



PRÉSENTATION EKIP

Les différentes techniques d'humidification industrielles



QU'EST CE QUE L'HUMIDIFICATION ?

- Ajout d'eau dans l'air pour augmenter son humidité qui se mesure en humidité relative:

$$\text{HR}\% = (\text{Quantité d'eau contenue dans l'air} / \text{Quantité d'eau maximum que peut contenir l'air}) \times 100$$

- Masse d'eau maximale à HR%=100%

HR=100%	Masse d'eau en g/kg d'air sec	Volume de l'air en m3/kg d'air sec	Masse d'eau en g/m3 d'air sec
5°C	3,77	0,788	4,78
10°C	7,63	0,802	9,51
20°C	14,70	0,830	17,71
30°C	27,20	0,859	31,66
40°C	48 ,90	0,887	55,13
90°C	1402,00	1,029	1362,50

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DE L'EAU:

- ▶ Chaleur Sensible = $4,19 \text{ KJ/Kg/}^{\circ}\text{C}$.
- C'est la quantité d'énergie nécessaire pour élever de 1°C la température de 1kg d'eau.
- La température évolue proportionnellement à l'énergie fournie, sans changement d'état.

- ▶ Chaleur Latente = 2257 KJ/Kg .
- C'est la quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser 1kg d'eau
- Ce changement de phase s'effectue à température constante: 100°C à pression atmosphérique

LES DIFFÉRENTS TYPES DE BROUILLARD:

- La finesse du brouillard est primordiale en fonction du produit ou de l'espace que l'on souhaite traiter. Plus les gouttelettes seront petites et plus elles seront absorbées rapidement dans l'air, d'autant plus que leur vitesse de sédimentation sera faible

Type de brouillard	Diamètre gouttelettes	Vitesse de sédimentation
Pluies	50 à 5000 μ m	$\approx$ 76 à 35000mm/s
Brouillard humide	25 à 50 μ m	$\approx$ 30 à 76mm/s
Brouillard humide	10 à 25 μ m	$\approx$ 3 à 30mm/s
Brouillard sec	2 à 10 μ m	$\approx$ 0,1 à 3mm/s
Fumées	< à 2 μ m	suspension dans l'air

2 PROCESSUS POUR HUMIDIFIER

ISOTHERME:

- L'eau est transformée en vapeur par ébullition, puis dispersée dans l'air, soit directement, soit via des conduits aérauliques. L'injection de la vapeur dans l'air n'augmente pas sensiblement la température de l'air.
- Technologies existantes: chauffage par résistances chauffantes, électrodes à passage de courants, combustion de gaz,

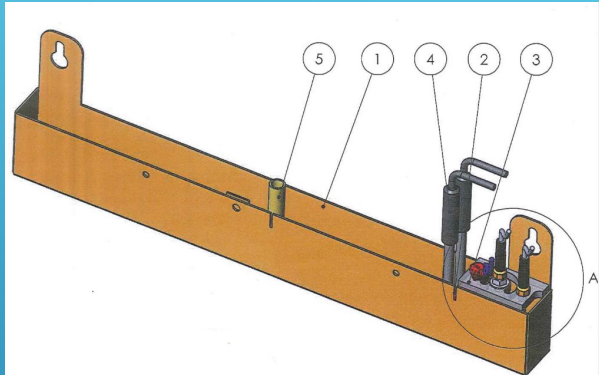
ADIABATIQUE:

- L'eau est pulvérisée dans l'air en plus ou moins fines gouttelettes .
L'énergie nécessaire à évaporer les gouttelettes (chaleur latente) provoque une chute de température de l'air ambiant.
- Technologies existantes: buses, buses à air comprimé, buses à ultrasons, atomiseur centrifuge, centrale à ultrasons.

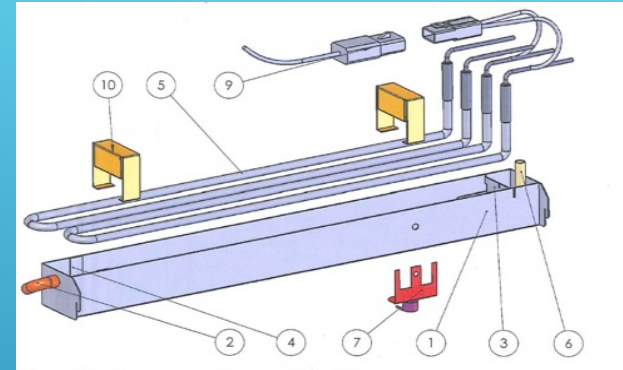
LES TECHNOLOGIES ISOTHERMES: GÉNÉRATION DE VAPEUR

Matériel	Principe	Application
Bacs bouilleurs Technologie PANEM	Bac Bouilleur inox 316 à débordement ou sonde de niveaux, avec chauffage par résistances Incoloy	Chambres et Armoires de fermentation Budget: 250€ à 1500€ pour 1kg/h à 7kg/h <u>inclus 8 points de production vapeur</u>
Cylindres à résistances chauffantes CAREL - DEVATEC	Cylindres chauffants par résistances chauffantes Gestion par une centrale de régulation des niveaux d'eau, de la puissance, et de la saturation en sels.	Chambres fermentation, Salles blanches, Budget: 1000€ à 1400€ pour 1,5kg à 8kg <u>plus tuyauteries et rampes de diffusion.</u>
Cylindres à électrodes CAREL - DEVATEC	Cylindres chauffants par électrodes. Gestion par une centrale de régulation des niveaux d'eau, de la puissance, et de la saturation en sels. Ne fonctionne pas avec de l'eau minéralisée.	Chambres de fermentation, Salles blanches, Budget: 1000€ à 1400€ pour 1,5kg à 8kg <u>plus tuyauteries et rampes de diffusion</u>
Cylindres à gaz	Réservoir chauffé par du gaz	Humidification forte capacité

HUMIDIFICATION ISOTHERME PAR BOUILLEURS: PANEM



Bac bouilleur à contrôle de niveau pour les armoires de fermentation.



Bac bouilleur à débordement pour les chambres de fermentation

Avantages:

- Faible coût, simplicité de fonctionnement et d'entretien.
- Large diffusion de la vapeur, multipoints facile

Inconvénients:

- Usage limité aux ambiances chaudes (supérieure à 20°C).
- Concentration en matières organiques dans modèle à sondes de niveaux

HUMIDIFICATION ISOTHERME ÉLÉMENTS CHAUFFANTS

Principes:

- Par conduction thermique, des résistances chauffantes mettent l'eau en ébullition.
Applications: Laboratoires, musées, chambre blanches.

Avantages:

- Ce système fonctionne quelque soit la qualité de l'eau, même avec une eau déminéralisée. Complètement autonome avec sa régulation intégrée (puissance de chauffe, cycles de rinçage, ..)
- Maintenance rapide, remplacement du réservoir avec résistances, coût environ 200€

Inconvénients:

- Tuyauterie et rampes d'injection vapeur nécessaires



HUMIDIFICATION ISOTHERME PAR CIRCULATION D'ÉLECTRICITÉ:

Principes:

- Par circulation de courant, des électrodes mettent l'eau en ébullition
Applications: Laboratoires, musées, chambre blanches

Avantages:

- Complètement autonome avec sa régulation intégrée (puissance de chauffe, cycles de rinçage, ..)
- Régulation de puissance fine car pas d'inertie d'éléments chauffants
- Maintenance rapide, remplacement du réservoir avec électrodes

Inconvénients:

- Ce système ne fonctionne pas avec de l'eau déminéralisée (non conductrice)
- Tuyauteries et rampes d'injection vapeur nécessaires



HUMIDIFICATION ISOTHERME AU GAZ NATUREL:

Principes:

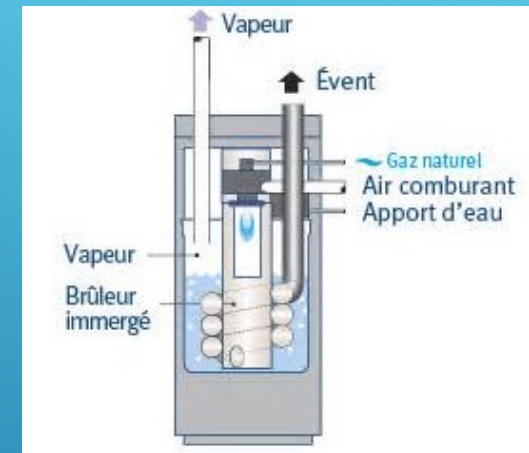
- Chauffage de l'eau par la combustion de gaz
- L'échangeur thermique en aluminium ou en acier inoxydable est rempli d'eau à un niveau constant.

Avantages:

- Matériel conçu pour une utilisation intensive.

Inconvénients:

- Mise en œuvre de gaz
- Inertie du système
- Tuyauteries et rampes d'injection vapeur nécessaires



LES TECHNOLOGIES ADIABATIQUES:

Matériel	Principe	Taille des gouttelettes	Applications
Buses simples	Buses alimentées en eau à pression réseau	20 à 4000µm	Forte humidification, lorsque le mouillage des produits est souhaité ou ne pose pas de problème
Buses sous haute pression	Buses alimentées en eau par pompes à haute pression, 30 à 70bar	10 à 50µm	Utilisation dans gainages d'air pour humidifier des gros volumes
Buses à air comprimé SPRAYING SYSTEMS DEVATEC	Buses alimentées en eau pression réseau et air en basse pression, 3 ou 5 bar	< 10µm 10 à 15µm	Humidification possible pour petits volumes Budget: 500€ à 1000€ pour 1 à 10 kg/h pour 1 à 4 points d'injection
Buses à ultrasons DEVATEC	Buses alimentées en eau et air comprimé, équipées d'une cellule ultrasonique en sortie	1 à 1,5µm	Humidification avec très faibles risques de condensation Budget: 1000€ à 2000€ pour 2 à 8 kg/h
Atomiseur centrifuge CAREL – DEVATEC	Fragmentation de l'eau en fines particules par un disque centrifuge tournant à haute vitesse	5 à 10µm	Volumes adaptés à une projection sur 2 à 3m Budget: 500€ à 1200€ pour 1 à 6,5 kg/h pour 1 point d'injection
Nébuliseur à ultrasons ARECO - CAREL STULZ	Des ondes ultrasonores éclatent la surface de l'eau	1 à 5µm	Marée, Boucherie, Fruits et Légumes, Cigares Budget: 3000€ à 6000€ pour 2,0 à 8,0 kg/h pour 1 point d'injection

HUMIDIFICATION ADIABATIQUE BUSES SOUS HAUTE PRESSION D'EAU

➤ Principes:

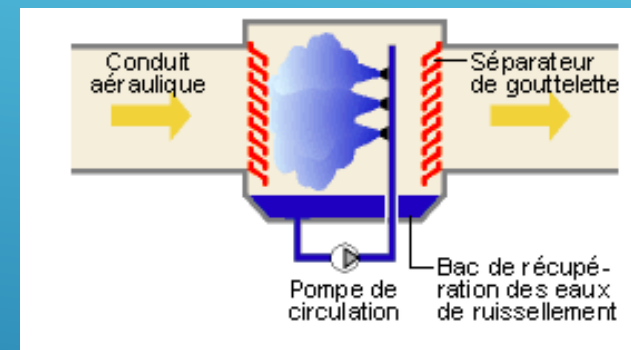
- Une pompe de circulation amène l'eau vers les buses, sous une pression de 30 à 70 bars en fonction de ce que l'on veut obtenir.
- Taille des gouttelettes de 10 à 50 μ m.

➤ Avantages:

- Grande puissance d'humidification

➤ Inconvénients:

- Les gouttelettes produites sont assez grosses et possèdent un pouvoir mouillant dans la plupart des cas.
- Installation destinée aux grands espaces industriels et agricoles à traiter.

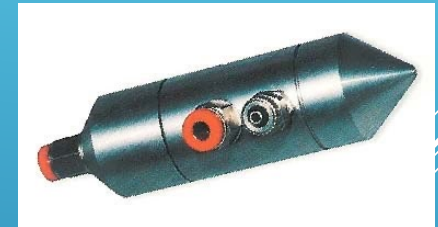


HUMIDIFICATION ADIABATIQUE

BUSES À AIR COMPRIMÉ

Principes:

- L'air comprimé est le propulseur principal via un système venturi et disperse l'eau par dépression.
- Taille moyenne des gouttelettes inférieures à $10\mu\text{m}$ ou 10 à $15\mu\text{m}$
- Budget: 500€ à 1000€ pour 1kg/h à 10kg/h pour 1 point d'injection

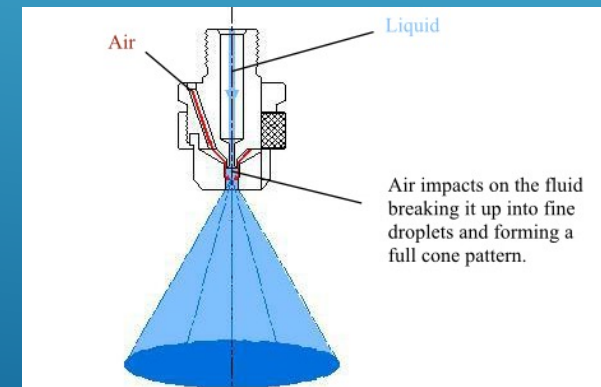


Avantages:

- Bonne diffusion des particules d'eau dans l'air.

Inconvénients:

- Traitement de l'eau: filtration à $50\mu\text{m}$ au minimum
Osmose conseillée pour maintenance réduite
- Besoin d'air comprimé sans huile



HUMIDIFICATION ADIABATIQUE

ATOMISEUR CENTRIFUGE

Principes:

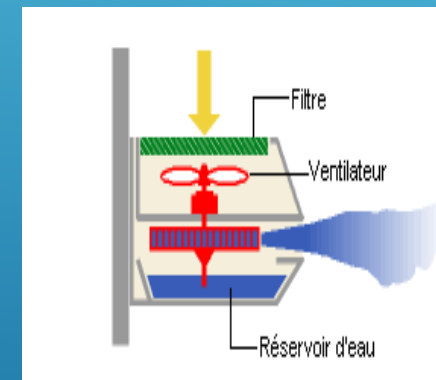
- Un ou des disques tournants à haute vitesse, centrifugent l'eau en de fines gouttelettes de 5 à 10µm
- Opter pour un système avec vidanges automatiques pour raisons d'hygiène
- Budget: 500€ à 1200€ pour 1,0kg/h à 6,5kg/h

Avantages:

- Système robuste et simple d'utilisation.
- Particulièrement adapté pour les chambres froides, les serres et les chais.

Inconvénients:

- Ce système requiert un espace suffisant à la sortie car projection sur 2 à 3 mètres. Pas de diffusion possible par gainage
- Déminéralisation (ou osmose) de l'eau conseillée pour entretien réduit



HUMIDIFICATION ADIABATIQUE BUSES À ULTRASONS

Principes:

- Buse à air comprimé équipée en sortie d'une résonateur à ultrason
- Taille des gouttelettes 1 à $1,5\mu\text{m}$
- Budget: 1000€ à 2000€ pour 2 à 8 kg/h (1 à 4 buses)

Avantages:

- Brouillard sec. Les particules obtenues très petites, et réduisent au minimum les risques de condensation

Inconvénients:

- Eau déminéralisée fortement conseillée
- Air comprimé, sans huile



HUMIDIFICATION ADIABATIQUE

NÉBULISEUR À ULTRASONS

Principes:

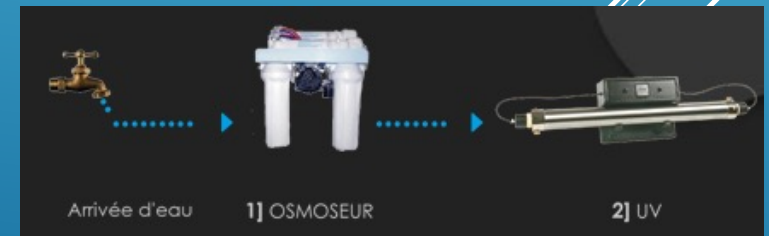
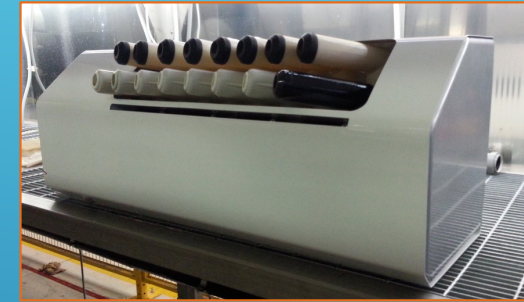
- une ou plusieurs cellules piézoélectriques génèrent des ondes ultrasonores dans un bac,
- des ventilateurs entraînent le brouillard généré
- Taille des gouttelettes: 1 à 5 μ m
- Budget: 3000€ à 6000€ pour 2,0kg/h à 8,0kg/h, hors tuyauteries

Avantages:

- Brouillard sec
- Pas d'utilisation d'air comprimé

Inconvénients:

- Matériel coûteux et gaines de diffusion à rajouter selon besoin
- Déminéralisation (ou osmose) de l'eau pratiquement obligatoire



Système de nébulisation, osmoseur et stérilisateur UV.

RECOMMANDATIONS

Précautions d'hygiène:

- Si la génération de brouillard, humide ou sec, sur des produits frais risque de provoquer de la condensation, parfois souhaitée, l'eau doit être traitée pour éviter les développements de micro-organismes sur le produit.
- Les solutions courantes sont l'osmose, la déminéralisation et, ou le traitement par lumière UV.

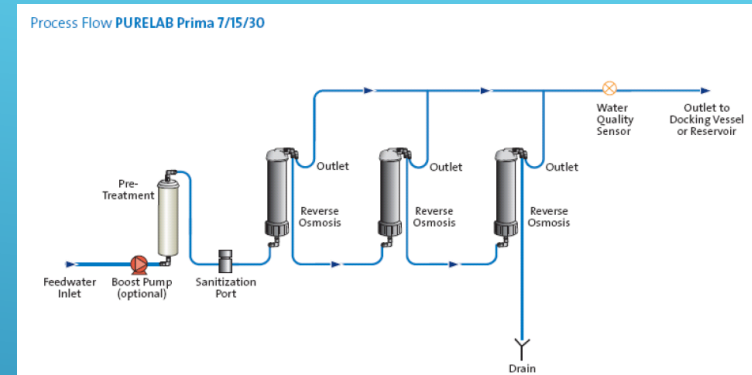
Traitement des fluides:

- Les systèmes de production de brouillard nécessitent au minimum une filtration de l'eau de l'ordre de 50 μ m pour les buses, jusqu'à 5 μ m pour la nébulisation.
- La déminéralisation ou osmose s'imposent pratiquement pour avoir une maintenance limitée avec les systèmes adiabatiques
- L'absence de produits organiques est souvent recommandée (osmose)
- L'eau adoucie n'est pas recommandée car présence de sels importante

BUDGET D'ACCESSOIRES TRAITEMENT D'EAU

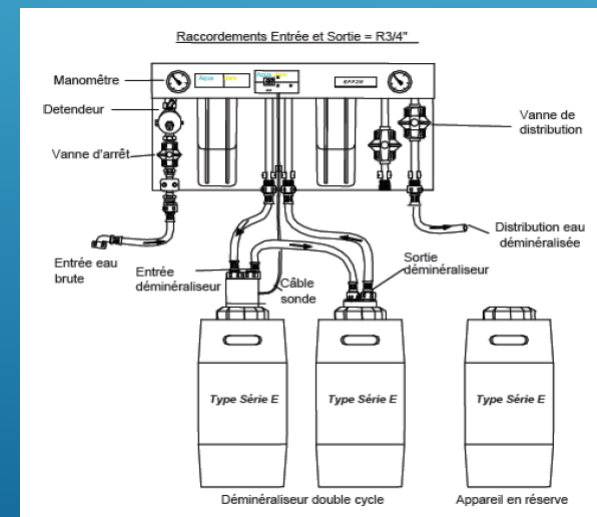
Système d'osmose inverse

- Exemple avec Purelab Prima 15 de Véolia
système 15l/h (2 modules)
Budget: environ 5000€
Consommables: 2 modules osmose + filtre 1500€
Fréquence de remplacement selon qualité de l'eau



Système de déminéralisation

- Exemple avec Aquadem 500 de Véolia
système 450l/h, traitement de 2500l
Budget: environ 4000€
Consommable: résine 2500€ pour 2500l traités



ACCESSOIRES

Lampe UV

- Exemple pour un système 12l/h : environ 400€

Filtration fine avec stérilisation

- Exemple pour un système 20l/h comprenant
filtre 25µm + 5µm + charbon actif 5µm
+ filtre UV + surpresseur: environ 1400€

