

Formation de Technicien de Maintenance en Équipements Thermiques

Annexe 2

CALCULS DES CTA ET METHODES DE TESTS

- Calculs sur les CTA
- Plan de la CTA de l'AFPA
- Problèmes de Siphons dans les CTA
- Différences entre CTA et Radiateurs
- Vérification du Montage des Batteries
- Mesurer un Débit d'air

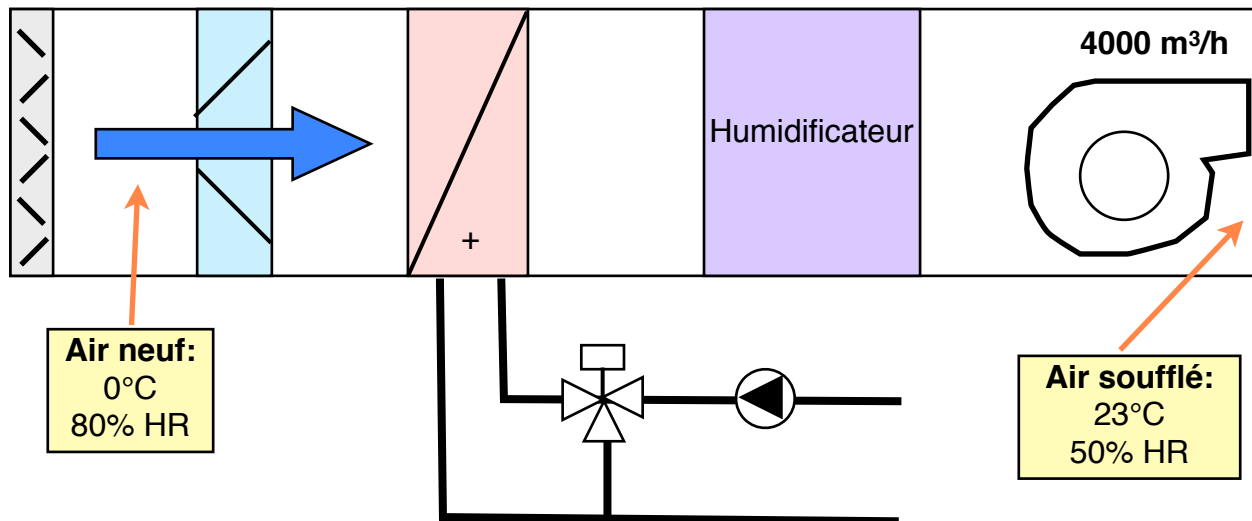


Sept. 2010 - Sept. 2011

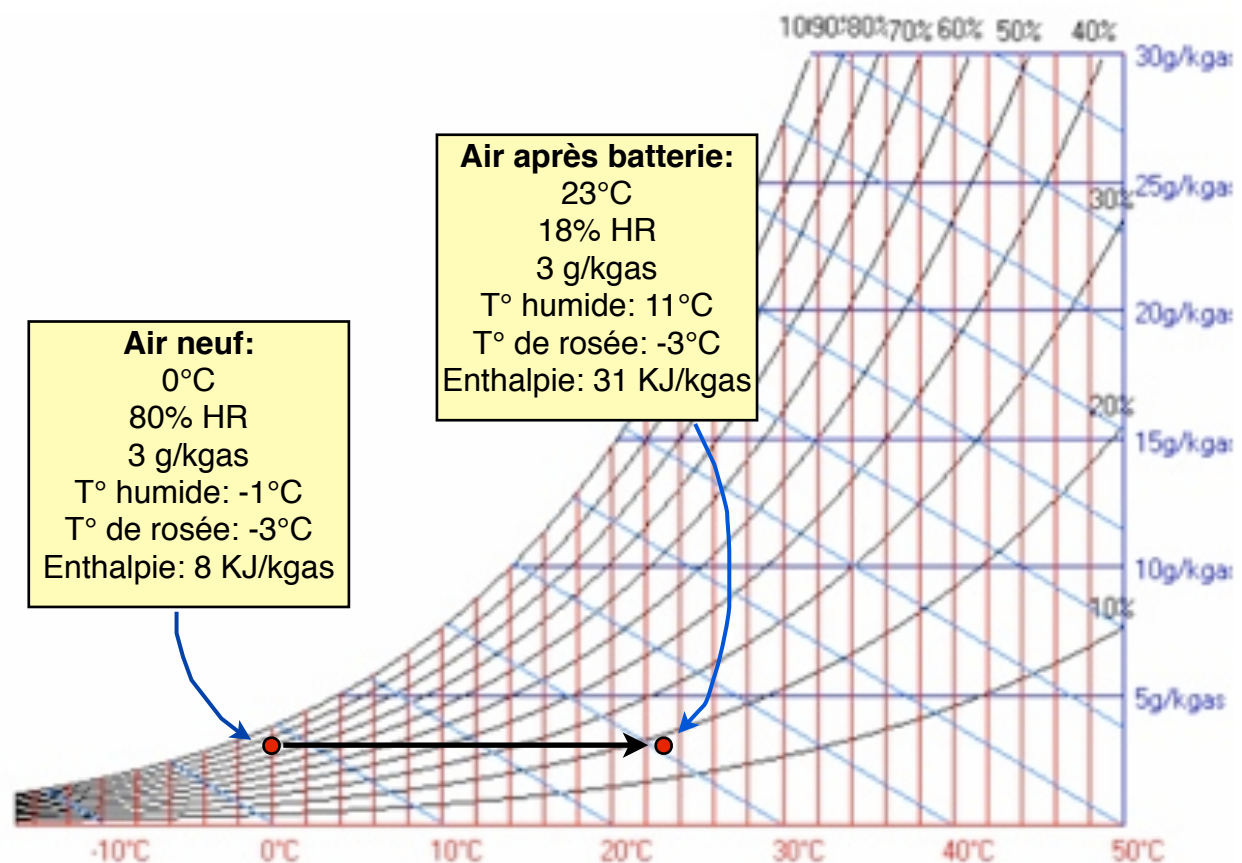
A. Wroblewski

CALCULS SUR LES CTA

Calcul d'une Centrale de Compensation d'une Cuisine



Calculer la puissance de la batterie chaude dans le cas d'un humidificateur adiabatique et d'un humidificateur à vapeur:

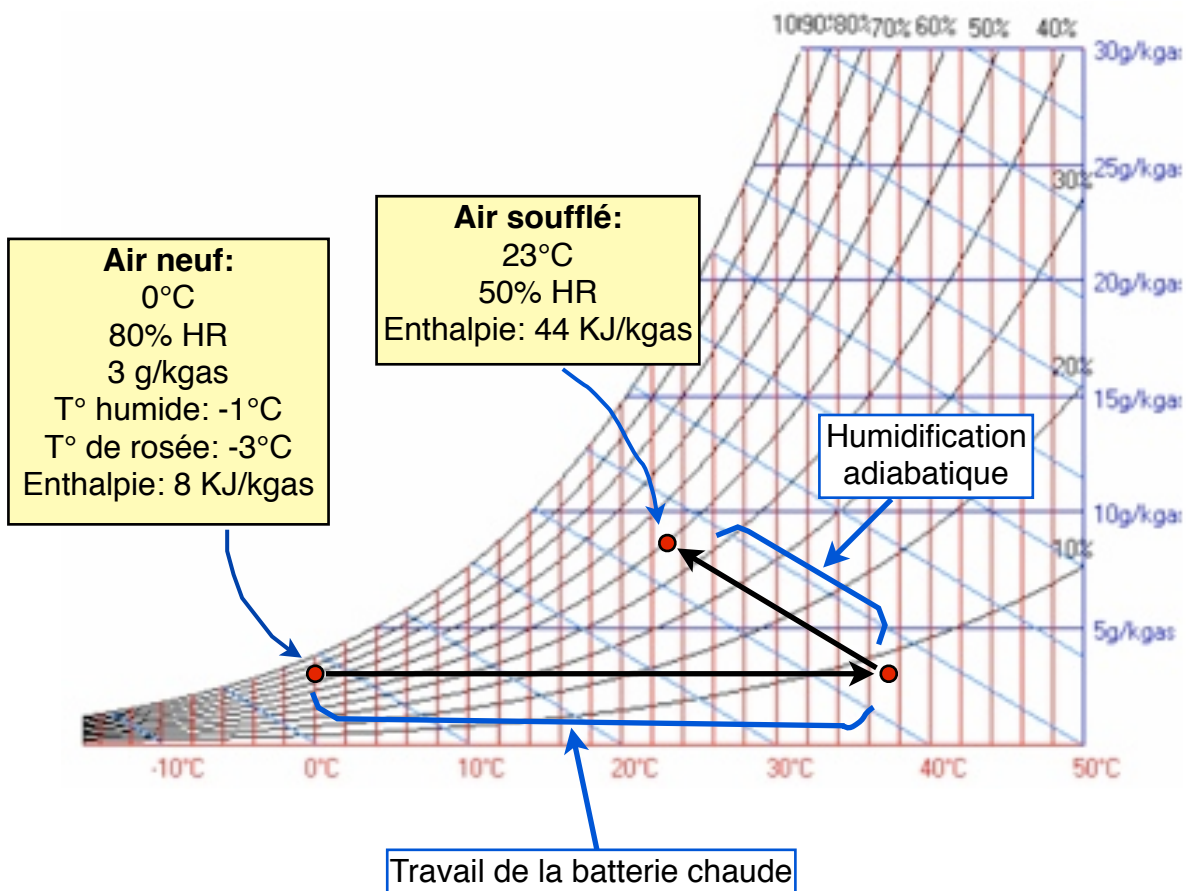


CALCULS SUR LES CTA

Le fait de réchauffer l'air à 23°C fait tomber l'humidité relative à 18%. Or le client demande une HR à 50%.

C'est là qu'intervient l'humidificateur. Selon le choix technologique pour cet humidificateur, il faudra adapter la puissance de la batterie chaude.

1) Puissance batterie chaude avec un humidificateur adiabatique:



La centrale a un débit de 4000 m³/h. On peut donc calculer la puissance nécessaire à la batterie chaude:

$4000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{4800 \text{ kg/h}}$ (*c'est le débit massique d'air par heure*)
Variation d'enthalpie: $44 - 8 = \mathbf{36 \text{ KJ/kgas}}$ (*énergie apportée par kg d'air sec*)
 $4800 \text{ kg/h} \times 36 \text{ KJ/kgas} = \mathbf{172\,800 \text{ KJ/h}}$ (*puissance apportée*)
Sachant que $1\text{Wh} = 3,6 \text{ KJ}$, la puissance = $172800 \text{ KJ/h} / 3,6 \text{ KJ} = \mathbf{48\,000 \text{ W}}$

La puissance de la batterie doit donc être de 48 KW.

On peut également calculer le débit d'eau à apporter à l'humidificateur.

CALCULS SUR LES CTA

Le débit d'eau se calcule ainsi:

$$\begin{aligned} & \text{Débit d'eau à l'humidificateur} \\ & = \\ & (\text{Poids d'eau dans l'air } \mathbf{après} \text{ humidificateur} - \text{Poids d'eau dans l'air } \mathbf{avant} \text{ humidificateur}) \\ & \times \\ & \text{Débit massique d'air de la centrale} \end{aligned}$$

Dans le cas présent:

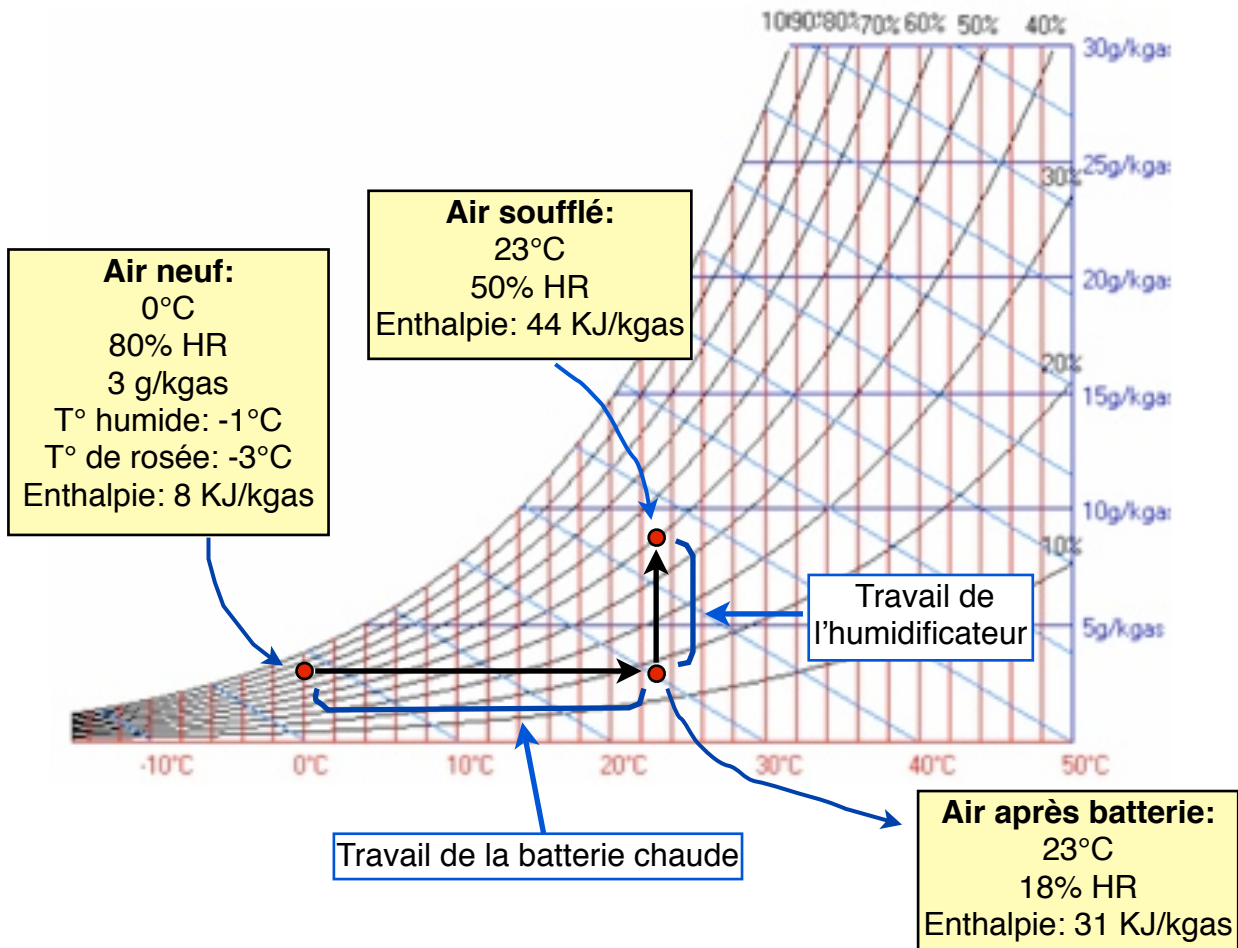
$$8,5 \text{ g/kgas} - 3 \text{ g/kgas} = 5,5 \text{ g/kgas}$$

$$5,5 \text{ g/kgas} \times 4800 \text{ kg/h} = 26\,400 \text{ g/h soit } 26,4 \text{ kg/h (donc } \mathbf{26,4 \text{ l/h})}$$

En résumé, on s'aperçoit que dans le cas d'un humidificateur adiabatique, la batterie chaude doit apporter toute l'énergie nécessaire (avec un surplus de manière à compenser la chute de température due à l'évaporation de l'eau dans l'humidificateur).

CALCULS SUR LES CTA

2) Puissance batterie chaude avec un humidificateur à vapeur



La centrale ayant un débit de 4000 m³/h, la puissance nécessaire à la batterie chaude est donc:

4000 m³/h x 1,2 kg/m³ = **4800 kg/h** (*c'est le débit massique d'air par heure*)
 Variation d'enthalpie: 31 - 8 = **23 KJ/kgas** (*énergie apportée par kg d'air sec*)
 4800 kg/h x 23 KJ/kgas = **110 400 KJ/h** (*puissance apportée*)
 Sachant que 1Wh = 3,6 KJ, la puissance = 110400 KJ/h / 3,6 KJ = **30 666 W**

La puissance de la batterie doit donc être de 30,66 KW.

La puissance apportée par l'humidificateur à vapeur est égale à:
 Variation d'enthalpie: 44 - 31 = **13 KJ/kgas** (*énergie apportée par kg d'air sec*)
 4800 kg/h x 13 KJ/kgas = **62 400 KJ/h** (*puissance apportée*)
 Sachant que 1Wh = 3,6 KJ, la puissance = 62400 KJ/h / 3,6 KJ = **17 333 W**
 C'est la puissance apportée par l'humidificateur à vapeur.

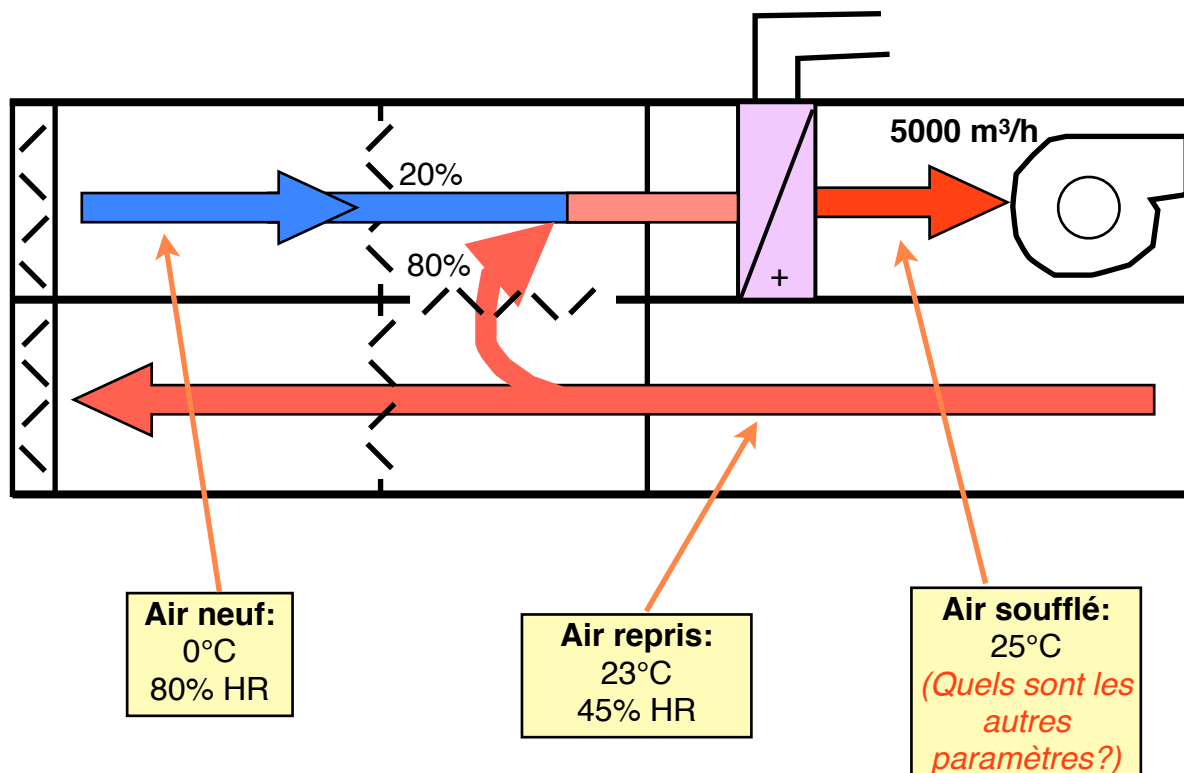
CALCULS SUR LES CTA

On constate donc que la batterie apporte 30,66 KW et l'humidificateur 17,33 KW. La somme des 2 puissances vaut 48 KW comme dans le cas de l'humidificateur adiabatique. Sauf qu'ici, la puissance est apportée en partie par la batterie chaude et en partie par l'humidificateur à vapeur.

Dans le second cas, la batterie chaude doit donc être moins puissante.

Par contre, quel que soit le type d'humidificateur, le débit d'eau à apporter est le même (soit 26,4 l/h dans le cas présent).

Calcul de CTA avec Caisson de Mélange



Le diagramme psychrométrique va nous permettre de déterminer:

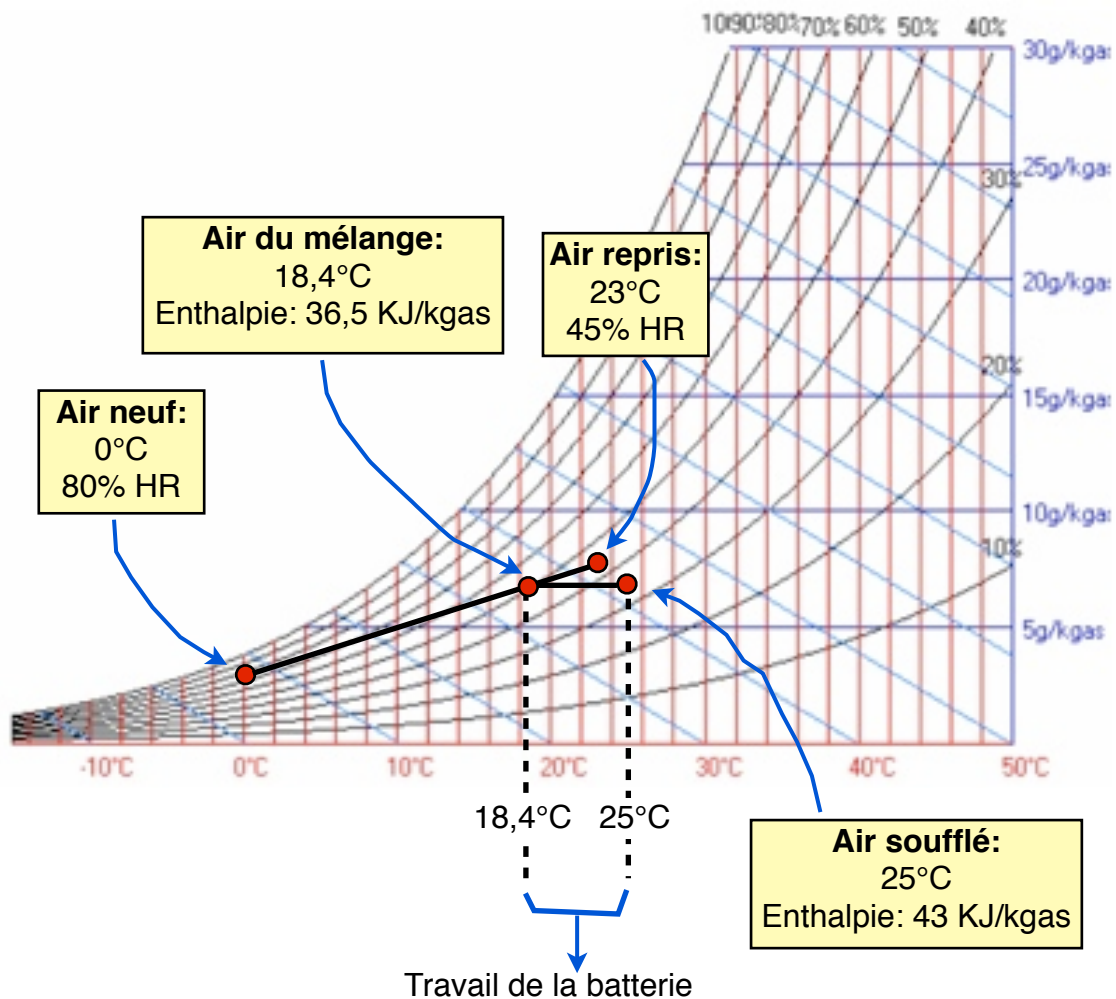
- la valeur des autres paramètres de l'air soufflé après le caisson de mélange
- la puissance nécessaire à la batterie chaude

1) Détermination de la température de l'air mélangé:

$$T^{\circ} = (0,2 \times 0^{\circ}\text{C}) + (0,8 \times 23^{\circ}\text{C}) = 18,4^{\circ}\text{C}$$

CALCULS SUR LES CTA

2) Report sur le diagramme psychrométrique du point de mélange en sortie de caisson:



3) Calcul de la puissance de la batterie:

$5000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 6000 \text{ kg/h}$ (*c'est le débit massique d'air par heure*)
Variation d'enthalpie: $43 - 36,5 = 6,5 \text{ KJ/kgas}$ (*énergie apportée par kg d'air sec*)
 $6000 \text{ kg/h} \times 6,5 \text{ KJ/kgas} = 39\,000 \text{ KJ/h}$ (*puissance apportée*)
Sachant que $1\text{Wh} = 3,6 \text{ KJ}$, la puissance = $39000 \text{ KJ/h} / 3,6 \text{ KJ} = 10\,833 \text{ W}$

La puissance de la batterie doit donc être de 11 KW.

CALCULS SUR LES CTA

Notions de T° de Surface et de Rendement d'une Batterie Froide

Soit une batterie froide (5/10°C) ayant un rendement de 70% et une température de surface de 6°C au dessus de la température moyenne de l'intérieur de la batterie.

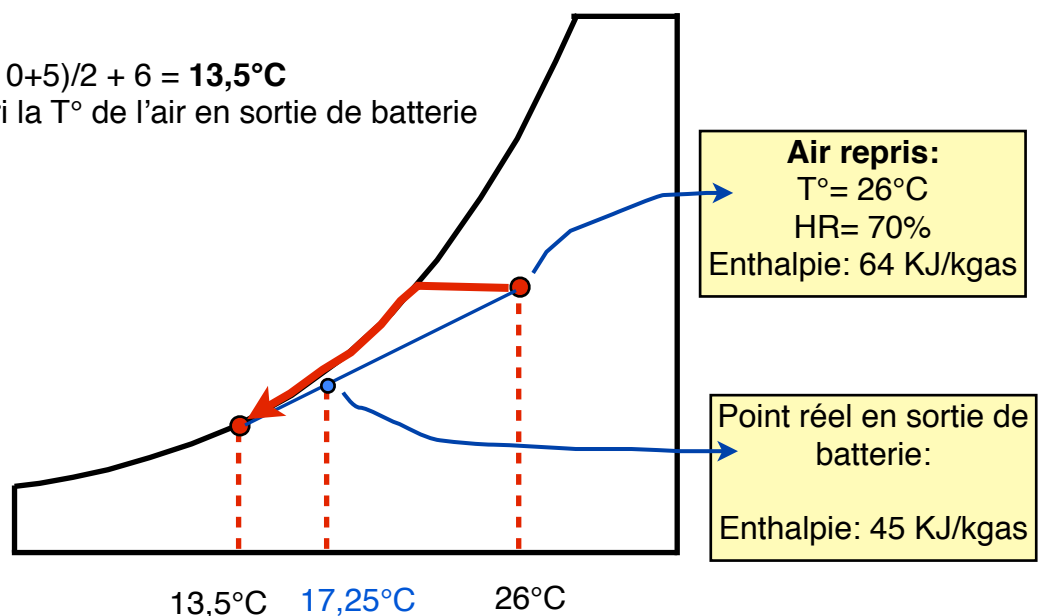
La surface de la batterie est au contact de l'air à refroidir. Les ailettes de la batterie sont donc réchauffées par l'air. C'est pour cela que la **température de surface** d'une batterie froide est toujours supérieure à la température de la batterie elle-même.

Le rendement est dû au fait que l'air qui passe entre les ailettes de la batterie n'est pas en totalité en contact avec ces ailettes. Il y a de l'air qui passe entre les ailettes sans les toucher. Le rendement d'une batterie ne peut donc pas être de 100%.

Imaginons que la CTA dans laquelle se trouve cette batterie froide ait un débit de **5000 m³/h** et fonctionne en 100% d'air recyclé (avec un air repris à **T°=26°C** et **70% HR**):

$$T^{\circ} \text{ de surface} = (10+5)/2 + 6 = 13,5^{\circ}\text{C}$$

C'est donc à priori la T° de l'air en sortie de batterie



Mais on n'aura pas 13,5°C en sortie de batterie car son rendement est de **70%**.
La T° en sortie de batterie sera donc de:
 $(13,5 \times 0,7) + (26 \times 0,3) = 17,25^{\circ}\text{C}$

La puissance de la batterie est:

$$\Delta \text{Enthalpie} = 64 - 45 = 19 \text{ KJ/kgas}$$

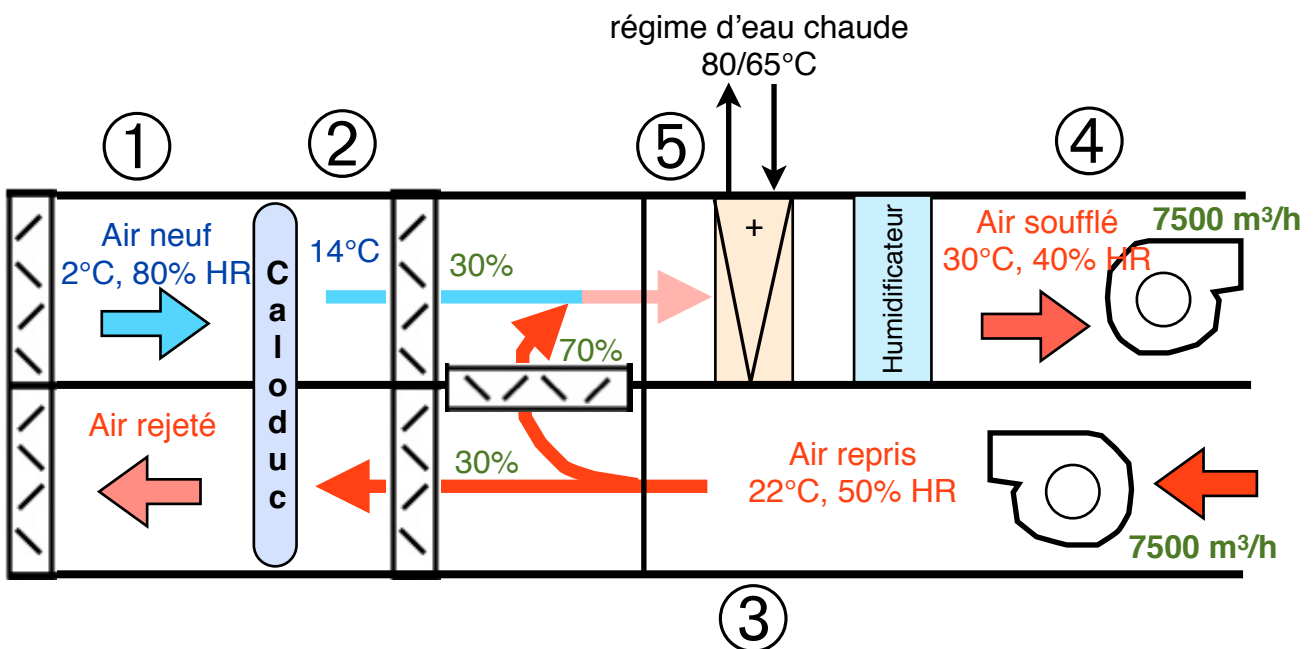
$$\text{Débit massique CTA} = 5000 \times 1,2 = 6000 \text{ kg/h}$$

CALCULS SUR LES CTA

Puissance batterie froide = $6000 \text{ kg/h} \times 19 \text{ KJ/kgas} = 114000 \text{ KJ/h}$

Comme $1 \text{ Wh} = 3,6 \text{ KJ}$ la puissance est: $114000/3,6 = 31,66 \text{ KW}$

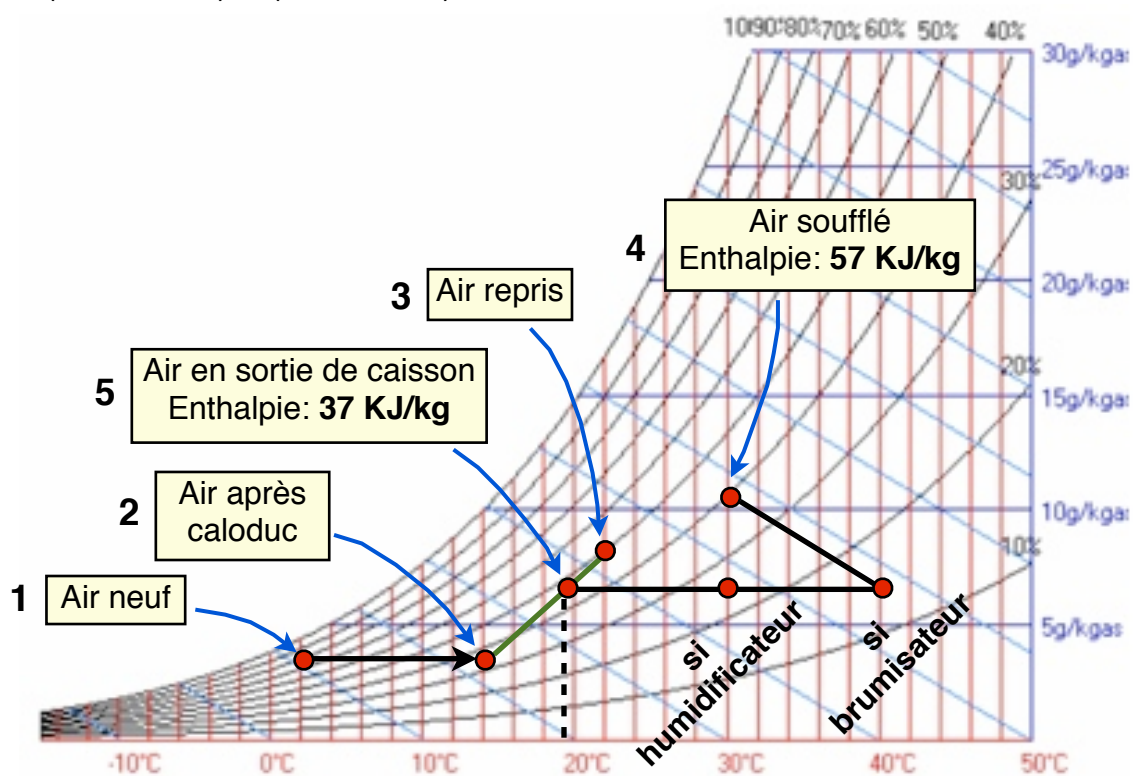
Calcul d'une CTA Complète



1) Placer les 4 points de la CTA sur le diagramme de l'air humide:

Calcul de la T° en sortie de caisson de mélange:

$$(14^{\circ}\text{C} \times 0,3) + (22^{\circ}\text{C} \times 0,7) = 19,6^{\circ}\text{C}$$



CALCULS SUR LES CTA

2) Calcul de la puissance de batterie chaude si on utilise un brumisateur:

On relève le Δ Enthalpie entre le point d'air en sortie de caisson de mélange et le point d'air en sortie de batterie chaude (c.a.d l'air soufflé):

- Δ Enthalpie = $57 - 37 = 20 \text{ KJ/kg}$
- Débit massique de la CTA = $7500 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 9000 \text{ kg/h}$
- Puissance à fournir: $9000 \text{ kg/h} \times 20 \text{ KJ/kg} = 180000 \text{ KJ/h}$
Comme $1 \text{ Wh} = 3,6 \text{ KJ}$, la puissance est de $180000/3,6 = 50 \text{ KW}$

3) Calcul du débit d'eau à apporter au brumisateur:

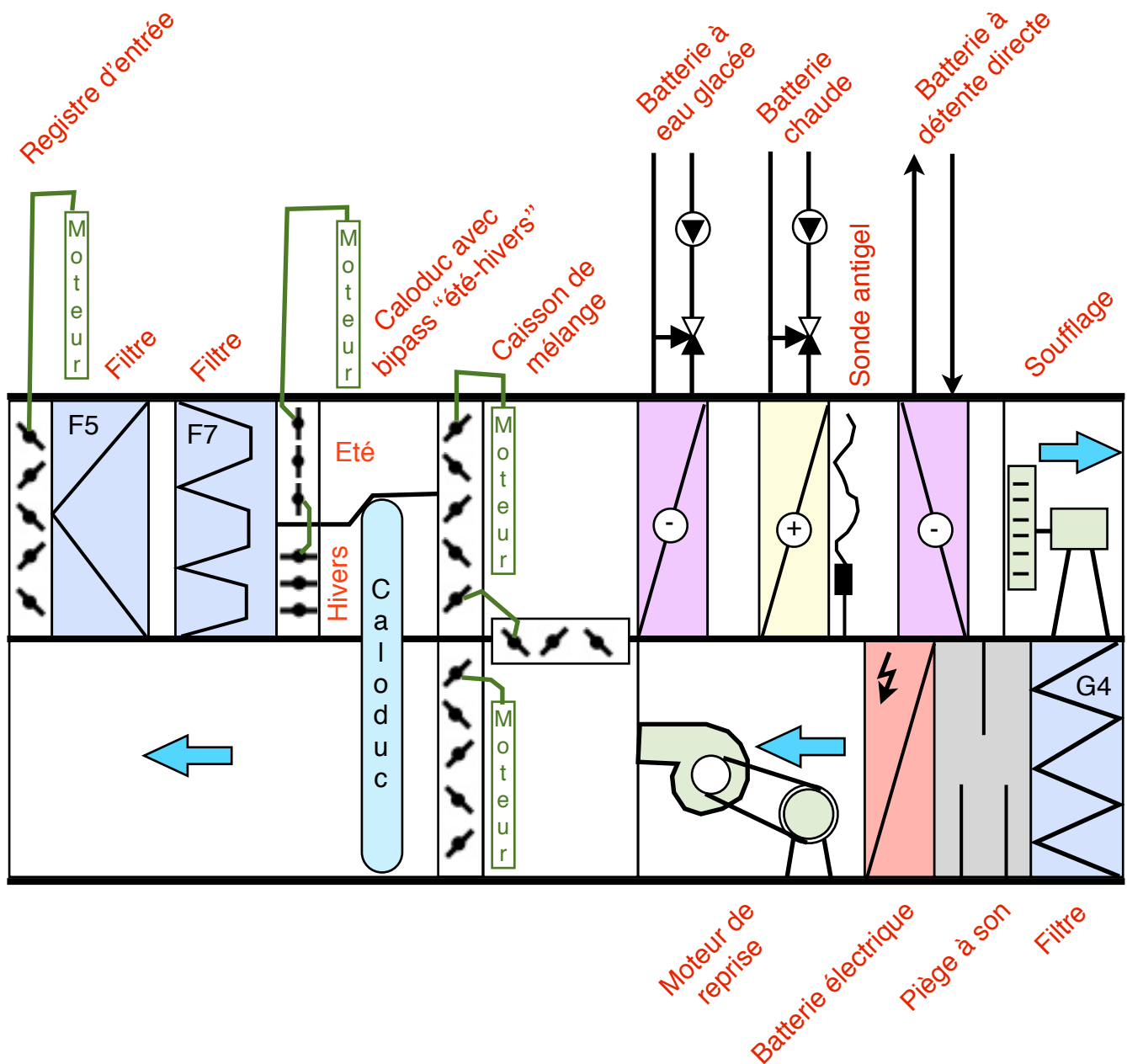
- Δ Poids d'eau = $10,5 - 6,8 = 3,7 \text{ g/kgas}$
- Débit de soufflage = 9000 kg/h
- Débit d'eau à apporter = $3,7 \text{ g/kgas} \times 9000 \text{ kg/h} = 33\,300 \text{ g/h} = 33,3 \text{ kg/h}$
soit $33,3 \text{ l/h}$

Compte tenu du débit calculé, on peut déterminer le diamètre du tuyau d'arrivée d'eau en fonction de la vitesse de circulation d'eau que l'on veut dans la tuyauterie (utiliser les abaques Caleffi)

4) Calcul de la puissance du caloduc:

- Δ Enthalpie entre entrée et sortie caloduc = $23 - 11 = 12 \text{ KJ/kg}$
- Débit d'air au caloduc = $(7500 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,3) \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 2700 \text{ kg/h}$
- Puissance = $12 \text{ KJ/kg} \times 2700 \text{ kg/h} = 32400 \text{ KJ/h}$
Comme $1 \text{ Wh} = 3,6 \text{ KJ}$, la puissance est de $32400/3,6 = 9 \text{ KW}$

PLAN DE LA CTA DE L'AFPA

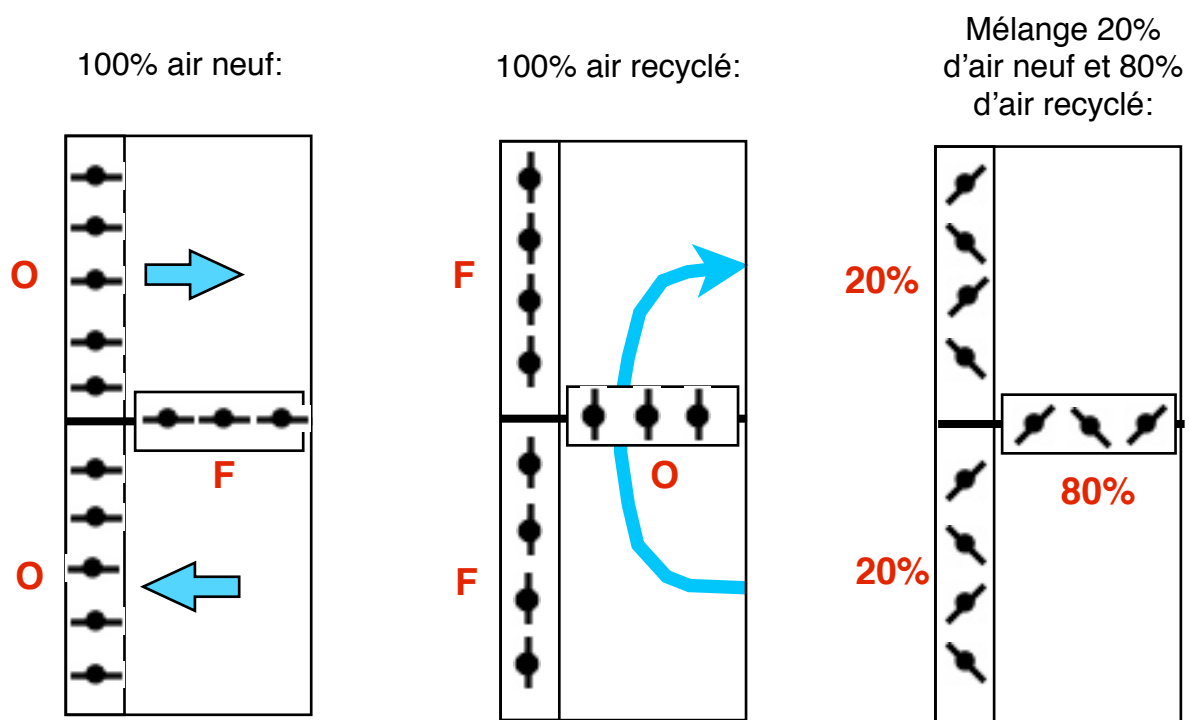


Commentaires sur la CTA:

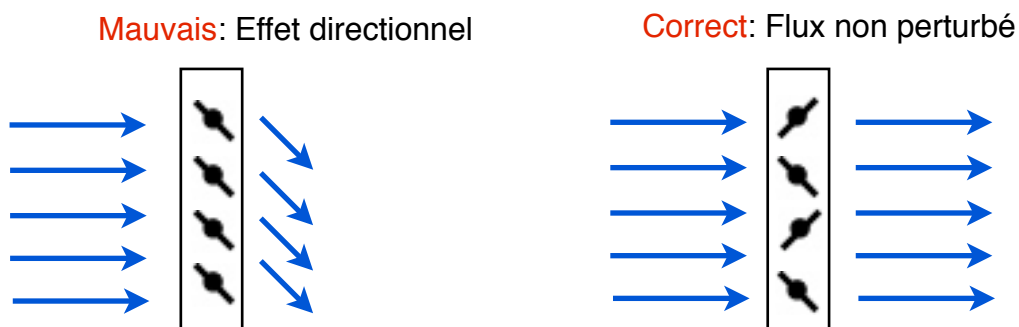
- Le moteur du **registre de bypass** du caloduc fonctionne en Tout-Ou-Rien (TOR). En hivers, la partie basse du registre est ouverte à 100% et la partie haute est fermée. L'air neuf passe donc par le caloduc qui le réchauffe. En été, c'est l'inverse. La partie basse du registre est fermée et la partie haute est ouverte à 100%. L'air neuf ne passe donc pas par le caloduc car il ne doit pas être réchauffé.

PLAN DE LA CTA DE L'AFPA

- Le caloduc est un **récupérateur de chaleur**. Celui-ci prélève des calories à l'air extrait avant que celui-ci soit rejeté dans l'atmosphère et il les restitue à l'air neuf. L'air neuf est donc "pré-chauffé". *(le caloduc de l'AFPA contient du R134)*
- Le caisson de mélange possède 2 moteurs de registre mais ceux-ci sont **synchrones**. C'est à dire qu'ils s'ouvrent ou se ferment ensemble et de la même façon. Le 3ième registre (celui de mélange) est relié par une tringle au registre de l'air neuf. Ce 3ième registre fonctionne **en opposition** par rapport à celui de l'air neuf.



- Les lames des registres bougent en **quinconce** et non pas en parallèle. Cela afin de ne pas avoir d'action directionnelle sur le flux d'air, ce qui perturberait le bon fonctionnement de la CTA:



PLAN DE LA CTA DE L'AFPA

- Différence entre batterie froide à eau glacée et batterie froide à détente directe:
La batterie à eau glacée est parcourue comme son nom l'indique par de l'eau glacée (5-10°C, 7-12°C). La température de la batterie est contrôlée par une vanne 3 voie montée en répartition.
La batterie à détente directe est en fait l'évaporateur d'un circuit frigorifique. **Le contrôle de sa température est beaucoup moins précis** que sur une batterie à eau glacée contrôlée par une vanne 3 voies.
- La présence de la batterie électrique sur le circuit d'air repris peut paraître curieuse. Cela s'explique par le fait que lorsque la CTA a été construite, l'air extrait devait être relâché dans l'atelier. La batterie électrique a donc été prévue pour réchauffer cet air et ne pas refroidir l'atelier lorsque la CTA fonctionnait en hivers. Mais des modifications ont été réalisées depuis sur la CTA et l'air extrait est maintenant relâché à l'extérieur. La batterie électrique n'a donc plus d'utilité aujourd'hui.



PLAN DE LA CTA DE L'AFPA

Registre d'entrée:



Registre du bypass du caloduc:



Registres du caisson de mélange:



Sonde antigel:



PROBLEMES DE SIPHON DANS LES CTA

Où Trouve-t-on des Siphons dans les CTA?

On place des siphons partout où il y a risque de condensation dans la CTA.
C'est à dire partout où l'air est refroidi:

- caloduc
- batterie froide
- batterie à détente directe
- Etc ...



Siphon caloduc

Siphon batterie
froide

Siphon batterie à
détente directe

Rôle des Siphons

Les siphons sont raccordés au tuyau d'évacuation d'eaux usées. Leur rôle est d'éviter toute remontée de mauvaises odeurs dans la CTA. Si cela devait arriver, les mauvaises odeurs seraient alors soufflées dans toutes les pièces alimentées par la CTA.

Ce problème arrive lorsque le siphon se désamorce.

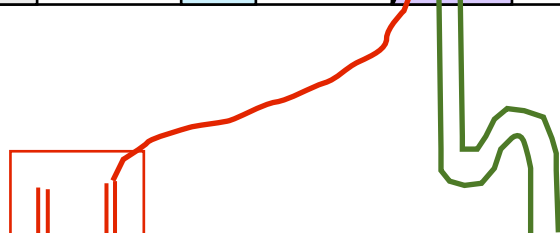
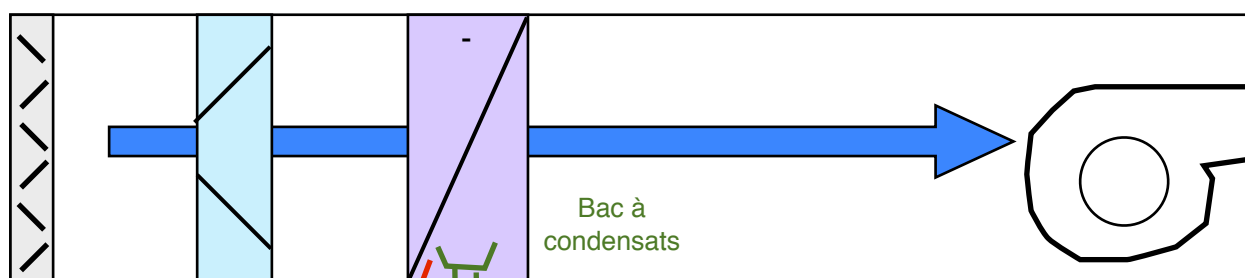
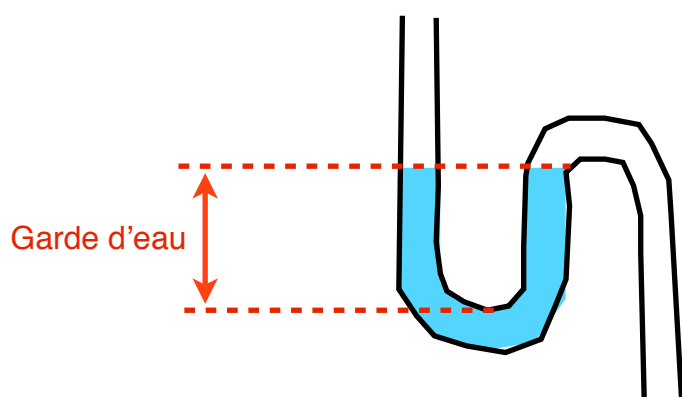
Si le siphon a été correctement choisi, cela ne doit pas arriver.

Si on a des problèmes d'odeurs d'égouts dans un bâtiment ventilé par une CTA, il faut vérifier les siphons qui sont raccordés à l'égout (pour les autres, ça ne sert à rien) et les remplir d'eau.

PROBLEMES DE SIPHON DANS LES CTA

Désamorçage et Hauteur des Siphons

Pour empêcher le désamorçage d'un siphon, la garde d'eau de celui-ci doit être supérieure à l'aspiration de la CTA à l'endroit où se trouve le départ du siphon:

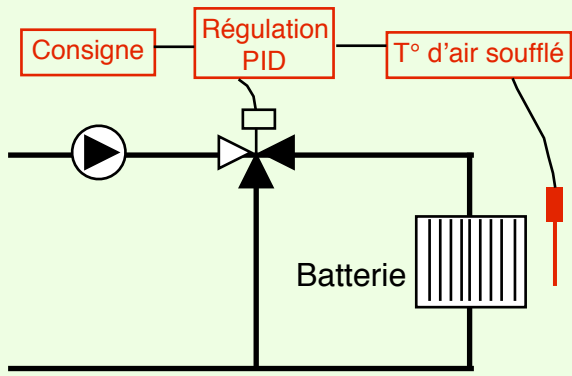
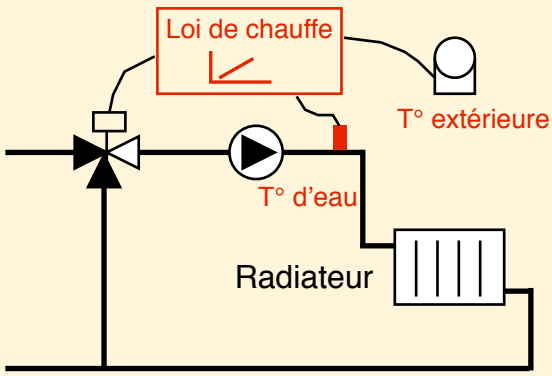


Dépression en
mm d'eau

Mano en U

Pour que le siphon ne se désamorce pas, il faut que sa garde d'eau soit $>$ à l'aspiration dans la CTA.

DIFFERENCES ENTRE CTA ET RADIATEURS

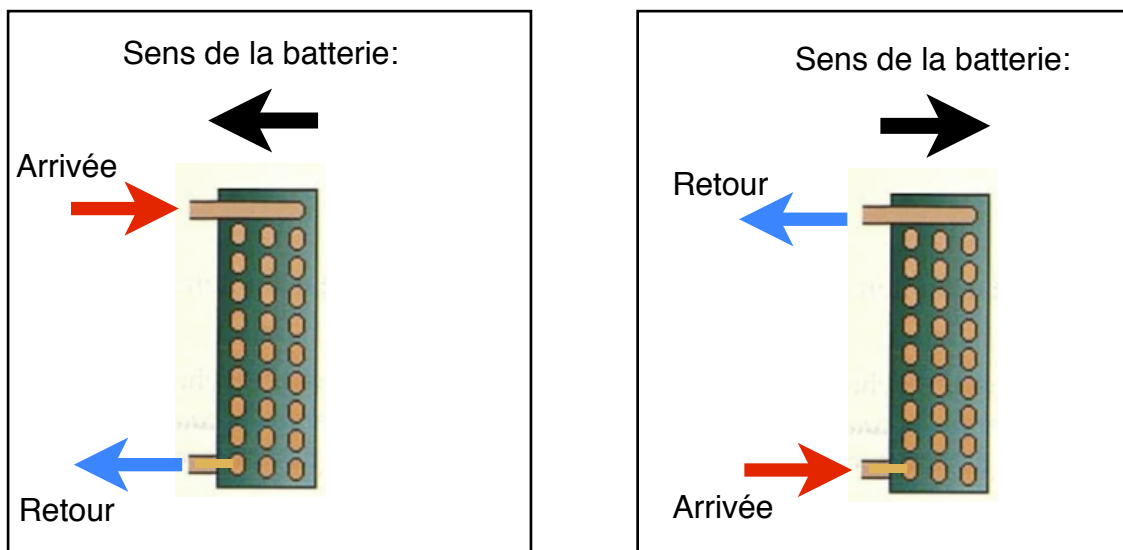
Centrales de Traitement d'Air	Circuits de Radiateurs
Présence de circuits aéraulique et hydraulique.	Circuits hydrauliques uniquement.
Présence de batteries à eau chaude, à eau glacée, voire de batteries à détente directe.	Présence uniquement de radiateurs, de convecteurs.
Présence possible d'humidificateurs.	NA
Présence possible de récupérateurs de chaleurs (caloduc, etc...)	NA
Pour les batteries chaudes ou froides, régulation " proportionnelle " par rapport à une consigne .	Régulation par rapport à une " loi de chauffe " et la T° extérieure .
<p>V3V montées en Répartition:</p> 	<p>V3V montées en Mélange:</p> 

VERIFICATION DU MONTAGE DES BATTERIES

Qu'Appelle-t-On le Sens de Montage?

Les batteries chaudes ou froides possèdent un sens de montage si elles sont à **rangs multiples** (*pour les batteries à rang simple, il n'y a pas de sens*)

On entend par “sens de montage” le sens de circulation de l’eau dans la batterie.
Exemple:

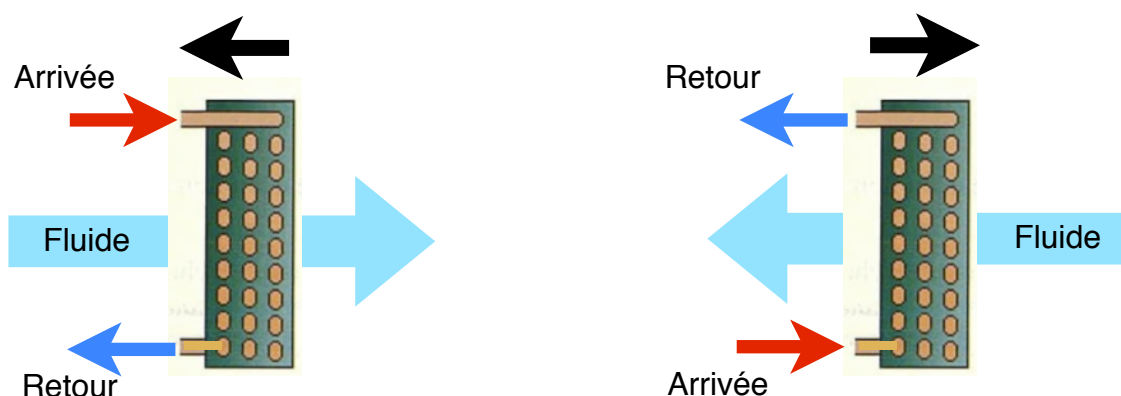


Comment Choisir le Sens de Montage d’une Batterie?

Une batterie est un échangeur de chaleur. Son sens dépend directement du sens du fluide (air ou eau) avec qui elle doit échanger des calories.

La règle est simple: le sens du fluide doit être à **contre-courant** du sens de la batterie

Cette règle permet d’obtenir des batteries avec un bien meilleur rendement (batterie plus puissante pour un même encombrement).



VERIFICATION DU MONTAGE DES BATTERIES

Pourquoi le Sens de Montage d'une Batterie est-il Important?

Une batterie (chaude, froide ou à détente directe) est avant tout un échangeur de chaleur. **Pour que cet échange de chaleur avec le fluide externe (eau ou air) traversant la batterie soit maximal, il faut que les sens des 2 fluides (batterie et externe) soient à contre-courant.**

Cela permet pour une puissance identique d'avoir des batteries 20 à 30% plus petites.

Cependant, il arrive parfois (voire assez souvent) que lors du montage, **les batteries soient raccordées à l'envers**. Cela se traduira donc par une puissance de 20 à 30% inférieure à ce qui était prévu occasionnant un inconfort pour les usagers.

Il est donc utile de vérifier sur site le raccordement des batteries. On peut avoir des surprises!

MESURER UN DEBIT D'AIR

Les Différentes Sondes Anémomètres

On utilise généralement des appareils électroniques sur lesquels on branche différentes sondes en fonction du paramètre que l'on veut mesurer: Température, hygrométrie, vitesse d'air, débit d'air, etc...



En ce qui concerne la mesure de vitesse et de débit d'air, on distingue 2 types de sonde anémomètre différents:

- Les sondes à hélices:

(Pour batteries, diffuseurs, bouches)



- Les sondes à fil chaud:

(Pour gaines et diffuseurs (avec un cône))



MESURER UN DEBIT D'AIR

Il existe également des **sondes “multi-fonctions”** qui permettent de mesurer simultanément plusieurs paramètres.

Exemple:



- Vitesse
- Hygrométrie
- Température

Mesurer un Débit d’Air

Tous les appareils mesurent la vitesse de l’air à l’aide d’une sonde anémomètre. C’est à partir de cette vitesse mesurée qu’ils en **déduisent par calcul** le débit d’air en fonction des caractéristiques des bouches de soufflage (leur superficie).

Il y a 2 façons de faire en fonction du matériel dont on dispose:

- **On calcule soi-même** le débit d’air à partir de plusieurs relevés de vitesse effectués avec l’anémomètre.
- Ou bien, **on utilise un accessoire spécial** (appelé “**cône**”) sur lequel on installe l’anémomètre. L’appareil électronique donnera alors directement la valeur du débit d’air à partir de la vitesse relevée.

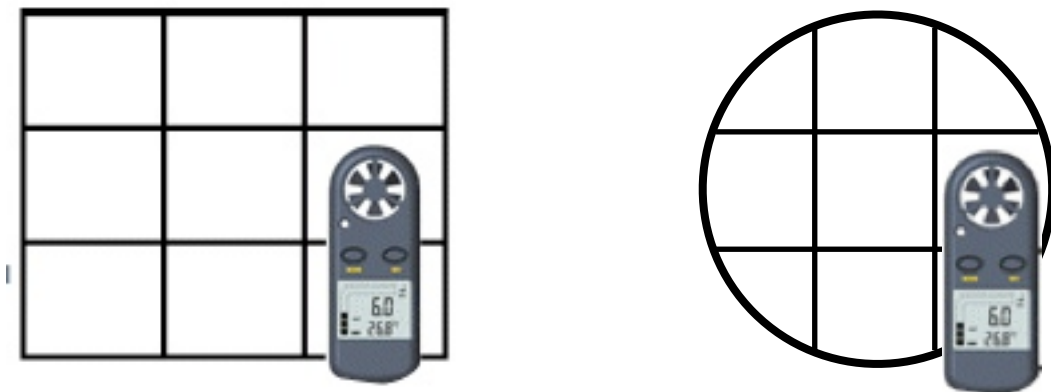
Voyons en détails comment faire les 2 mesures:

MESURER UN DEBIT D'AIR

1) Mesure de la vitesse de l'air et calcul du débit:

- Le principe consiste à **relever la vitesse de l'air** à différents endroits de la bouche de soufflage (de manière à couvrir **uniformément** la superficie de la bouche):

Dans l'exemple ci-dessous, on a divisé la surface de la bouche en 9 parties.



- Calcul de la vitesse moyenne:

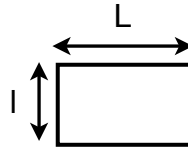
$$\text{Vitesse moyenne (m/s)} = \frac{\text{Mesure 1} + \text{Mesure 2} + \dots + \text{Mesure "n"}}{\text{"n"}}$$

MESURER UN DEBIT D'AIR

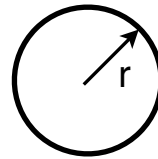
- Calcul du débit:

On doit d'abord calculer la **surface de la bouche** (ou de la gaine):

- Surface rectangulaire: $S \text{ (m}^2\text{)} = L \times l$



- Surface circulaire: $S \text{ (m}^2\text{)} = \pi \times r^2$



Le débit s'obtient avec la formule suivante:

- **Débit (m³/h) = Vitesse moyenne (m/s) x Surface (m²) x 3600**

Remarque 1: Certains appareils disposent d'une fonction permettant de mémoriser chaque mesure de vitesse et de calculer à la fin la moyenne (se référer au mode d'emploi)

Remarque 2: Ce type de mesure peut se faire à la sortie des bouches de soufflage ou de reprise (*si le flux d'air n'est pas dévié par la géométrie de la bouche*) ainsi que dans les gaines des CTA.

Remarque 3: Il est très difficile de faire des mesures de vitesse précises. La sonde doit être parfaitement positionnée par rapport au flux d'air. Un écart de quelques degrés peut provoquer jusqu'à 20% d'erreur. Or, comme on positionne la sonde à la main, il est très difficile d'être parfaitement positionné.

MESURER UN DEBIT D'AIR

2) Mesure directe du débit d'air avec un cône:

A l'aide d'un cône appliqué sur la bouche ou le diffuseur, l'anémomètre électronique peut calculer directement le débit d'air. **L'avantage d'un cône, c'est que la mesure de la vitesse de l'air peut se faire sur n'importe quelle bouche de soufflage ou d'extraction, même si la direction et l'homogénéité du flux d'air est perturbée par la géométrie de la bouche.**

Il faut pour cela indiquer à l'anémomètre électronique la référence du cône utilisé. Avec ces références, l'appareil connaît la section du cône et **peut à partir de la vitesse mesurée afficher directement le débit d'air.**

(Remarque: chaque marque d'appareil (ex: Kimo) dispose de ses propres cônes. On ne peut pas utiliser des cônes d'une marque différente de l'anémomètre)

Il existe des cônes pour anémomètres à hélice et anémomètre à fil chaud:



Cône pour anémomètres à fil chaud



Cône pour anémomètres à hélice

MESURER UN DEBIT D'AIR

Il existe différents types de cône en fonction:

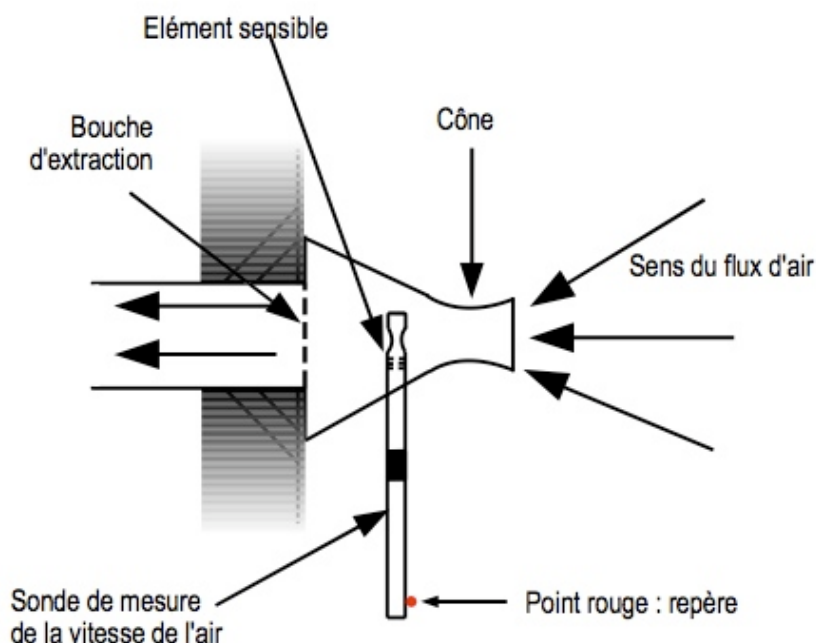
- du type de sonde anémomètre (nous venons de le voir),
- des débits à mesurer
- des **dimensions des bouches**



Principe de mesure:

La direction et l'homogénéité du flux d'air entrant ou sortant d'une bouche aéraulique **sont souvent perturbées par la géométrie** de cette dernière.

Afin de mesurer le débit s'écoulant d'une bouche aéraulique, il est souvent nécessaire d'utiliser un cône de mesure; le cône canalise l'air vers une **section aéraulique connue** dans laquelle l'élément de mesure de vitesse est positionné (cf. schéma ci dessous):



MESURER UN DEBIT D'AIR



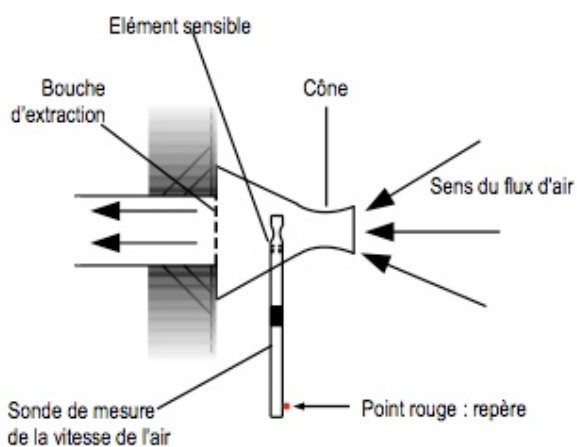
Mesures en soufflage et en aspiration:

Selon que l'on mesure un débit d'air en soufflage ou bien en aspiration, il faut faire attention au sens dans lequel on positionne la sonde anémomètre:

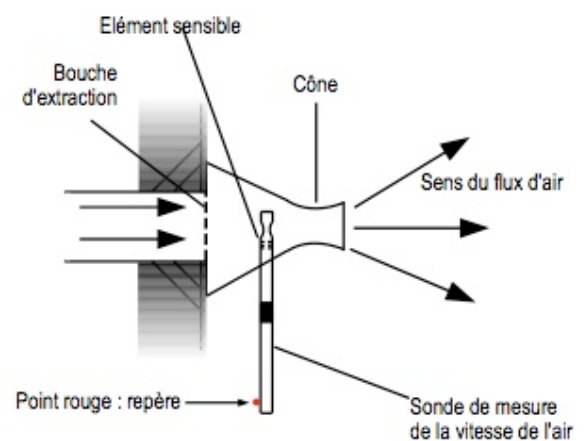
- sonde à fil chaud:



Positionnement du point rouge du fil chaud toujours face au flux d'air :

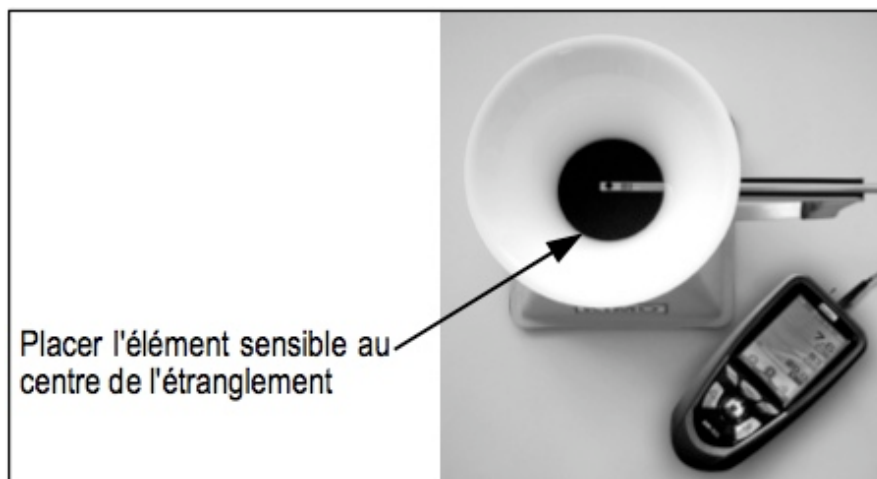


ASPIRATION



SOUFFLAGE

MESURER UN DEBIT D'AIR



- Sonde à hélice:

L'hélice des sondes à hélice ne fonctionne que dans un seul sens. C'est à dire que le flux d'air doit toujours traverser l'hélice dans un sens déterminé afin que celle-ci puisse tourner normalement et afficher un résultat correct.

Le sens du flux d'air est généralement **repéré par une flèche** inscrite sur l'anémomètre à hélice.

Selon que l'on mesure un débit d'air en soufflage ou bien en aspiration, il faudra retourner l'hélice de l'anémomètre:

