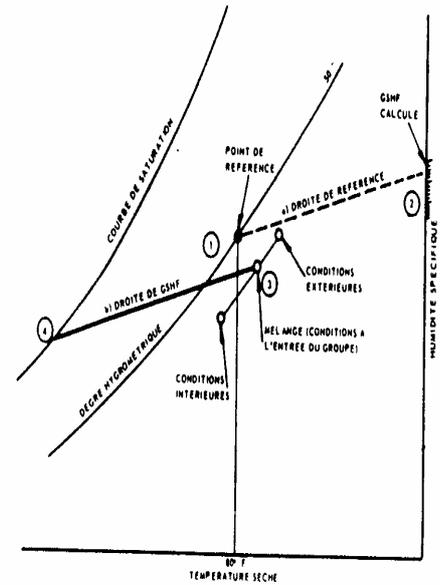


FIG 4. TRACE DE LA DROITE DE GSHF A PARTIR DU GSHF CALCULE

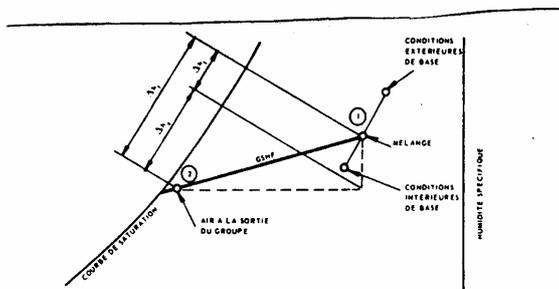


FIG 3. TRACE DE LA DROITE DE GSHF ENTRE LES CONDITIONS DU MELANGE ET CELLES A LA SORTIE DU GROUPE

## II.6 Débit d'air traite nécessaire

Les débits d'air nécessaires pour composer simultanément les gains sensibles et latents du local d'une part, et les gains sensibles et latents totaux (compte tenu de l'air extérieur) d'autre part, peuvent être déterminés en traçant les droites RSHF et GSHF. Leur intersection correspond aux conditions à la sortie de la batterie et donc, en négligeant l'échauffement dû au ventilateur, l'échauffement dans le gaine et les fuites d'air éventuelles-aux conditions de l'air de soufflage.

On dit en général compte de ces gains supplémentaires lors du bilan. En réalité donc, la température de soufflage sera généralement supérieure à la température de sortie de la batterie.

Dans la figure 5 on a tenu compte de ces gains, le segment (1-2) représentant l'augmentation de température de l'air, du fait de l'échauffement dû au ventilateur et aux gaines.

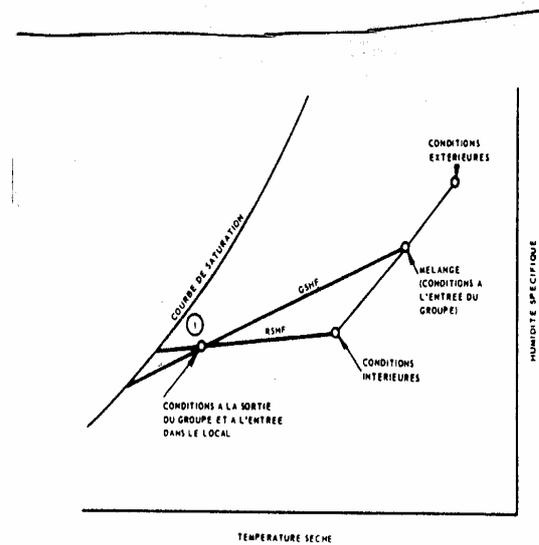
Le débit d'air nécessaire pour composer les gains de chaleur du local est donné par :

$$M3/h_{sa} = \frac{RSH}{0,29(t_m - t_{sa})}$$

Le débit d'air nécessaire pour compenser le bilan thermique total (y compris les gains supplémentaires), est donné par:

$$M3/h_{da} = \frac{TSH}{0,29(t_m - t_{db})}$$

Si l'on néglige les fuites dans le réseau de distribution, le débit d'air soufflé dans le local est égal au débit d'air passant dans l'appareil. Dans la relation ci-dessus,  $t_m$  représente la température du mélange à l'entrée du groupe.  $t_m$  ne peut être déterminé que par approximations successives, sauf évidemment ans le cas de marche en air frais total.



TRACE DES DROITES DE RSHF ET DE GSHF

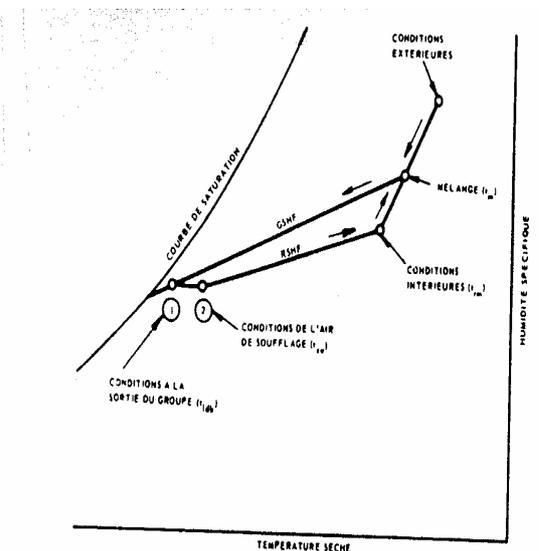


FIG 5. TRACE DES DROITES DE RSHF, GSHF ET DES GAINS SUPPLEMENTAIRES

### VII.7 SHF effectif (ESHF)

La notion de ESHF permet d'établir une relation entre le bilan thermique, le BF et l'ADP, ce qui simplifie la détermination du débit d'air et le choix de l'équipement.

Le SHF effectif est défini comme le rapport des gains sensibles et latents effectifs de ce même local. Ces gains effectifs étant eux-mêmes pris égaux à la somme des gains du local proprement dit, augmentée des quantités de chaleur sensible et latente correspondant au débit d'air extérieur qui passe à travers la batterie sans être affecté, et dont le pourcentage est donné par le by-pass factor.

On a donc définition :

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH} = \frac{ERSH}{ERTH}$$

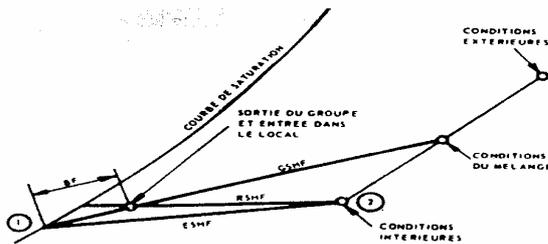
### CALCUL DU D2BIT D'AIR A L'AIDE DU ESHF, DE L'ADP et du BF.

Une méthode simplifiée pour le calcul des débits d'air requis, consistera à appliquer les relations existant entre le ESHF, l'ADP et le BF. Ces relations ont été représentées en partant du GSHF et du RSHF. Portant il est inutile de connaître ces grandeurs pour déterminer le débit d'air, puisqu'on obtient les mêmes valeurs à partir du ESHF, de l'ADP et du BF.

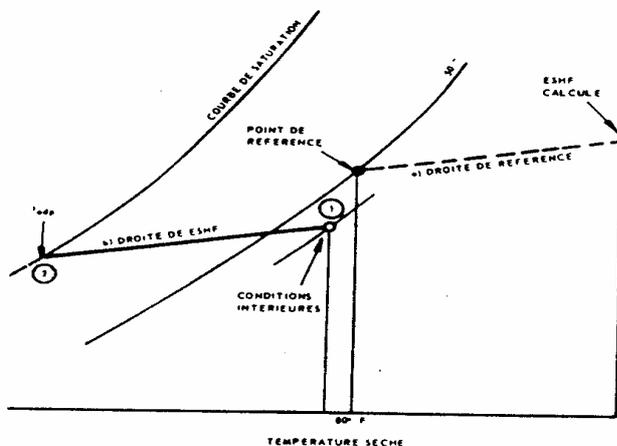
On pourra utiliser la relation suivante pour calculer le débit d'air nécessaire à partir du BF et de l'ADP :

$$M^3/h_{da} = \frac{ERSH}{0,29 (t_{rm} - t_{adp}) (1 - BF)}$$

( $t_{adp}$  étant déterminé à partir du ESHF)



TRACE DES DROITES DE RSHF, GSHF et



TRACE DE LA DROITE DE ESHF

**VIII. *Calculs relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie***

### VIII.1 Abréviation symboles

adp	Apparatus dew point	$m/3h_{ba}$	Débit d'air bypassé autour de la batterie ou du laveur
BF	Bypass factor	$m/3h_{da}$	Débit d'air traité
BF (OALH)	Gains latents par l'air extérieur bypassé	$m/3h_{oa}$	Débit d'air extérieur
BF (OASH)	Gains sensibles par l'air extérieur bypassé	$m/3h_{ra}$	Débit d'air repris
BF (OATH)	Gains totaux par l'air extérieur bypassé	$m/3h_{sa}$	Débit d'air soufflé
		$h$	Enthalpie
		$h_{adp}$	Enthalpie correspondant à l'ADP
		$h_{es}$	Enthalpie correspondant à la température équivalente de surface
		$h_{ea}$	Enthalpie de l'air à l'entrée
db	Bulbe sec	$h_{la}$	Enthalpie à la sortie
dp	Point de rosée	$h_m$	Enthalpie du mélange air extérieur + air repris
		$h_{oa}$	Enthalpie de l'air extérieur
ERLH	Gains latents effectifs du local	$h_{rm}$	Enthalpie de l'air du local
ERSH	Gains sensibles effectifs du local	$h_{sa}$	Enthalpie de l'air soufflé
ERTH	Gains totaux effectifs du local	$t$	Température
ESHF	SHF effectif	$t_{adp}$	Température correspondant à l'ADP
		$t_{edb}$	Température sèche à l'entrée
		$t_{es}$	Température équivalente de surface
GSHF	SHF total	$t_{ew}$	Température de l'eau à l'entrée
GTHS	Total des gains supplémentaires	$t_{ewb}$	Température humide à l'entrée
		$t_{ldb}$	Température sèche à la sortie
		$t_{lw}$	Température de l'eau à la sortie
OALH	Gains latents par l'air extérieur	$t_{lwb}$	Température humide de l'air à la sortie
OASH	Gains sensibles par l'air extérieur	$t_m$	Température sèche du mélange air extérieur + air repris
OATH	Gains totaux par l'air extérieur	$t_{oa}$	Température sèche de l'air extérieur
		$t_{rm}$	Température sèche de l'air du local
RLH	Gains latents du local	$t_{sa}$	Température sèche de l'air soufflé
RLHS	Gains latents supplémentaires		
RSH	Gains sensibles du local	$W$	Humidité spécifique
RSHF	SHF du local	$W_{adp}$	Humidité spécifique correspondant à l'ADP
RSHS	Gains sensibles supplémentaires	$W_{ea}$	Humidité spécifique de l'air à l'entrée
RTH	Gains totaux du local	$W_{es}$	Humidité spécifique correspondant à la température équivalente de surface
SHF	Sensible Heat Factor	$W_{la}$	Humidité spécifique de l'air à la sortie
		$W_m$	Humidité spécifique du mélange air extérieur + air repris.
TLH	Gains latents totaux	$W_{oa}$	Humidité spécifique de l'air extérieur
TSH	Gains sensibles totaux	$W_{rm}$	Humidité spécifique de l'air du local
wb	Bulbe humide	$W_{sa}$	Humidité spécifique de l'air soufflé

### III. VIII.2 Relations

#### A. MELANGE AIR FRAIS ET AIR REPRIS

$$t_m = \frac{(m3/h_{oa} \times t_{oa}) + (m3/h_{ra} \times t_{rm})}{m3/h_{sa}} \quad (1)$$

$$h_m = \frac{(m3/h_{oa} \times h_{oa}) + (m3/h_{ra} \times h_{rm})}{m3/h_{sa}} \quad (2)$$

$$W_m = \frac{(m3/h_{oa} \times W_{oa}) + (m3/h_{ra} \times W_{rm})}{m3/h_{sa}} \quad (3)$$

#### B. BILAN FRIGORIFIQUE

$$ERSH = RSH + (BF)(OASH) + RSHS \quad (4)$$

$$ERLH = RLH + (BF)(OALH) + RLHS \quad (5)$$

$$ERTH = ERLH + ERSR \quad (6)$$

$$TSH = RSH + OASH + RSHS \quad (7)$$

$$TLH = RLH + OALH + RLHS \quad (8)$$

$$GTH = TSH + TLH + GTHS \quad (9)$$

$$RSH = 0,29 \times m3/h_{sa} \times (t_{rm} - t_{sa}) \quad (10)$$

$$RLH = 0,71 \times m3/h_{sa} \times (W_{rm} - W_{sa}) \quad (11)$$

$$RTH = 1,18 \times m3/h_{sa} \times (h_{rm} - h_{sa}) \quad (12)$$

$$RTH = RSH + RLH \quad (13)$$

$$OASH = 0,29 \times m3/h_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) \quad (14)$$

$$OALH = 0,71 \times m3/h_{oa} \times (W_{oa} - W_{rm}) \quad (15)$$

$$OATH = 1,18 \times m3/h_{oa} \times (h_{oa} - h_{rm}) \quad (16)$$

$$OATH = OASH + OALH \quad (17)$$

$$(BF)(OATH) = (BF)(OASH) + (BF)(OALH) \quad (18)$$

$$ERSR = 0,29 \times m3/h_{da} \times (t_{rm} - t_{adp})(I - BF) \quad (19)$$

$$ERLH = 0,71 \times m3/h_{da} \times (W_{rm} - W_{adp})(I - BF) \quad (20)$$

$$ERTH = 1,18 \times m3/h_{da} \times (h_{rm} - h_{adp})(I - BF) \quad (21)$$

\* RSHS, RLHS et GTHS représentent les gains supplémentaires dus aux gains (échauffement et fuites), aux pompe et ventilateur. Dans un but de simplification, ces gains n'ont pas été pris en considération dans les exemples, mais on ne devra pas les omettre en pratique. Leur estimation pourra se faire à partir des indications données dans le chapitre 7. Les valeurs ainsi trouvées seront introduites dans la feuille de calcul représentée chapitre 1, figure 1.

† Voir paragraphe H, l'origine de ces constantes.

‡ Quand l'installation ne comporte pas de bypass autour du groupe de traitement d'air on a :  $m3/h_{da} = m3/h_{sa}$ .

$$TSH = 0,29 \times m3/h_{da} \times (t_{edb} - t_{ldb})^{**} \quad (22)$$

$$TLH = 0,71 \times m3/h_{da} \times (W_{ea} - W_{la})^{**} \quad (23)$$

$$GTH = 1,18 \times m3/h_{da} \times (h_{ea} - h_{la})^{**} \quad (24)$$

#### C. SENSIBLE HEAT FACTOR (SHF)

$$RSHF = \frac{RSH}{RSH + RLH} = \frac{RSH}{RTH} \quad (25)$$

$$ESHF = \frac{ERSR}{ERSR + ERLH} = \frac{ERSR}{ERTH} \quad (26)$$

$$GSHF = \frac{TSH}{TSH + TLH} = \frac{TSH}{GTH} \quad (27)$$

#### D. BYPASS FACTOR (BF)

$$BF = \frac{t_{ldb} - t_{adp}}{t_{edb} - t_{adp}}; (I - BF) = \frac{t_{edb} - t_{ldb}}{t_{edb} - t_{adp}} \quad (28)$$

$$BF = \frac{W_{la} - W_{adp}}{W_{ea} - W_{adp}}; (I - BF) = \frac{W_{ea} - W_{la}}{W_{ea} - W_{adp}} \quad (29)$$

$$BF = \frac{h_{la} - h_{adp}}{h_{ea} - h_{adp}}; (I - BF) = \frac{h_{ea} - h_{la}}{h_{ea} - h_{adp}} \quad (30)$$

#### E. AIR A L'ENTREE ET A LA SORTIE DE L'APPAREIL

$$t_{edb}^{**} = \frac{(m3/h_{oa} \times t_{oa}) + (m3/h_{ra} \times t_{rm})}{m3/h_{sa} \dagger} \quad (31)$$

$$t_{ldb} = t_{adp} + BF(t_{edb} - t_{adp}) \quad (32)$$

$t_{ewb}$  et  $t_{lwb}$  seront déterminés par lecture du diagramme psychrométrique d'après les valeurs calculées de  $h_{ea}$  et  $h_{la}$ .

$$h_{ea}^{**} = \frac{(m3/h_{oa} \times h_{oa}) + (m3/h_{ra} \times h_{rm})}{m3/h_{sa} \dagger} \quad (33)$$

$$h_{la} = h_{adp} + BF(h_{ea} - h_{adp}) \quad (34)$$

\*\* Si  $t_m$ ,  $W_m$  et  $h_m$  sont égales aux conditions à l'entrée de l'appareil, elles peuvent être remplacées respectivement par :  $t_{edb}$ ,  $W_{ea}$  et  $h_{ea}$ .

## F. TEMPERATURE DE L'AIR SOUFFLE

$$t_{sa} = t_{rm} - \frac{RSH}{0,29 (m3/h_{sa\ddagger})} \quad (35)$$

## G. DEBIT D'AIR

$$m3/h_{da} = \frac{ERSH}{0,29 \times (I - BF) (t_{rm} - t_{adp})} \quad (36)$$

$$m3/h_{da} = \frac{ERLH}{0,71 \times (I - BF) (W_{rm} - W_{adp})} \quad (37)$$

$$m3/h_{da} = \frac{ERTH}{1,18 \times (I - BF) (h_{rm} - h_{adp})} \quad (38)$$

$$m3/h_{da\ddagger} = \frac{TSH}{0,29 (t_{edb} - t_{ldb})} \quad (39)$$

$$m3/h_{da\ddagger} = \frac{TLH}{0,71 (W_{ea} - W_{la})} \quad (40)$$

$$m3/h_{da\ddagger} = \frac{GTH}{1,18 (h_{ea} - h_{la})} \quad (41)$$

$$m3/h_{sa} = \frac{RSH}{0,29 (t_{rm} - t_{sa})} \quad (42)$$

$$m3/h_{sa} = \frac{RLH}{0,71 (W_{rm} - W_{sa})} \quad (43)$$

$$m3/h_{sa} = \frac{RTH}{1,18 \times (h_{rm} - h_{sa})} \quad (44)$$

$$m3/h_{ba} = m3/h_{sa} - m3/h_{da} \quad (45)$$

Remarque : On a  $m3/h_{da} < m3/h_{sa}$  uniquement dans le cas où l'installation comporte un by-pass autour du groupe de traitement d'air .

$$m3/h_{sa} = m3/h_{oa} + m3/h_{ra} \quad (46)$$

## H. CONSTANTES

$$0,29 = \frac{0,245}{0,845} \text{ Kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

Avec 0,245 = Chaleur spécifique de l'air humide à 21° db et 50 % RH - Kcal/°C × Kg d'air sec.

0,845 = Volume spécifique de l'air humide à 21° db et 50 % RH - m<sup>3</sup>/Kg d'air sec.

$$0,71 = \frac{0,6}{0,845} \text{ Kcal/m}^3 \cdot \text{g}$$

0,6 = Valeur moyenne de la quantité de chaleur cédée par la condensation de 1 gr. de vapeur d'eau.

0,845 Voir ci dessus.

$1,18 = \frac{1}{0,845} = \text{Kg/m}^3$  Volume spécifique apparent de l'air humide dans les conditions ci-dessus.

**Module : TRAITEMENT D'AIR  
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 2 H**

**I. TP.1** *Enumérer les composants et les propriétés de l'air.*

**Description sommaire de l'activité :** *Le stagiaire doit répondre aux questions.*

## EXERCICE PRATIQUE

1. *Qu'est-ce qu'un air sec ?*
2. *Quelle est sa composition ?*
3. *A combien égale la constante d'air sec, et d'air humide ?*
4. *Définir la chaleur spécifique ( $C_p$ ) d'air sec ?*
5. *De quelles paramètres physiques dépend la masse volumique ( $\rho$ ) d'air sec ?*
6. *Quelle est la différence entre l'air sec et l'air humide ?*
7. *expliquer la différence entre le degré hygrométrique et l'humidité absolue.*
8. *Comment calcule-t-on le degré de saturation.*
9. *Comment calcule-t-on :*
  - 9.1 *volume ( $V_{nm^3}$ ) occupé par le mélange d'air humide et d'air sec ?*
  - 9.2 *la pression partielle ( $p'$ ) de la vapeur d'eau dans le mélange ?*
  - 9.3 *l'enthalpie d'air humide ?*
10. *Quelle est la relation entre le degré hygrométrique et l'humidité absolue ?*

***I. TP.2 Expliquer les conditions influant sur le confort humain dans un local***

***Description sommaire de l'activité : Le stagiaire doit répondre aux questions***

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Quelle sont les conditions de confort ?*
2. *Suivant les quelles modes sont effectuées les échanges de chaleur entre le corps et l'ambiance ?*
3. *Quelle sont les facteurs qui influent sur les échanges de chaleur entre le corps et l'ambiance ? et comment ?*

*I. TP.3 Définir les termes utilisés en psychrométrie et lire ces termes sur le DP.*

**Description sommaire de l'activité : le stagiaire doit répondre aux questions.**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Quelle sont les paramètres physiques qui constitues le DP ?*
2. *Expliquer juste la position de chaque de ces paramètres sur le DP.*

*I. TP.4 Résoudre des problèmes pratiques à l'aide du DP.*

*Description du contenu : Le stagiaire doit répondre aux questions.*

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Combien faut-il connaître des grandeurs physiques pour déterminer exactement l'état dans lequel se trouve un air humide ?*
2. *Combien des grandeurs physiques d'un air humide peut-on déterminé à l'aide du DP ?*
3. *Quelle sont les grandeurs physiques d'un air humide les quelles peut-on déterminé à l'aide du DP ?*

**I. TP 5** Illustrer diverse position de l'air sur le D.P.

**Description sommaire de l'activité :** Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant diverses positions de l'air sur le D.P.

**Directives particulières :** Cet exercice sera effectuer de manière individuelle par chaque stagiaire et corrigé par le formateur à la fin de leçon.

## 1- Positionnement de points

1.1 – Soit un point C             $t_s = 20^\circ \text{C}$   
    $t_h = 15^\circ \text{C}$

Trouver ses autres caractéristiques :

$$t_r =$$

$$w =$$

$$\rho =$$

$$h =$$

$$\Phi =$$

$$\rho =$$

1.2 – Soit un point D             $t_s = 25^\circ \text{C}$   
    $\Phi = 50 \%$

Trouver     $t_h =$

$$t_r =$$

$$w =$$

$$\rho =$$

$$h =$$

$$\rho =$$

1.3 – Soit un point E             $t_h = 10^\circ \text{C}$   
    $w = 4 \text{ g/kg}$

Trouver     $t_s =$

$$t_r =$$

$$p_v =$$

$$h =$$

$$e =$$

$$v =$$

1.4 – Soit un point F             $h = 10 \text{ kcal/kg}$   
    $\rho = 0,86 \text{ m}^3/\text{kg}$

Trouver     $t_s =$

$$t_h =$$

$$t_r =$$

$$w =$$

$$\rho =$$

$$\Phi =$$

1.5 – Soit un point G             $h = 17 \text{ kcal/kg}$   
    $t_r = 15^\circ \text{C}$

Trouver     $t_s =$

$$t_h =$$

$$t_r =$$

$$w =$$

$$\rho =$$

$$\varphi =$$

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée :1H**

**II. TP.1** Reconnaître et tracer juste l'évaluation d'air à travers de la BF.

**Description du contenu :** Le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

- 1. Par quelle droite est-elle présentée l'évaluation d'air à travers de la batterie froide  
1) sèche , 2) humide ?*
- 2. Comment appelle-t-on cette droite ?*
- 3. Quels paramètres physiques faut-il connaître pour tracer cette évaluation ?*
- 4. Comment peut être calculée la puissance frigorifique ?*
- 5. Comment peut on calculer la puissance frigorifique à l'aide du DP.*
- 6. Comment distingue-t-on la batterie froide sèche et humide ?*
- 7. Définir la batterie froide avec une efficacité de 100%*
  - 1. Présenter les calculs de la chaleur latente, sensible et totale d'une B.F par le DP*
  - 2. Définir SHF d'une B.F*
  - 3. Définir la tes d'une B.F à détente directe et à l'eau glacée.*
  - 4. Définir efficacité et facteur de by-pass d'une B.F*
  - 5. Expliquer le cas où la droite d'évaluation de 'air ne coupe pas la courbe de saturation*

**II. TP.2** *Reconnaître et tracer l'évaluation de l'air à travers d'un humidificateur sur le DP en utilisant les paramètres physiques pris en considération.*

**Description du contenu :** *Le stagiaire doit répondre aux questions.*

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Par quelle droite est-elle présentée l'évaluation de l'air à travers d'un humidificateur :*
  - *à l'air vapeur ?*
  - *à la laveur adiabatique ?*
  - *à laveur à eau réchauffée ?*
  - *à laveur à eau refroidie ?*
  - *par atomisation ?*
2. *Comment appelle-t-on cette droite ?*
3. *Quels paramètres physiques faut-il connaître pour tracer cette évaluation ?*
4. *Comment peut être calculée la consommation d'eau par un humidificateur ?*
5. *Présenter les calculs de la chaleur latente, sensible et totale d'un humidificateur.*
6. *Quel est l'avantage d'un humidificateur à vapeur ?*
7. *Quelle est la température d'air à la sortie d'un laveur à adiabatique ?*
8. *Quelle est la température de l'eau d'un laveur à adiabatique ?*
9. *Quelle est l'efficacité d'un laveur d'air ?*
10. *Quelle est la température d'air à la sortie d'un laveur à eau refroidie ?*
11. *Pour quelles température peut fonctionner le laveur à eau refroidie ?*
12. *Expliquer le principe d'atomisation*
13. *Quelle est la température de l'eau utilisée par atomisation*

## **EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 20 Min**

**II. TP.3** *Reconnaître et tracer juste l'évaluation d'air à travers de la batterie chaude sur le DP en utilisant les paramètres physiques pris en considération.*

**Description du contenu :** *Le stagiaire doit répondre aux questions.*

**Lieu de l'activité :** *salle de cours*

**Lieu de l'activité :**

**Directives particulières :**

## EXERCICE PRATIQUE

1. *Par quelle droite est-elle présentée l'évaluation d'air à travers d'un déshumidificateur ?*
2. *Quelle paramètres physiques faut-il connaître pour tracer cette évaluation ?*
3. *Comment peut-être calculée la consommation de l'eau par un déshumidificateur ?*
4. *Présenter les calcules de la chaleur latente, sensible et totale d'un déshumidificateur.*
5. *A quelle température l'eau dans un déshumidificateur ?*

**II. TP.4** Reconnaître et tracer l'évaluation d'air à travers d'un déshumidificateur en utilisant les paramètres physiques pris en considération.

**Description du contenu :** Le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** salle de cours

**Directives particulières :**

## EXERCICE PRATIQUE

1. *Par quelle droite est-il présenté l'évaluation d'air à travers de la batterie chaude ?*
2. *Comment appelle-t-on cette droite ?*
3. *Quels paramètres physiques faut-il connaître pour tracer cet évaluation ?*
4. *Comment peut être calculée la puissance calorifique ?*
5. *Comment peut on calculer la puissance calorifique à l'aide du DP ?*

**II. TP.5** Reconnaître l'évaluation d'air à travers de casson de mélange et tracer cet évaluation sur le DP en utilisant les paramètres physiques pris en considération

**Description du contenu :** Le stagiaire doit répondre aux question.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## EXERCICE PRATIQUE

1. Donner la définition d'air mélangé avec l'air recyclé et d'air extérieur
2. Pourquoi l'air extérieur est-il nécessaire pour la climatisation correcte ?
3. Comment calcule-t-on le débit d'air extérieur ?
4. Quelle droite doit suivre l'évaluation d'air dans un caisson de mélange ?
5. Comment calcule-t-on la  $t_m$  ?

**II. TP.6 Décrire diverses évolutions d'air à travers des appareils de TA**

**Description sommaire de l'activité :** Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant diverses évolutions d'air à travers les appareils de T.A

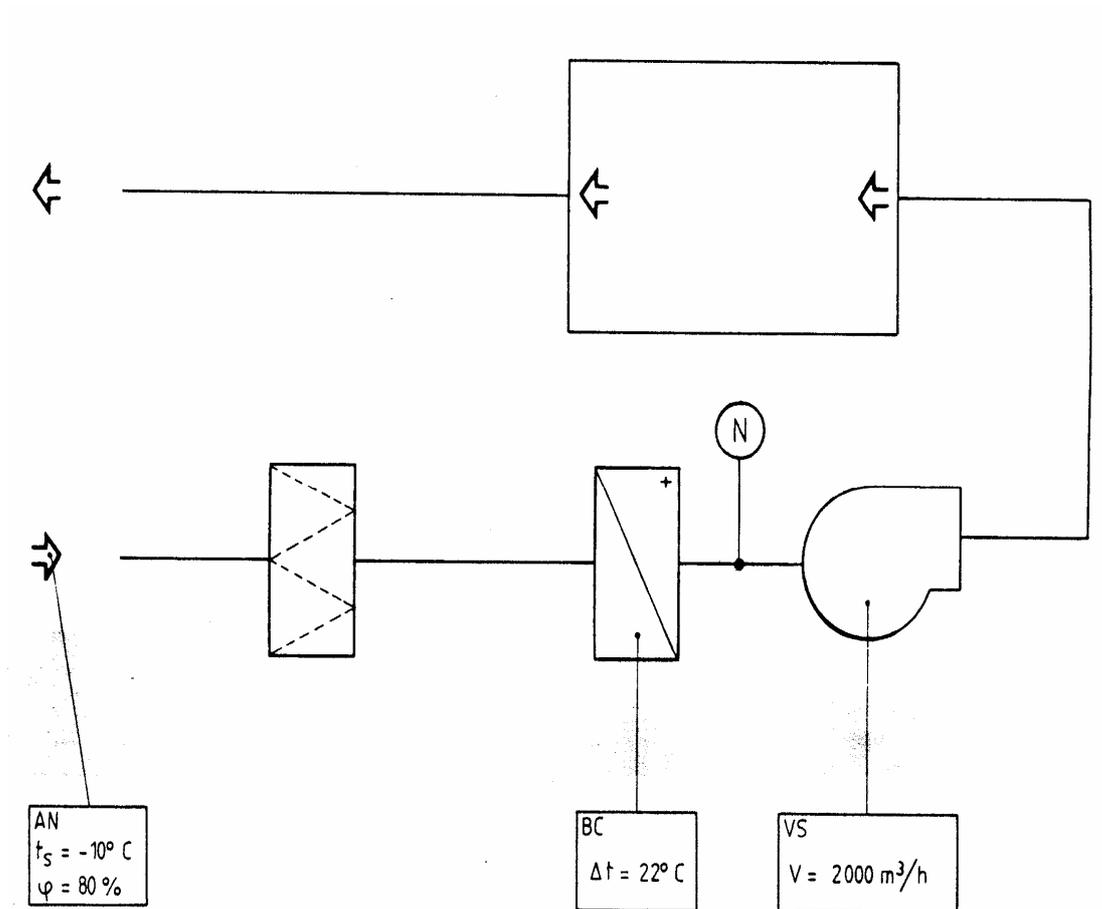
**Lieu de l'activité :**

**Liste du matériel :**

**Directives particulières :**

## Utilisation du diagramme psychrométrique

### Exercice N°1

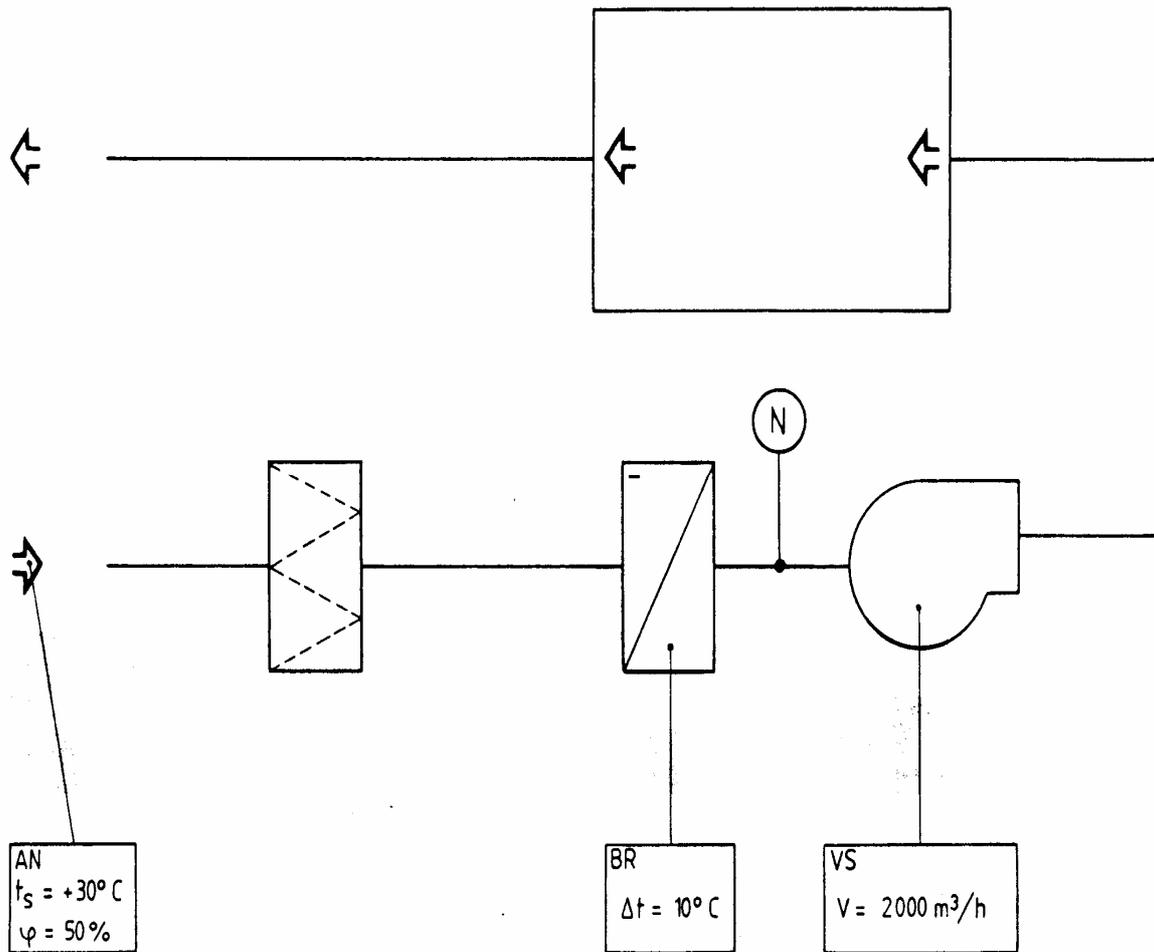


Dans cette installation de ventilation  $2\ 000\text{m}^3/\text{h}$  d'air sont chauffés à l'aide de la batterie BC.

il s'agit de déterminer :

- 1- Les caractéristiques du point N à la sortie de la batterie BC
- 2- La puissance de la batterie BC.

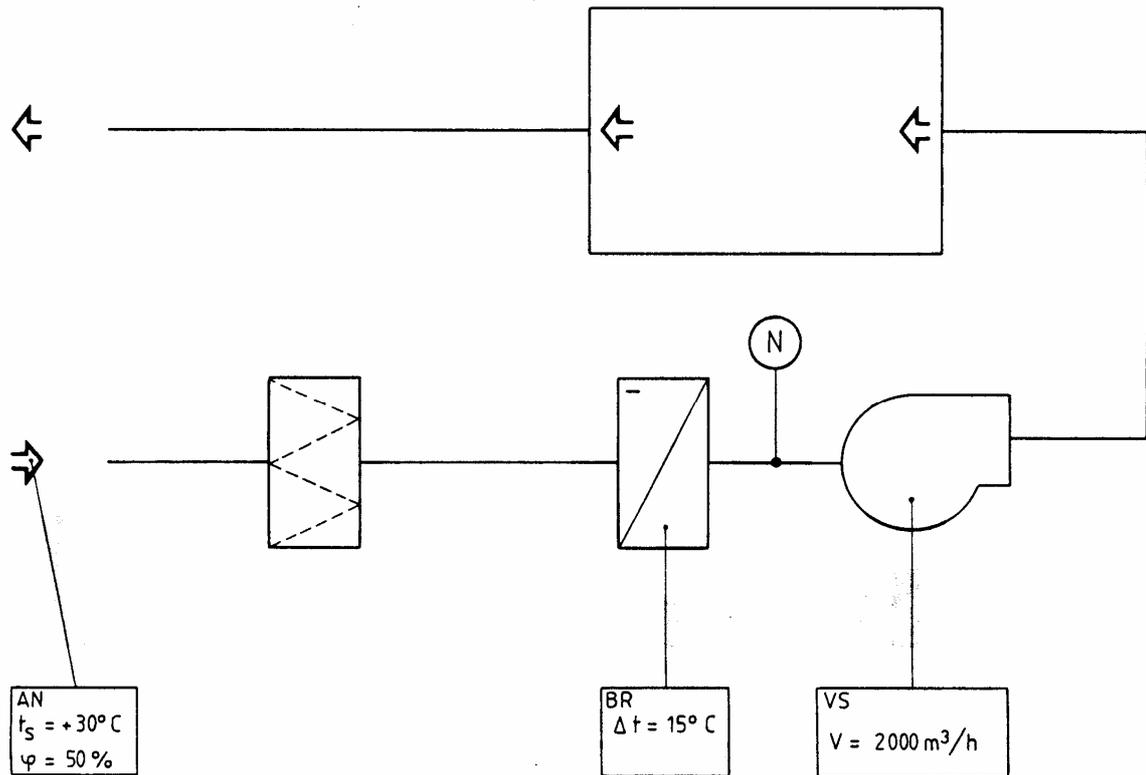
**Exercice N°2**



Dans cette installation de ventilation  $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  sont refroidis à l'aide de la batterie BR.  
Il s'agit de déterminer :

- 1- Les caractéristiques du point n à la sortie de la batterie BR.
- 2- La Puissance de la batterie BR.

### Exercice N°3



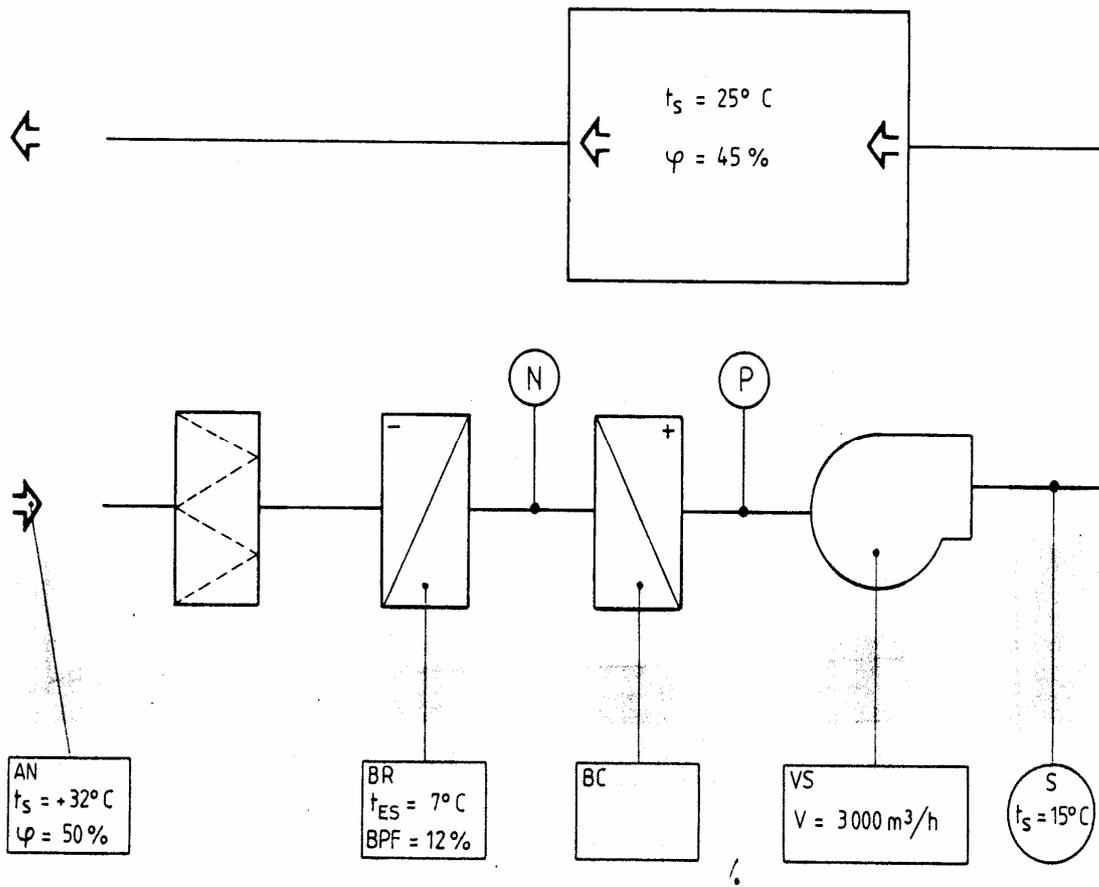
Dans cette installation de ventilation 2 000m<sup>3</sup>/h d'air sont refroidis à l'aide de la batterie Br . On se propose de déterminer :

- 1- Les caractéristiques du point N à la sortie de la batterie BR.
- 2- La puissance de la batterie BR.

On étudiera les deux cas suivants :

- 1<sup>er</sup> cas – la batterie BR a une efficacité de 100%
- 2<sup>e</sup> cas - la température équivalente de surface de BR est :  $t_{es} = 10^\circ\text{C}$

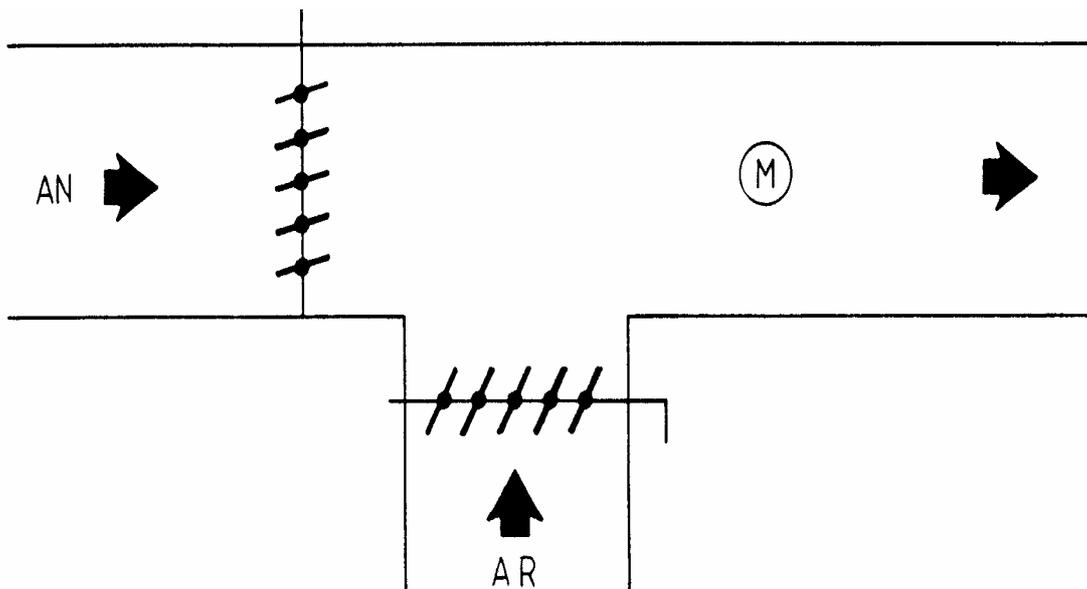
**Exercice N°4**



Avec cette installation de climatisation on désire obtenir les conditions intérieures indiquées. Il s'agit de déterminer :

- 1- Les caractéristiques des points N, P et S
- 2- Les caractéristiques des batteries BR et BC

**Exercice N° 5**

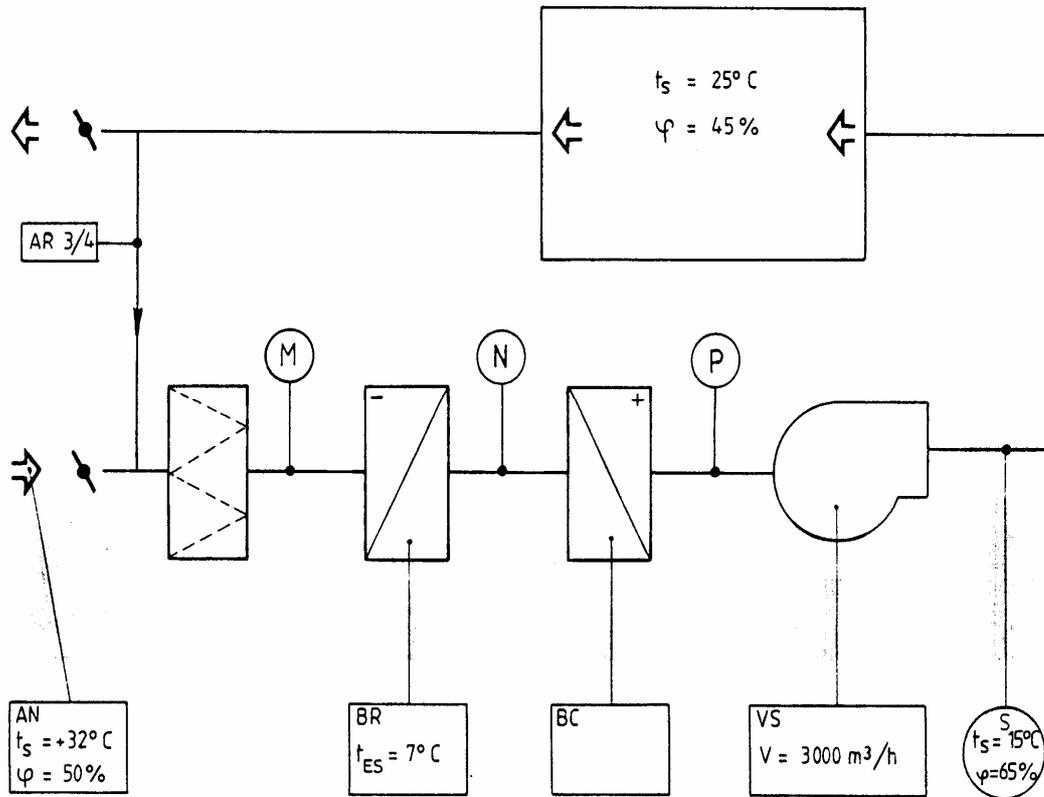


A l'aide d'un caisson de mélange on recycle une partie de l'air extrait en agissant sur les voltes disposés sur la gaine d'air neuf (AN) et sur la gaine d'air recyclé (AR).

Il s'agit de déterminer les caractéristiques du point de mélange M connaissant celles de AN et AR et la quantité d'air recyclé .

		<b>Position 1 50% d'AR</b>	<b>Position 2 75% d'AR</b>	<b>Position 3 20% d'AN</b>
<b>AN</b>	$T_s$	-10°C	+30°C	+32°C
	$\varphi$	80%	50%	50%
	$V$			
<b>AR</b>	$T_s$	20°C	22%	25°C
	$\varphi$	45%	50%	45%
	$V$			
<b>M</b>	$T_s$			
	$\varphi$			
	$v$	2 000m <sup>3</sup> /h	2 000m <sup>3</sup> /h	1 000m <sup>3</sup> /h

Exercice N°6



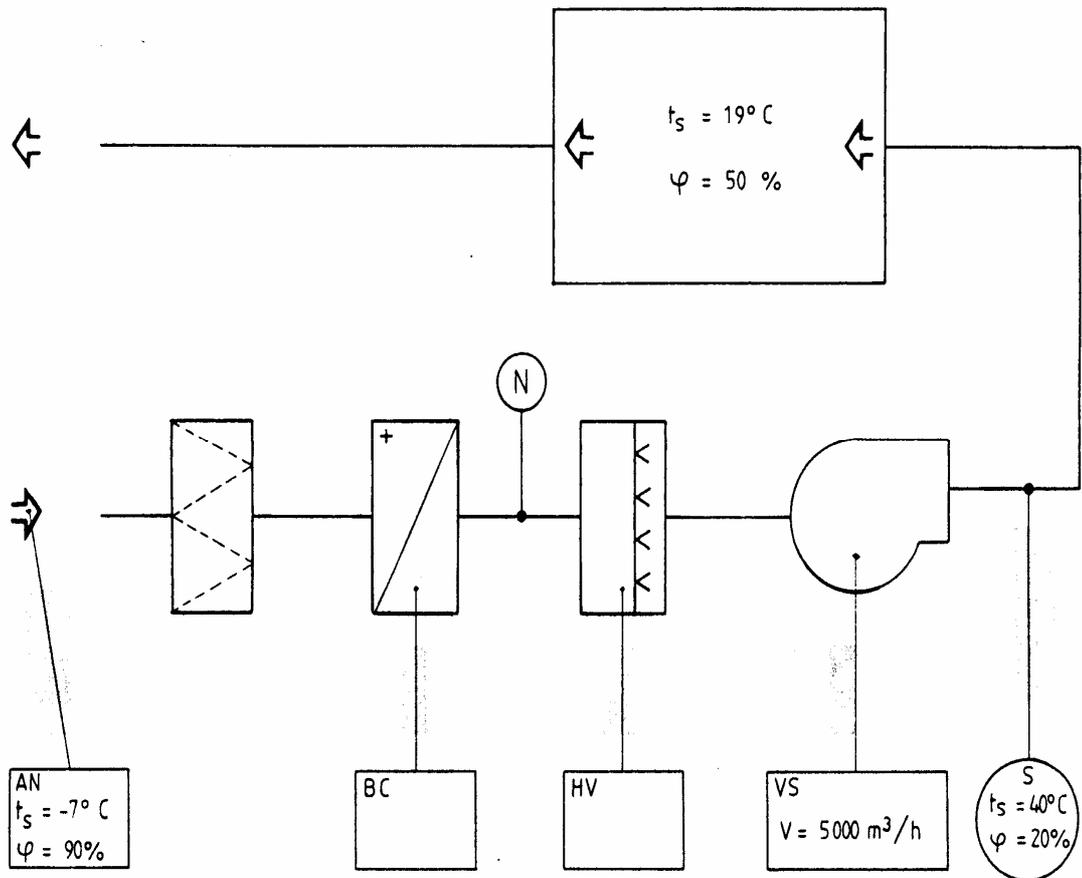
Sur l'installation précédente on a monté un caisson qui permet de recycler une partie (les  $\frac{3}{4}$ ) de l'air qui était au paravent rejeté ; on a également changé la batterie de refroidissement.

Les conditions intérieures désirées et le point de soufflage sont les même que précédemment .

On se propose déterminer :

- 1- les caractéristiques des points M,N,P et S
- 2- Les caractéristiques des batteries BR et BC

Exercice N° 7

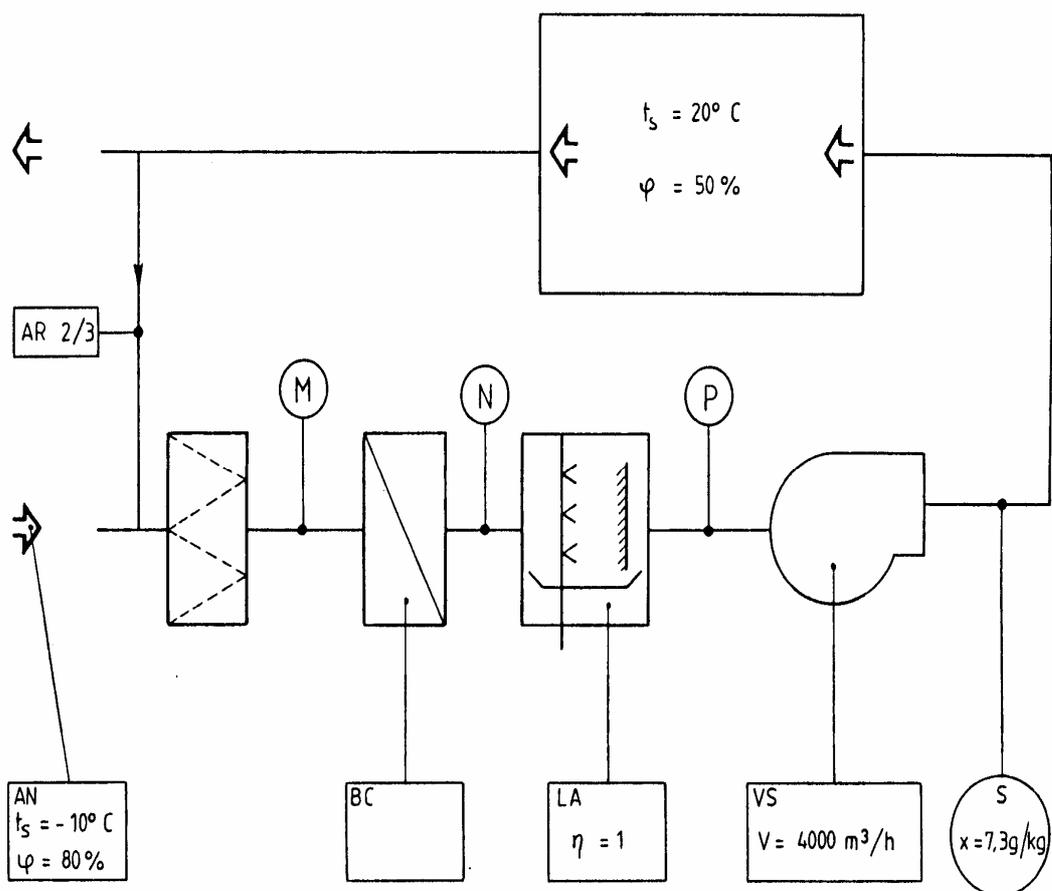


Dans cette installation de climatisation 5 000m<sup>3</sup>/h d'air sont chauffés puis humidifiés de vapeur .

on se propose de déterminer :

- Les caractéristiques du point N
- La puissance de la batterie BC
- La quantité d'eau vaporisée l'humidification

### Exercice N° 8



Dans cette installation de climatisation  $4\,000\text{m}^3/\text{h}$  d'air sont chauffés puis humidifiés par un laveur d'aire à recyclée, dont le rendement sera considéré comme égale à 1. il s'agit de déterminer :

- 1- Les caractéristiques des points M, N, et P.
- 2- La puissance de la batterie BC.
- 3- La quantité d'eau cédée par le laveur à l'aire.
- 4- Le même exercice sera fait en prenant un rendement pour le laveur de 0,8

## **EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 1 H**

**III. TP.1** Calculer la quantité de la chaleur et l'humidité à apporter où à évacuer par un appareil de T.A.

**Description du contenu :** Le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Presenter le schéma général d'une C. T.A.*
2. *Quelles opérations de T.A. modifient l'enthalpie et l'humidité de l'air ?*
3. *Ecrire le bilan du T.A.*
4. *Définir la grandeur caractéristique d'une c. T.A.*
5. *Comment calcul t-on l'enthalpie apportée par l'eau et la vapeur ?*
6. *Tracer l'évaluation d'air à travers d'un appareil de traitement d'air à l'aide du bilan de T.A.*
7. *Définir l'angle d'évaluation d'un T.A.*
8. *De quelles paramètres dépend l'angle 'i' d'un T.A.*
9. *Etabli une correspondance entre 'i' et 'j' en fonction du type de T.A.*
10. *Tracer l'évaluation d'air à travers d'un appareil de T.A. à l'aide du 'j'*

**III. TP.2** Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un appareil de traitement d'air

**Description de l'activité :** Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant les calculs relatifs à l'évolution d'air dans les appareils de T.A

## Evolution de l'air dans une centrale de climatisation ( climatisation en hiver)

Un caisson de traitement d'air réalise les traitements successifs suivant : fig 1

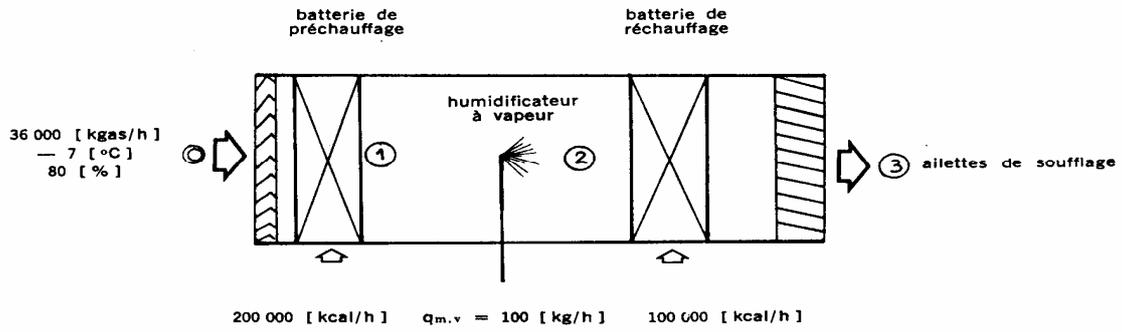


Fig. 1 : Etude d'un caisson de traitement d'air

-Un préchauffage au moyen d'une batterie chaud de puissance  $p_1=200\ 000$  [kcal /h] égal au 232[kg].

-Une humidification grâce un humidificateur à vapeur dont le débit horaire est égal à 100[kg] de vapeur saturée à 100 [°C].

-Un réchauffage complémentaire au moyen d'une batterie chaud dont la puissance st égale à

$$p_2=100\ 000$$
 [kcal /h] ou 116 [kw].

Le d ébit d'air entrant dans le caisson est égal à 36000[Kgas/h]aux conditions suivantes :

$$\theta_0 \begin{cases} \theta : -7[^\circ\text{C}]. \\ \varphi : 80 [\%]. \end{cases}$$

1)déterminions d'abord le rapport caractéristique

global du traitement ainsi que l'angle d'évolution correspondant.

Calculons l'enthalpie global échange au cours du traitement en appliquant la relation :

$$Q = P+H=P+M$$

Dans le cas de vapeur saturée à 100 [°C], les tables

de vapeur indiquent une enthalpie massique égale :

$$h_v= 640$$
 [Kcal/kg]=2675[kj/kg]

Par conséquent

$$Q= 200.000+100.000+100*640$$

$$Q= 364.000$$
 kcal/h = 422,2[kw]

Le rapport caractéristique global est Egal à :

$$J=364.000/ 100=3640$$
 [Kcal/kg]

$$=+15215$$
 [Kjl/kg]

l'angle d'évolution i correspondant vaut environ:

$$i=172^\circ$$

2)Déterminions ensuite les rapports caractéristiques partiel de chaque traitement élémentaire ainsi que les grandeurs caractéristiques de l'air après chaque traitement.

-préchauffage  $j=200\ 00=+\infty$  et  $i=180^\circ$  la droite d'évolution est horizontale.

L'enthalpie de l'air après ce préchauffage est égale à :

$$H_1=h_0+ p_1 /q_{mas}$$

$$200\ 000$$

$$H_1=-0,7+ \frac{\quad}{36000}=4,9$$
 [kcal/Kgas]

$$36000$$

$$=4,9$$
 [kcal/Kgas]= 20,48[kj/Kgas]

pour obtenir les grandeurs caractéristiques du point

1 à la sortie du préchauffage, nous menons une horizontal par le point 0 ( $\theta_0 =-7[^\circ\text{C}], \varphi_0 80\%$ )

le point 1 est déterminer par l'instruction de l'horizontal et de l'insethalpie

$$h_1 =4,9$$
 [kcal/h]=20,5[kj/Kgas]

la figure 2 montre cette construction.

$M$  est la quantité de vapeur humidifiant l'air traité  $h_v$  est l'enthalpie massique de la vapeur utilisée dans l'humidificateur. Elle est donnée par les tables de vapeur.

Par conséquent :

$$J = \frac{M h_v}{M} = h_v$$

Le rapport caractéristique de ce type d'humidification est donc égal à l'enthalpie massique de la vapeur utilisée dans l'humidificateur.

Les tables de vapeur indiquent pour la vapeur saturée à 100 [°C]

$$H_v = 936 \text{ [kcal/Kg]} = 2671 \text{ [kJ/Kg]}$$

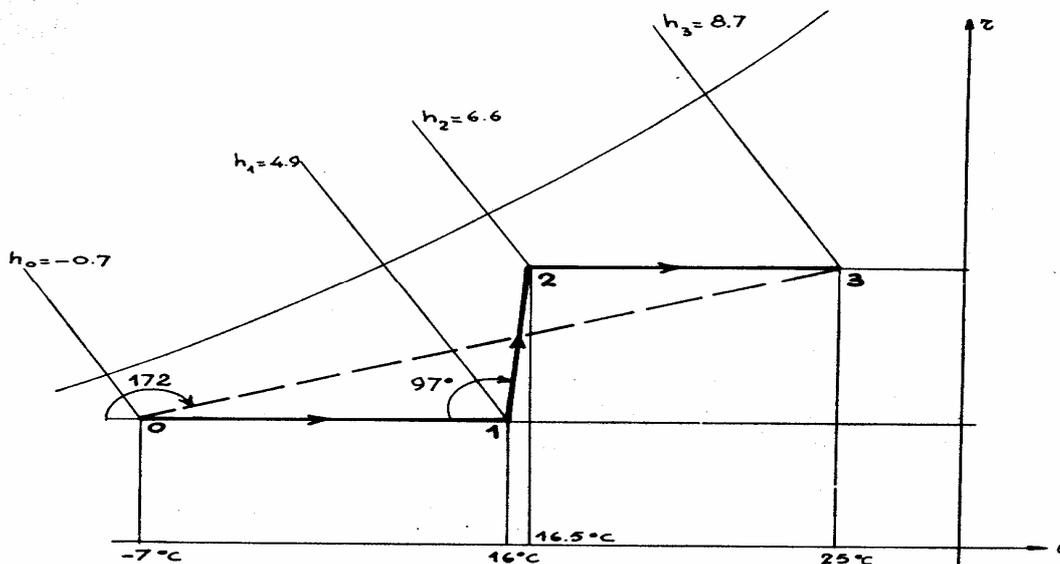


Fig. 2 : Etude d'un traitement d'air global (climatisation hiver)

<p><b>-humidification</b>  pour calculer le rapport caractéristique <math>j</math> de cette humidification, il faut déterminer la quantité d'enthalpie apporté à l'air traité la quantité de vapeur saturée.  L'enthalpie apportée est donnée par la relation :</p> $H_h = M \cdot h_v$ <p>Dans laquelle :</p>	<p>Donc :</p> $J = 639 \text{ [kcal /kg]} \text{ ou } 2671 \text{ [kJ /kg]}$ <p>L'angle d'évolution correspondant est égal à :</p> $l = 67^\circ$ <hr/> <p>pour déterminer la teneur en humidité de l'air après cette humidification, il suffit d'appliquer la relation :</p>
--	---

$$r_2 = r_1 + M / q_{mas}$$

$$r_1 = 0,0017 + \frac{100}{36000} = 0,0045 \text{ [kg/kgas]}$$

Le point 2 représentatif de l'air à la sortie de l'humidificateur est déterminé par l'intersection

- de la droite passant par le point 1 et faisant un angle de 97° avec l'horizontale
- de la droite représentant une teneur en humidité

$$r_2 = 0,0045 \text{ [kg/kgas]}$$

la figure 2 montre cette construction

**-réchauffage complémentaire**

$$j = 100\,000 / 0 = \infty \text{ et } i = 0$$

la droite d'évolution est une horizontale.

L'enthalpie spécifique  $h_3$  de l'air après réchauffage est égal à :

$$H_3 = h_2 = p_2 / q_{mas}$$

$$h_3 = 6,6 + 100\,000 / 36\,000 = 9,4 \text{ [kcal/kgas]} \\ = 39,9 \text{ [kj/kgas]}$$

le point 3 représentatif de l'air après ce réchauffage s'obtient par l'intersection

- de l'horizontale passant le point 2
- de l'isenthalpie dont la valeur est égal à 9,4 [kcal/kgas]

les grandeurs caractéristiques des point 1 à 3 sont données au tableau suivant :

**TABLEAU**

Points représentatifs	$\theta$ [°C]	$\phi$ [%]	$h$ [Kcal/Kgas]	$r$ [Kg/Kgas]	$v$ [m <sup>3</sup> /Kgas]
0	-7	80	-0,7	0,0018	0,757
1	16	15	4,9	0,0018	0,823
2	16,5	38	6,6	0,0045	0,827
3	27,5	20	9,4	0,0045	0,857

**Remarque :** L'inclinaison de la droite 03 représentant l'évolution global de traitement d'air successif est sensiblement égale à 172°, valeur que nous avons calculée précédemment.

**IV. TP.1 Effectuer les calculs relatifs à un local climatisé**

**Description du contenu : Le stagiaire doit répondre aux questions.**

## **EXERCICE PRATIQUE**

- 1. Présenter le schéma général d'un local climatisé.*
- 2. Ecrire le bilan d'un local climatisé*
- 3. définir le grandeur caractéristique d'un local climatisé.*
- 4. définir les apports et les déperditions d'un local climatisé*
- 5. Tracer l'évolution d'air dans un local climatisé à l'aide du bilan.*

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée :30 min**

**IV. TP.2 Tracer l'évolution d'air dans un local climatisé en utilisant la rapport 'J'**

**Description du contenu : le stagiaire doit répondre aux questions.**

**Lieu de l'activité : Salle de cours**

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Décrire le schéma de la droite d'évolution de l'air soufflé dans le local climatisé*
2. *Définir l'écart de soufflage*
3. *Définir l'angle de soufflage 'i'*
4. *De quelle paramètre dépend l'inclinaison de droite de soufflage ?*

**EXERCICE PRATIQUE DE SYNTHÈSE**

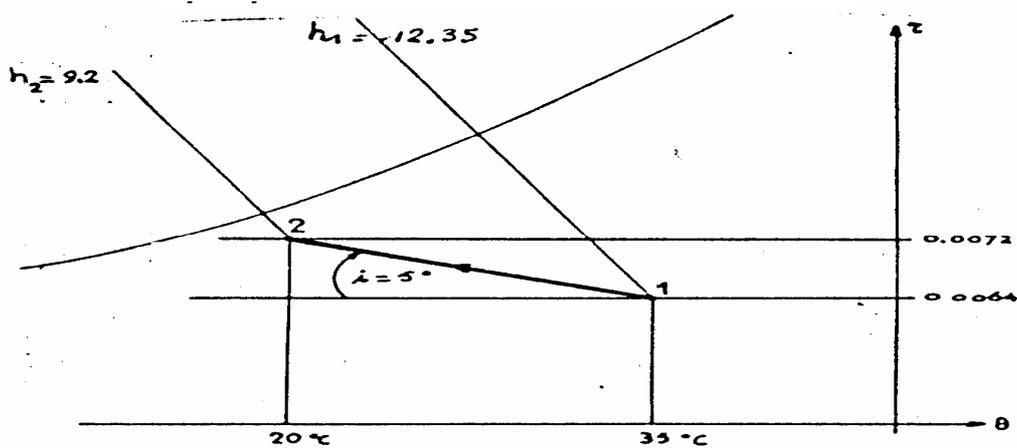
**Durée :3 H**

**IV. TP.3** *Effectuer des calculs relatifs à l'évolution d'air dans un local climatisé.*

**Description sommaire de l'activité :** *Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant les calculs relatifs à l'évolution d'air dans un local climatisé.*

## Exercice N°1

(évolution d'hiver) :  
évolution de l'air soufflé dans un



Rapports des occupants = 580[w] et 0,25 [kj/h].

$$\text{on a : } j = \frac{H_o}{M} = \frac{-1740 + 580}{0,25 \times 1000 / 3600} = -16700 \text{ [kj/kg]}$$

l'angle  $i$  est voisin de  $5^\circ$   
en prenant un écart de soufflage de  $[^\circ\text{C}]$ , le point  $i$  de soufflage est alors parfaitement défini = à partir du point 2 avec angle de  $5^\circ$ , et connaissant la température de soufflage de  $35^\circ\text{C}$ .  
on peut vérifier en déterminant  $j$  par la relation :  $j = \frac{h_2 - h_1}{r_2 - r_1}$

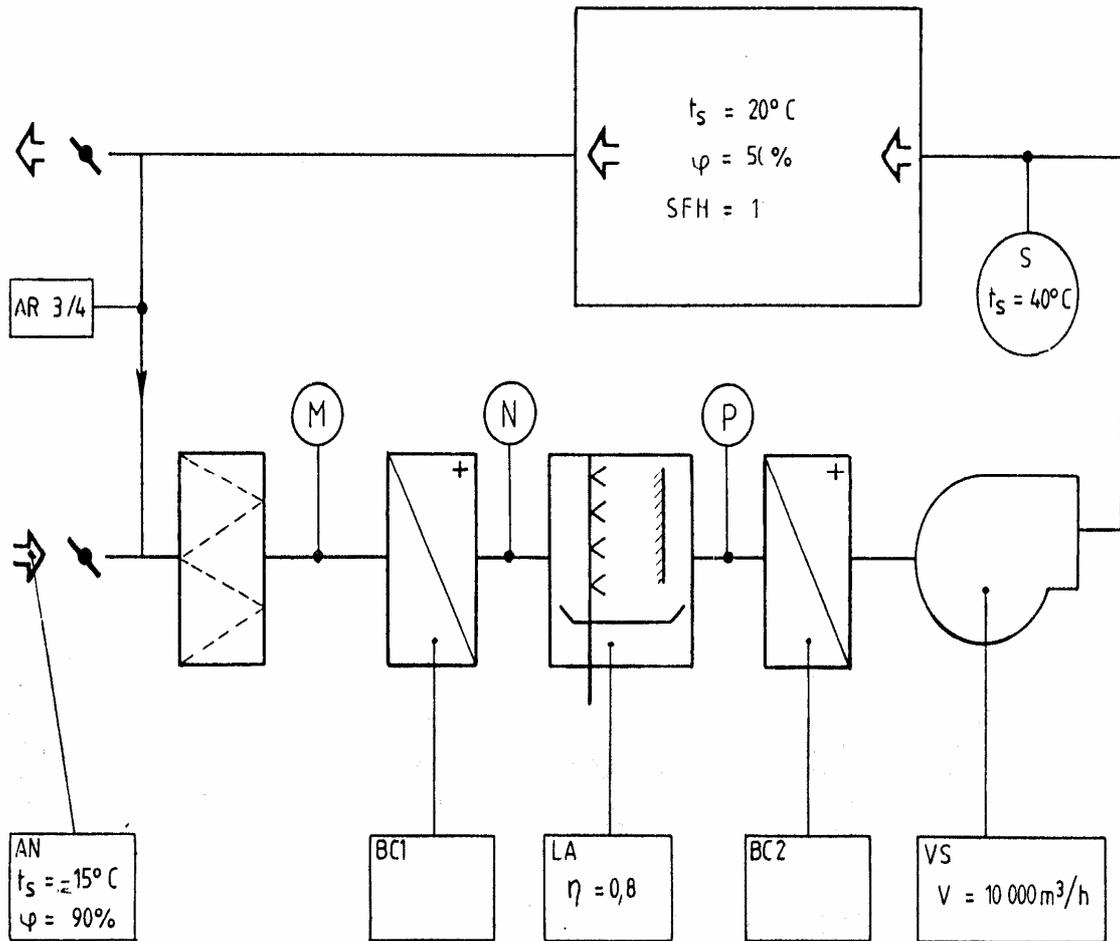
$$j = \frac{(9,2 - 12,35)}{(0,0072 - 0,0064)} = -3940 \text{ [kcal/kg]} \\ = -16500 \text{ [kj/kg]}$$

à la précision près de lecture du diagramme.

le débit d'air sec à souffler dans le local est alors  $q_{\text{mas}} = H_o / (h_2 - h_1) = (M / (r_2 - r_1))$   
(voir la séquence i)

$$\text{d'où } q_{\text{mas}} = (-1740 + 580) / (9,2 - 12,35) \times 1,16 = 317 \text{ [kg/h]}.$$

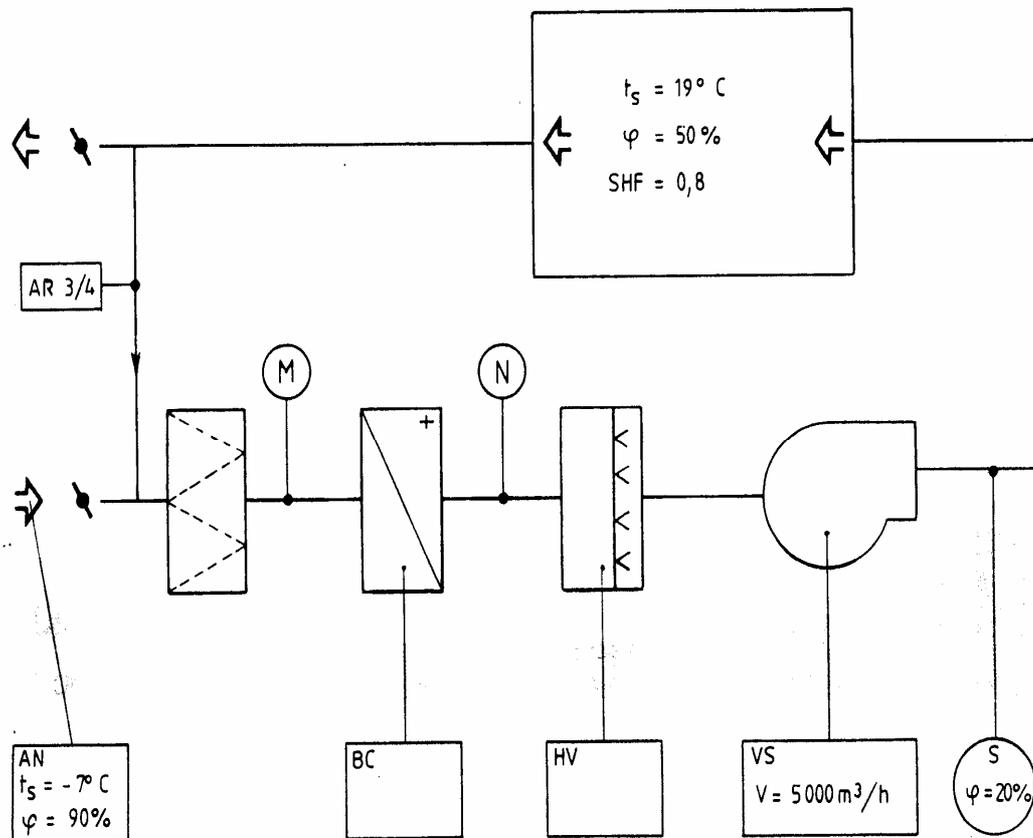
Exercice N° 2



Dans cette installation de climatisation 10 000m<sup>3</sup>/h d'air traité par deux batteries de chauffage et un laveur d'air .il s'agit de déterminer :

- 1 Les déperditions dans le local
- 2 l'humidité apporter ou évacuer dans le local.

### Exercice N° 3



Sur l'installation précédente on a monté un caisson qu permet de recycler une partie (les  $\frac{3}{4}$ ) de l'air était auparavant rejeté. Compte tenu des caractéristiques indiquées il s'agit de déterminer :

- 1 Les déperditions du local
- 2 L'humidité apporter au évacuer dans le local.

**V. TP.1** Distinguer les filtres dans une installation de C.T.A, décrire leur principe de fonctionnement et leur rôle.

**Description du contenu :** le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Pourquoi faut-il filtrer l'air extérieur.*
2. *Présenter la classification des filtres*
3. *Citer les types des filtres*
4. *Quelles matières filtrantes utilise-t-on généralement*
5. *Décrire les différentes filtres utilisées dans CTA*

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 20 Min**

**V. TP.2** Distinguer les batteries (refroidisseurs et réchauffage) dans une installation de C. TA, décrire leur principe de fonctionnement et leur rôle.

**Description du contenu :** le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Décrire les types des batteries utilisés en C.TA.*
2. *Quels fluides primaires utilise-t-on pour a) refroidissement ?  
b) réchauffage ?*
3. *Quelle doit être la vitesse de l'air sur la surface de la section droite des batteries ?*
4. *Combien des rangées de tubes sont nécessaires sur une installation de refroidissement ?*
5. *Définir une disposition à contre-courant quelles sont ces avantages ?*
6. *Par quel appareil est réglé le débit de réfrigérant dans l'évaporateur ?*
7. *Quelle est la différence entre l'évaporateur 'sec' et 'noyé' ?*
8. *Quelle est la différence entre BC et BF et pourquoi ?*
9. *Présenter les calculs d'écart moyen de température : 1. EMA et 2. E. M. L.*

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 20 Min**

**V. TP.3 Distinguer les laveurs d'air dans une installation de C. T.A**

**Description du contenu : le stagiaire doit répondre aux questions.**

**Lieu de l'activité : Salle de cours**

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Décrire les types de laveur d'air utilisé en C.T.A.*
2. *Présenter le schéma de principe d'un laveur d'air.*
3. *De quels côté du ventilateur doit être installé un laveur d'air ?*
4. *Quelles précautions faut-il prendre contre les odeurs dans un laveur d'air ?*
5. *Par quel l'équation calcule-t-on le débit d'eau circulée dans un laveur d'air pour un besoin de froid ?*
6. *Sur quels principes est basé les calculs d'un laveur d'air .*
7. *Quelle est le facteur de correction d'un laveur d'air ?*

**V. TP.4** Décrire le principe et le fonctionnement des appareils de C.T.A

**Description sommaire de l'activité :** Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant le fonctionnement des appareils de T.A

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## EXERCICE PRATIQUE

### Exercice N° 1

$T_e$  eau glacée = 12°C

$T_s$  eau glacée = 6°C

$T_o = 2°C$

- a) calculer l'écart moyen logarithmique
- b) calculer l'écart moyen arithmétique

Dans le cas : 1. circulation dans le même sens des 2 fluides 2 à contre-courant

### Exercice N° 2

Données : 7m<sup>3</sup>/s débit d'air à  $t_s=21°C$  et  $T_n = 10°C$  ;

10<sup>6</sup>/s-débit d'eau à 32°C

Facteur de correction 0,85

Déterminer :  $t$  eau dans la bache et l'état de l'air de sortie du laveur

**VI. TP.1** Composer le CTA à partir des conditions des bases données et tracer l'évolution d'air à travers d'un CTP.

**Description du contenu :** le stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Quels sont les conditions des bases ?*
2. *Quels sont les appareils utilisés généralement en régime de a) refroidissement ?  
b) réchauffage !*
3. *Dans quel cas utilise-t-on simultanément une B.F et B.C ?*
4. *Quelle est la disposition des appareils dans une CTA toute saison.*

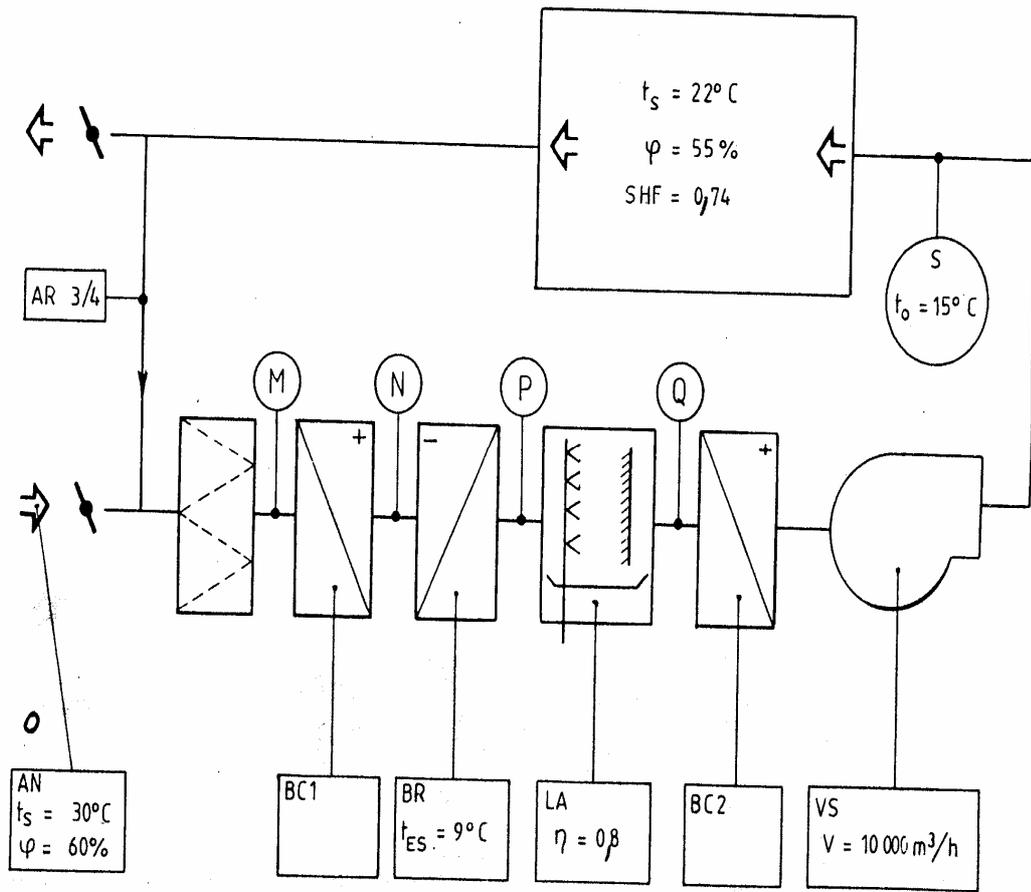
**VI. TP .2 Choisir le meilleur traitement d'air**

**Description sommaire de l'activité :** Le stagiaire doit effectuer un exercice illustrant son choix de meilleur traitement d'aire.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

### Exercice N° 1



er :

Cette installation de climatisation traite  $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$  d'air. Il s'agit de déterminer :

- 1- les caractéristiques des points M, N, P, Q et S
- 2- les puissances des batteries utilisées
- 3- les apports dans le local

## **Exercice N°2**

### **Climatisation d'un laboratoire en hiver**

*On veut climatiser en hiver un laboratoire ou les conditions intérieures à réaliser sont 25 [°c ] et 60%*

*Les déperditions (pour une température extérieure de base de -5 [°c ]et une hygrométrie de 80%) s'élèvent à 25000[Kcal/h] ou 29 [KW].*

- *enthalpie global 5000Kcal/Kg*
- *apport d'humidité 10 [kg/h] ou 2,78 [ g/s].*

*On adopte un écart de soufflage de 20 degrés et un taux de recyclage de 40%  
Il s'agit de déterminer :*

- 1- *Choisir l'installation de climatisation*
- 2- *Calculer les caractéristiques du laboratoire.*
- 3- *Calculer le débit de soufflage.*
- 4- *Tracer l'évolution d'air à tracer de la CTA et des laboratoires*
- 5- *Calculer les caractéristiques des appareils.*

### **Exercice N° 3**

#### **Climatisation d'une salle de conférence en été (climat chaud et sec)**

*On se propose de climatiser une salle de conférence en été (climat chaud et très sec). Les conditions à réaliser à l'intérieur sont 25°C et 50 [%].*

*Les charges globales sont égales à 1500 Kcal/h égaux à 2 [kg/h]. La température extérieure de base est de 35 [°C] et [le degré hygrométrique extérieur de 20 [%]. On admet un écart de soufflage de 5 degrés et on suppose que l'installation sans recyclage.*

*Il s'agit de déterminer :*

- 1- Choisir l'installation de climatisation*
- 2- Calculer les caractéristiques de la salle de conférence*
- 3- Calculer le débit de soufflage*
- 4- Tracer l'évolution d'air à travers de la CTA et de la salle de conférence*
- 5- Calculer les caractéristiques des appareils.*

## Exercice N° 4 : CLIMATISATION D'UN ATELIER DE PREFABRICATION

On se propose de climatiser un atelier de fabrication de façon que les conditions intérieures en toute saison soient constantes et égales à

$$\theta_i = 20[^\circ\text{C}] ; \varphi_i = 50[\%]$$

Cet atelier peut contenir au maximum 438 travailleurs autorisés à fumer pendant des activités modérées comportant un léger déplacement.

Cet atelier n'est le siège d'aucune émanation nocive ou dangereuse.

Le calcul des **charges thermiques** a donné les résultats suivants :

### **hiver :**

-déperditions du local 140 000 [kcal/h] ou 162,45 [kw]

-apport thermique total par les occupants 15 000 [kcal/h] ou 17,4 [kw]

-apport thermique total par les fabrications et les machines 20 000 [kcal/h] ou [kw]  
-- apport total d'humidité par les fabrications et les occupants 50 [kg/h] ou 0,014[kg/s]

### **été :**

-apport thermique maximal par les parois du local et par l'ensoleillement 50 000 [kcal/h] ou 58[kw]  
-les rapports thermique et d'humidité par les fabrications,

machines et les occupants sont les mêmes qu'en hiver.

**hypothèses de calcul** sont les suivantes :

#### **a) hiver :**

-air extérieur  $\theta_e = -7[^\circ\text{C}]$ .  $\varphi_0 = 80[\%]$   
chute de température dans les conduits reprise d'air 3[deg]

- chute de température dans les conduits soufflage 5 [deg]

- température de soufflage 40[ $^\circ\text{C}$ ]  
-rendement de l'humidificateur adiabatique 90[ $\%$ ]

#### **b) été :**

-air extérieur  $\theta_e = 28[^\circ\text{C}]$ .  $\varphi_0 = 60[\%]$   
-gain température dans les conduits de soufflage : 1 degré

-température moyenne de l'eau glacée dans la batterie froide : 5[ $^\circ\text{C}$ ]

Dans ces conditions, on se propose de déterminer toutes les caractéristiques permettant le choix des matériels installés, savoir

#### **en hiver :**

- 1) le débit d'air soufflé
- 2) le taux d'introduction d'air neuf en accord avec la réglementation en vigueur
- 3) les puissances thermiques des batteries de réchauffage
- 4) la consommation d'eau dans l'humidificateur adiabatique

#### **en été :**

le débit massique d'air soufflé étant le même qu'en hiver, calculer :

- 1) les conditions de soufflage
- 2) le rendement et la puissance frigorifique utile de la batterie froide
- 3) la puissance de réchauffage complémentaire pour obtenir l'écart de soufflage adopté précédemment.

En comparant les résultats de la climatisation en hiver et la climatisation en été, on essaiera de concevoir une installation centralisée de traitement d'air en toute saison. On représentera le schéma complet de cette installation avec la régulation et les sécurités fondamentales.

Il s'agit de déterminer :

#### **1) climatisation d'hiver :**

- a) Calcul des caractéristiques de l'atelier
- b) Calcul débit de soufflage
- c) Calcul du taux d'introduction d'air neuf
- d) Choix du TA en hiver
- e) Calcul des caractéristiques des appareils de TA

#### **2) climatisation d'été :**

- a) calcul des caractéristiques de l'air soufflé
- b) choix de  $t_a$  en été
- c) calcul des caractéristiques des appareils de TA

#### **3) climatisation toute saison**

- a) composition de la CTA.

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 1 H**

**VII . TP.1** Indiquer des données relatives aux diverses notions sur le DP.

**Description du contenu :** Stagiaire doit répondre aux questions.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. Définir SHF.
2. Définir point de repère et droite de référence.
3. Définir RSHF
4. Tracer la droite de RSHF sur le DP
5. Définir GSHF
6. Tracer la droite de GSHF sur le DP
7. Quel est le point d'intersection entre les droites RSHF et GSHF ?
8. Par quelle formule est donné le débit d'air nécessaire pour compenser les gains de chaleur  
du local ?
9. définir tes et BP.
10. Quelles sont les conditions influent sur le by-pass factor
11. Définir ESHF et tracer sur le DP.

**EXERCICE PRATIQUE**

**Durée : 30 min**

**VIII . TP.1** *Calculer la quantité de la chaleur sensible, latente et totale.*

**Description sommaire de l'activité :** *Le stagiaire doit répondre aux questions.*

## **EXERCICE PRATIQUE**

1. *Comment peut être calculée la température d'air mélangée ?*
2. *la chaleur sensible, latente et totale d'air neuf ?*
3. *Comment peut être calculée ESHF ?*
4. **Comment peut être calculée BF**

**EXERCICE PRATIQUE DE SYNTHÈSE**

**Durée : 4 h 30 Min**

**VIII. TP.2** Effectuer des calculs et tracés relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie.

**Description du contenu :** Ce résumé théorique permet aux stagiaires d'effectuer des calculs et tracés relatifs aux diverses notions utilisées en psychrométrie.

**Lieu de l'activité :** Salle de cours

**Directives particulières :**

## Exercice N ° 1

### Refroidissement et déshumidification

#### Données :

Application-prisonic

Condition de base (été)-35)  $t_{db}, 24^{\circ} t_{wb}$

Condition intérieurs  $-24^{\circ} c t_{db}, 50\% HR$

RHS = 50.000Kcal /h

RLH= 12.5000Kcal/h

Air neuf:  $3400m^3/h_{oa}$

Déterminer

1. Gains dus à l'air extérieur(OAHT)
2. Bilan thermique total (GTH)
3. SHF effectif (SHF)
4. Apparatus dew point( $t_{adb}$ )
5. Débit d'air traité ( $m^3/h_{da}$ )
6. Conditions de air à l'entrée et à la sortie de l'appareil ( $t_{edb}, t_{ewb}, t_{idb}, t_{wb}$ )

## Exercice N ° 2

### Refroidissement déshumidification- Gains latents élevés

#### Données :

Applications : Laboratoire

Conditions de base en été :  $32^{\circ} c t_{db} -23^{\circ} t_{wb}$

Conditions intérieur\* :  $24^{\circ} c t_{db} -50\% HR$

RSH = 30.000 Kcal/h

RLH = 16.250 Kcal /h

Débit d'air extérieure :  $4.250m^3 :h$

Différence de température entre l'aire de soufflage

Et l'air ambiant :  $11^{\circ} c$ (supposée.)

#### Déterminer :

1. les gains dus à l'air extérieur (OAHT).
2. Le SHF effectif (ESHF)
3. l'état de l'air au soufflage( $t_{sa}, w_{sa}$ )
4. Le débit d'air de soufflage ( $m^3/h_{sa}$ )
5. L'état de l'aire à l'entrée de batterie  
( $t_{edb}, t_{ewb}, w_{ea}$ )
6. L'ADP ( $t_{adb}$ )
7. L'état de l'air à la sortie de batterie ( $t_{idb}, t_{iwb}$ )
8. La puissance calorifique nécessaire pour le réchauffage
9. Le bilan thermique total ( GTH)

- 1. Manuel technique du froid**  
*le pohlman (PYC édition)*
- 2. Installations frigorifique**  
*Tome 1 et 2 (PYC édition)*
- 3. Manuel du conditionnement d'air**  
*G. Andréieff de not beck Tome I,II,III, IV*
- 4. Manuel pratique du génie climatique**  
*le Pecknagel (PYC) Tome 1 et*
- 5. Les salles propres**  
*W. Whyte, S. BRESIN (PYC)*
- 6. Manuel de l'humidification de l'air (PYC)**
- 7. La climatisation colinet**
- 8. Le génie climatique de A à Z**
- 9. Procédés de climatisation**  
*(g porcher)*
- 10. Cours de climatisation**  
*(g porcher)*
- 11. Le conditionnement de l'air**  
*(encyclopédie du froid)*  
*A. Judet de la combe*
- 12. Manuel de climatisation TRANE**
- 13. Manuel de climatisation CARRIER**

## **REMERCIEMENT**

*La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce module ( Façonnage du tube acier )*

### **Pour la supervision :**

- **.M : GHRAIRI RACHID** : Chef de projet froid et génie thermique.
- **M: BOUJNANE MOHAMED**: Coordonnateur .CFF-FGT à l'ISGTF.

### **Pour l'élaboration :**

**Mr. Abbés ERRAOUD** : **Formateur à l'ITA INARA**

*Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.*

**MR. SAID SLAOUI**  
**DRIF**