

Le séchage des ateliers :

Quelles technologies et quels coûts énergétiques ?



Jacques GUILPART- MF Conseil

j. guilpart@mfconseil.fr 06 43 44 66 28

www.mfconseil.fr



Adam TCHAÏKOWSKI, Dessica

a.tchaikowski@dessica.fr

06 86 26 21 63

- ☞ Indispensable au maintien d'un niveau de contamination compatible avec les exigences de sécurité sanitaire des aliments.
- ☞ Exigeant en termes de qualification des procédures et des intervenants.
- ☞ Exigeant en termes de temps d'intervention et d'intrants.

Du sol au plafond ...



Photo : Irstea

... sans oublier les équipements et les surfaces de travail.



Photos : Irstea

☞ Des procédures grosses consommatrices :

- D'eau
- De produits de nettoyage
- D'énergie (traitement et chauffage de l'eau, refroidissement, séchage)

- Des volumes conséquents de rejets à traiter

⇒ Un impact environnemental évident ...

(tout aussi évident qu'est l'indispensabilité de ces procédures)

Qui plus est, l'eau résiduelle sur les surfaces pourrait être un réservoir de contamination (en fonction de la résistance à l'alternance mouillage / séchage des bactéries étudiées)

⇒ Volet « microbiologique » du projet EcoSec



Il convient donc de sécher les surfaces rapidement (pour reprendre la production rapidement) et le plus économiquement possible

⇒ Volet « technologie » du projet EcoSec



Après nettoyage et désinfection, le séchage de l'atelier est un préalable indispensable à la remise en marche des lignes de production.

Comment et à quel coût énergétique ?

Postulats :

- *Un séchage manuel (raclage) complet et total des surfaces n'est pas envisageable,*
 - *Le séchage à l'air chaud avec extraction n'est pas envisageable non plus.*
 - Les ateliers de l'agroalimentaire sont équipés de systèmes de froid permettant de les maintenir à la température souhaitée.
 - Ils peuvent être équipés de systèmes spécifiques permettant la gestion de l'humidité.
- ⇒ Les technologies utilisées (utilisables) s'appuient sur ces deux derniers points.



Un atelier de préparation de produits sensibles d'un site industriel partenaire du projet

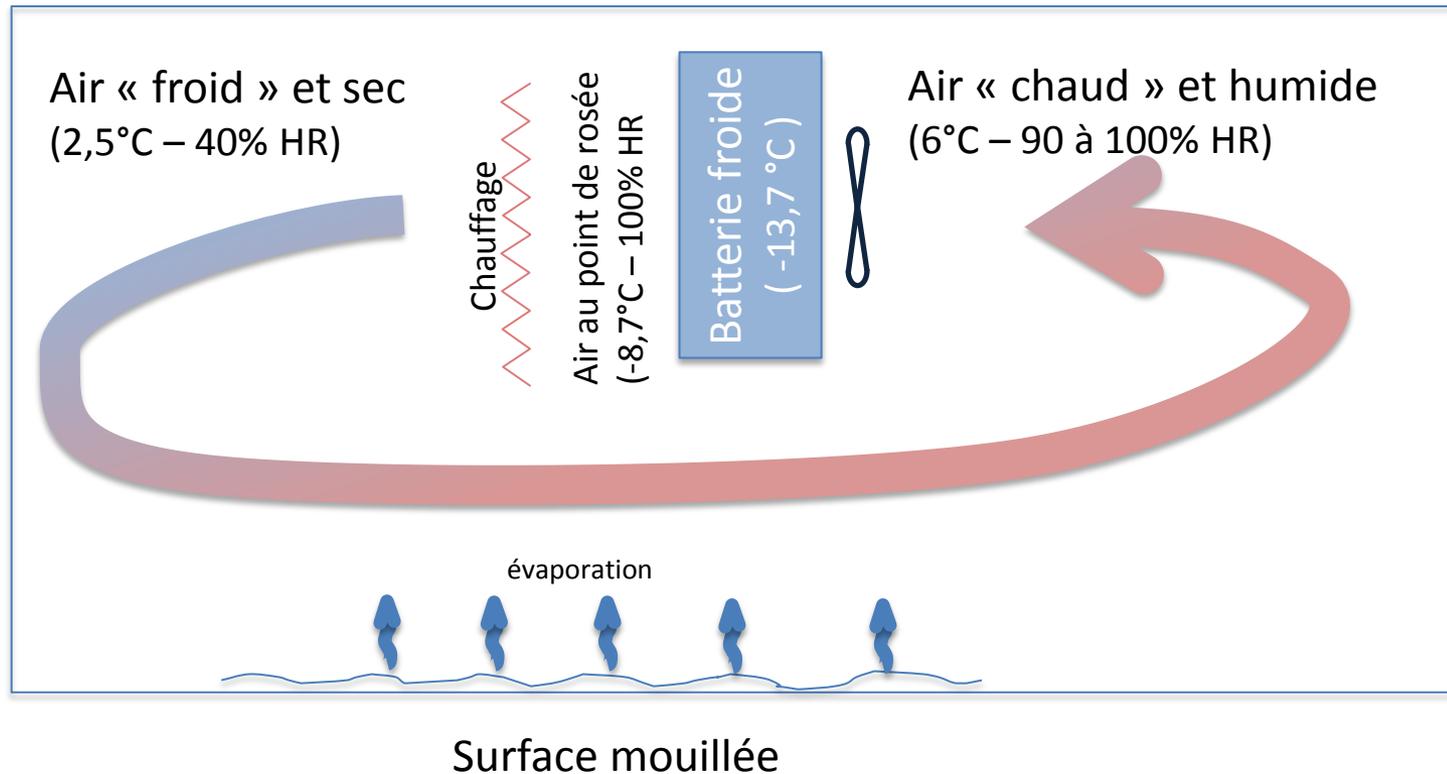
LABEYRIE
FINE FOODS

- Surface : 100 m², hauteur : 3 m
- Conditions d'ambiance : 6°C – 90% RH, soufflage d'air : 2,5°C – 40% RH
- Débit d'air : 6 000 m³ h⁻¹ ($\tau_b = 20$ V)
- Eau résiduelle après nettoyage & désinfection : 51,2 l
(correspondant à un film de 0.5 mm sur le sol et de 0.05 mm sur la moitié des murs).
- Temps de séchage approximatif : entre 1h30 et 2h.



Le traitement au point de rosée

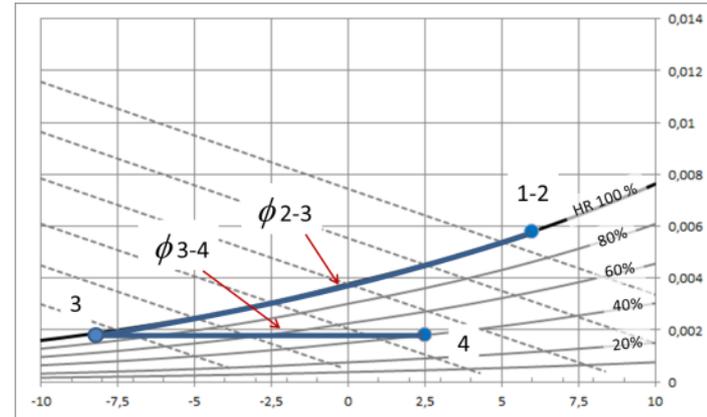
Utilisation de l'équipement frigorifique en place



Le traitement au point de rosée

Performances :

- Débit d'eau piégée : $8,3 \text{ g s}^{-1}$
- Temps de séchage : 1h 45'
- Puissance froid : $51,5 \text{ kW}_f$
- Soit **$15,1 \text{ kW}_e$** appelés aux compresseur
(COP $\approx 3,4$)
- Puissance chaud : **$23,4 \text{ kW}_e$**



		air in	dew point	air out
t	°C	6,0	-8,7	2,5
HR	%	100	100	40
w	Kg kg ⁻¹	5,79E-03	1,80E-03	1,80E-03
h	kJ kg ⁻¹	20,5	-4,2	7,1
ρ	Kg m ⁻³	1,25	1,33	1,28

Total : 38,5 kW elec appelés pendant la phase de séchage
(soit une consommation de 67,2 kWh elec)

... sans compter le dégivrage :

(dégivrage électrique, masse batterie : 300 kg)

Chauffer la batterie givrée de $-13,7^{\circ}\text{C}$ à 0°C

=> $0,62 \text{ kWh}_e$

Faire fondre 51 kg de glace

=> $4,7 \text{ kWh}_e$

Faire monter la batterie à $+10^{\circ}\text{C}$

=> $0,42 \text{ kWh}_e$

Faire redescendre la batterie en froid

=> $0,23 \text{ kWh}_e$

Total dégivrage : 6 kWh (soit ~ 10% du coût du froid, ce qui est une valeur standard).



Le traitement au point de rosée

	Appels (kW)	Consommation (kWh) ^(**)
Froid	51.5 kW _{refrig.} / 15.1 kW _{elec} ^(*)	26.5 kWh _{elec}
Chaud	23.4 kW _{elec}	41.0 kWh _{elec}
Dégivrage		6.4 kWh _{elec}
Total		73.9 kWh_{elec}

(*) COP = 3.4, établi sur la base d'un cycle à -13,7 /+32°C (temp. de soufflage : -8,7°C)

(**) temps de séchage : 1h45

Le traitement au point de rosée est :

- Simple à mettre en œuvre (utilisation des équipements en place)
- Relativement coûteux en énergie
(74 kWh électrique par séquence de nettoyage dans le cas étudié dans le projet
51 litres d'eau résiduelle, 1h45 de séchage)

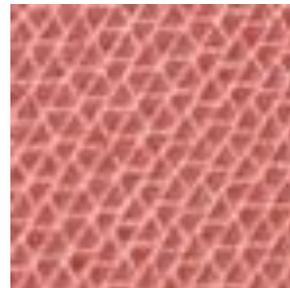
Existe-t-il d'autres techniques ?

La dessiccation par sorption solide

La fameuse roue dessiccante



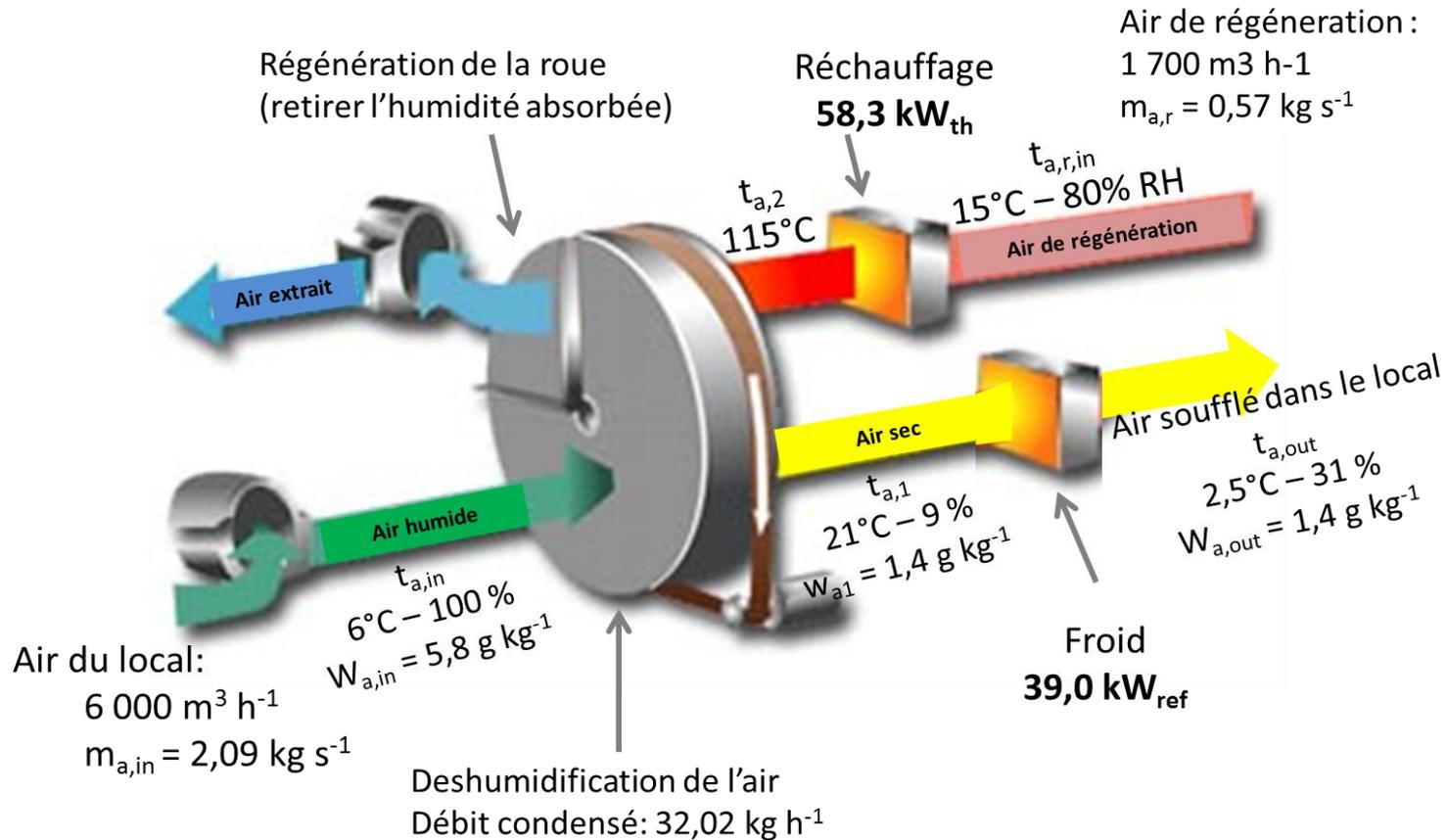
Capacités : 90 à 14 000 m³ h⁻¹
0,6 à 86 kg h⁻¹



Matériaux :
gels de silicate le plus souvent

La dessiccation par sorption solide

Evaluation basée sur les données techniques constructeur



Première approche de la consommation énergétique :

	Appels (kW)	Consommation (kWh) ^(**)
Froid	39.0 kW _{refrig.} / 8.3 kW _{elec} ^(*)	13.1 kWh _{elec}
Chaud	58.3 kW _{elec}	92.3 kWh _{elec}
Dégivrage	négligé	négligé
Total		105.4 kWh_{elec}

(*) COP = 4.7, établi sur la base d'un cycle à -2,5 / +32°C (temp. de soufflage : +2,5°C)

(**) temps de séchage : 1h35

La réalité étant un peu plus complexe ...



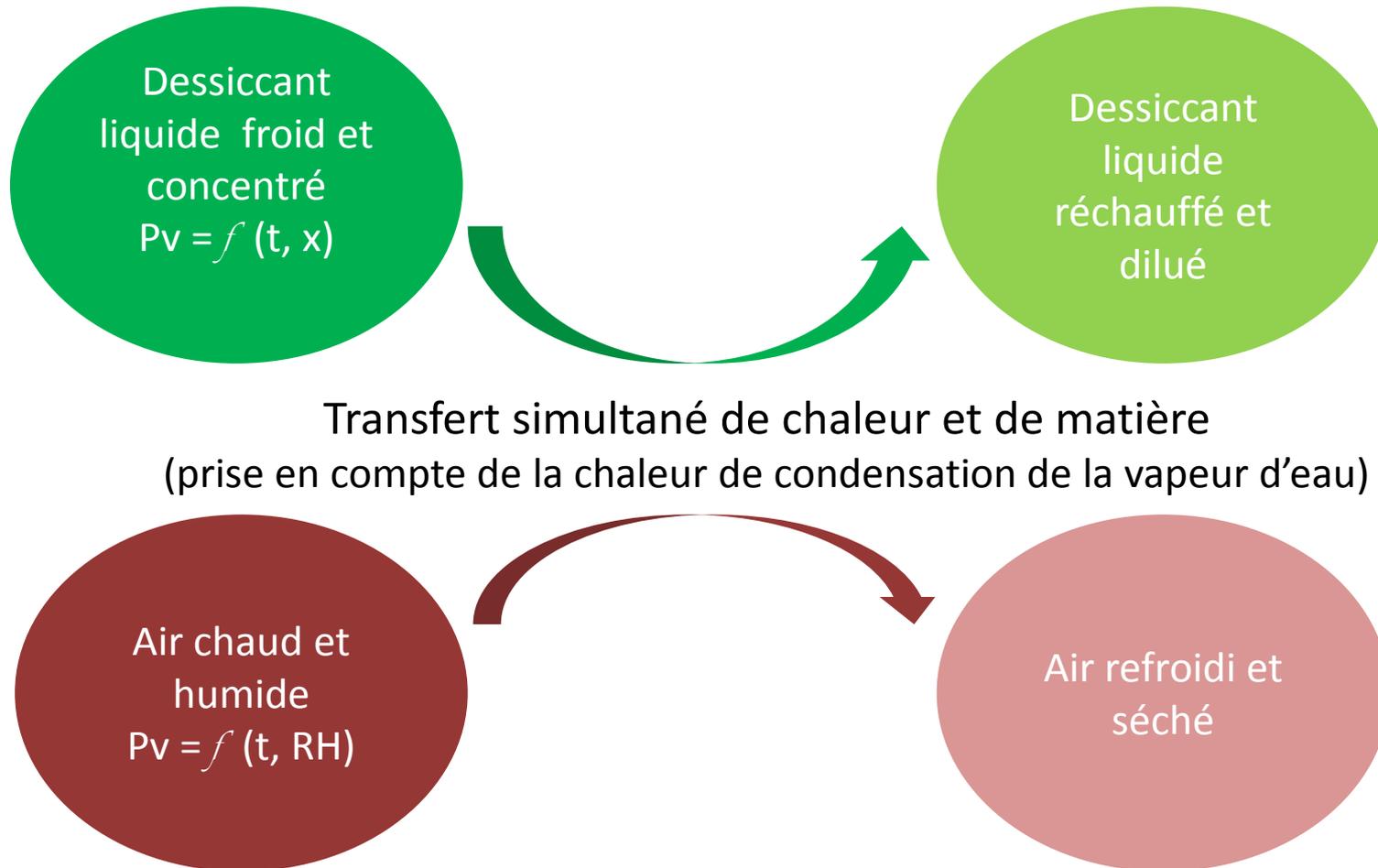
La dessiccation par sorption solide



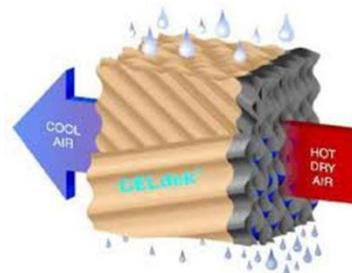
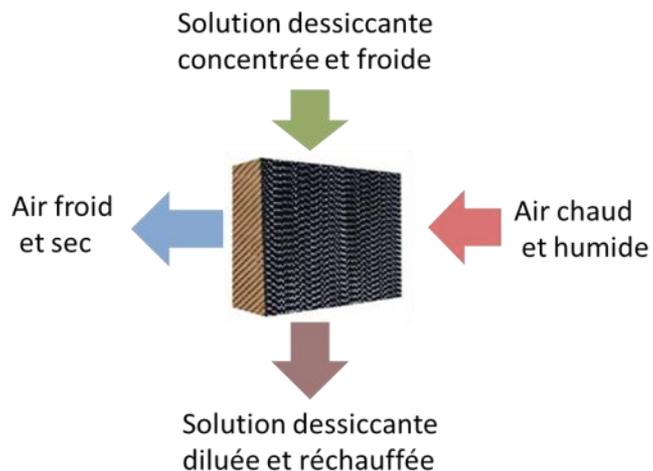
En résumé :

- Temps de séchage un peu plus court (1h35)
- Le froid est soulagé
(13,1 kWh_e contre 26,5 kWh_e pour le traitement au point de rosée)
- La régénération est très couteuse en énergie
(besoins de chauffage : 92 kWh_e contre 41 kWh_e pour le point de rosée)
- Au global : 105,4 kWh électrique consommés
(74 kWh_e pour le traitement au point de rosée)
- Plus de givrage des batteries, ce qui est intéressant.
 - ⇒ Une optimisation des conditions de régénération est intéressante
(et programmée dans le cadre d'EcoSec)

La dessiccation par sorption liquide



Techniques de mise en contact air / solution



Structured packing contactor
(ex : Celdeck)



Bubbling contactors



Unstructured packing contactor
(ex : Rashig rings)



Membrane contactors



Trickling contactor

La dessiccation par sorption liquide

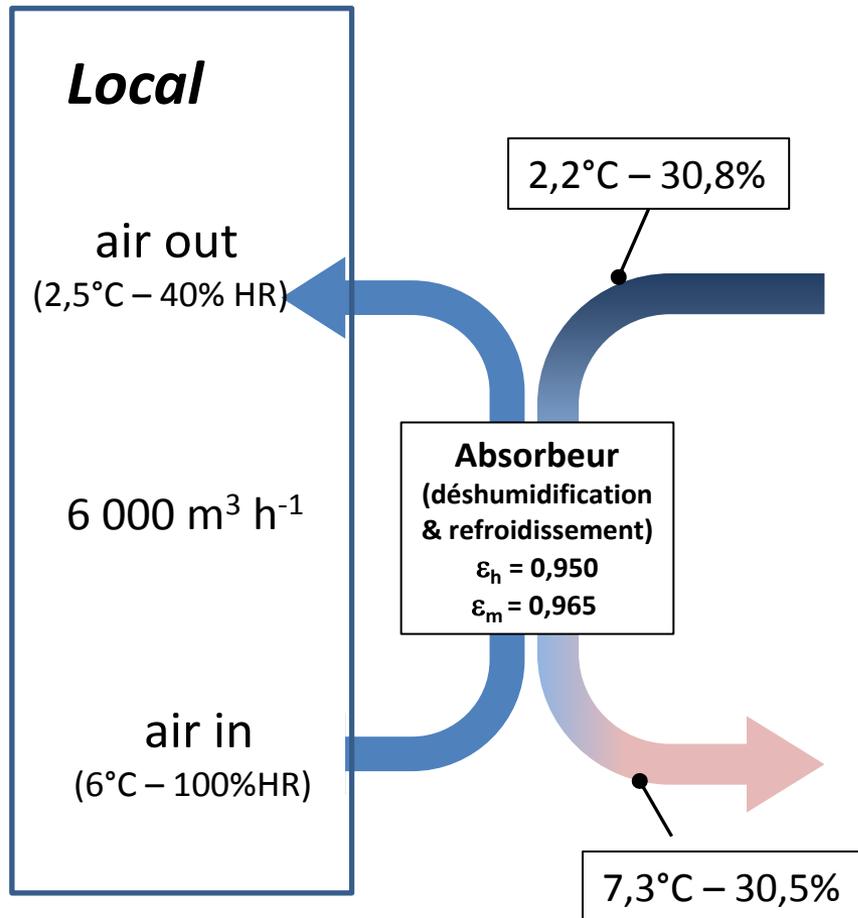
Quels solutés ?

	Perf.	Corros.	Cristal.	Tox.	Price
LiBr	😊😊	😞	😞	😞	😞😞
LiCl	😊	😞	😞	😊	😊
CaCl₂	😊	😞	😞	😊	😊
TEG	😞	😊	😊	😊	😊
Eau	😞😞	😊😊	😊😊	😊😊	😊😊

⇒ Le LiCl est utilisable dans les gammes de température / humidité du projet
(le CaCl₂ ne l'est pas)

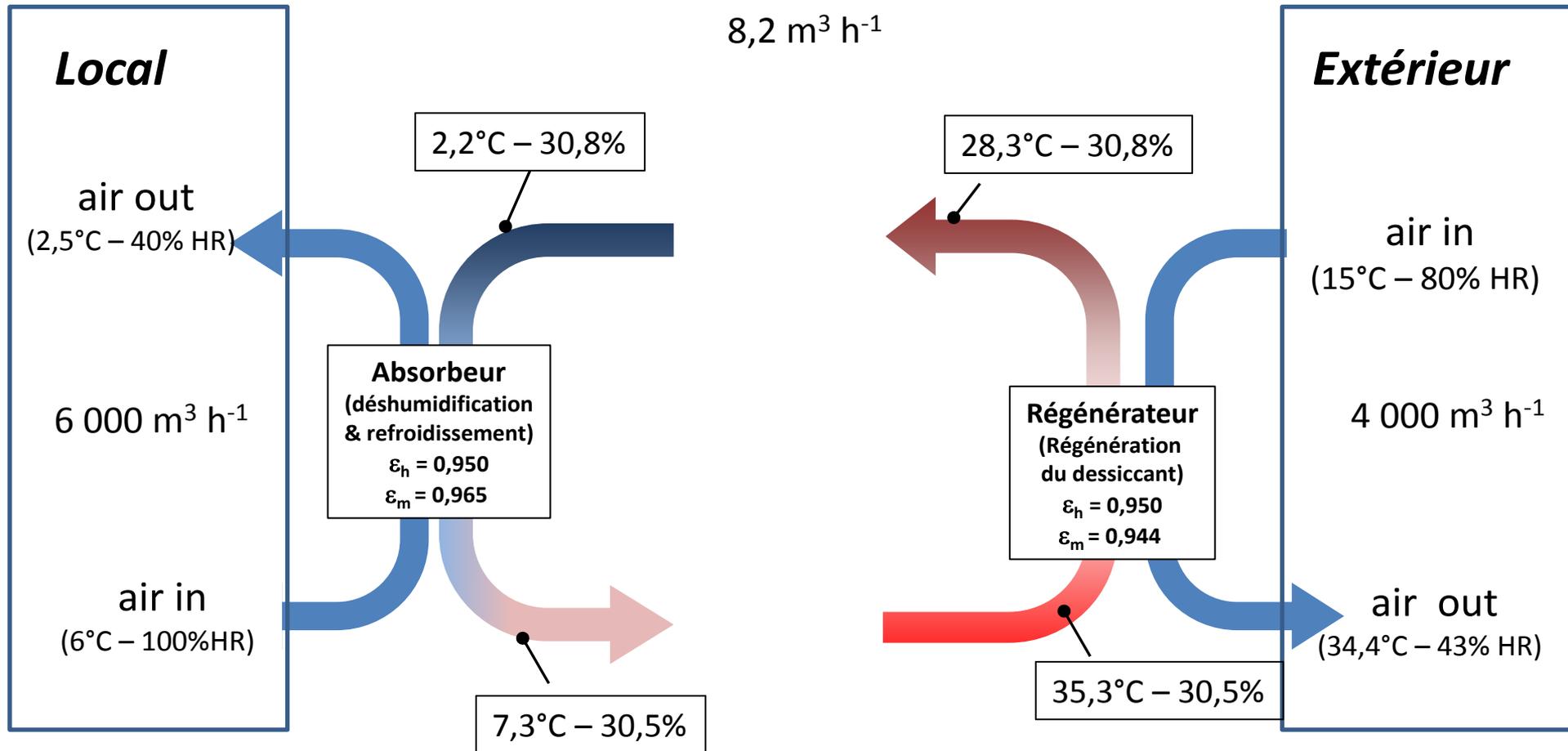
La dessiccation par sorption liquide

Débit de dessiccant
 $8,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$



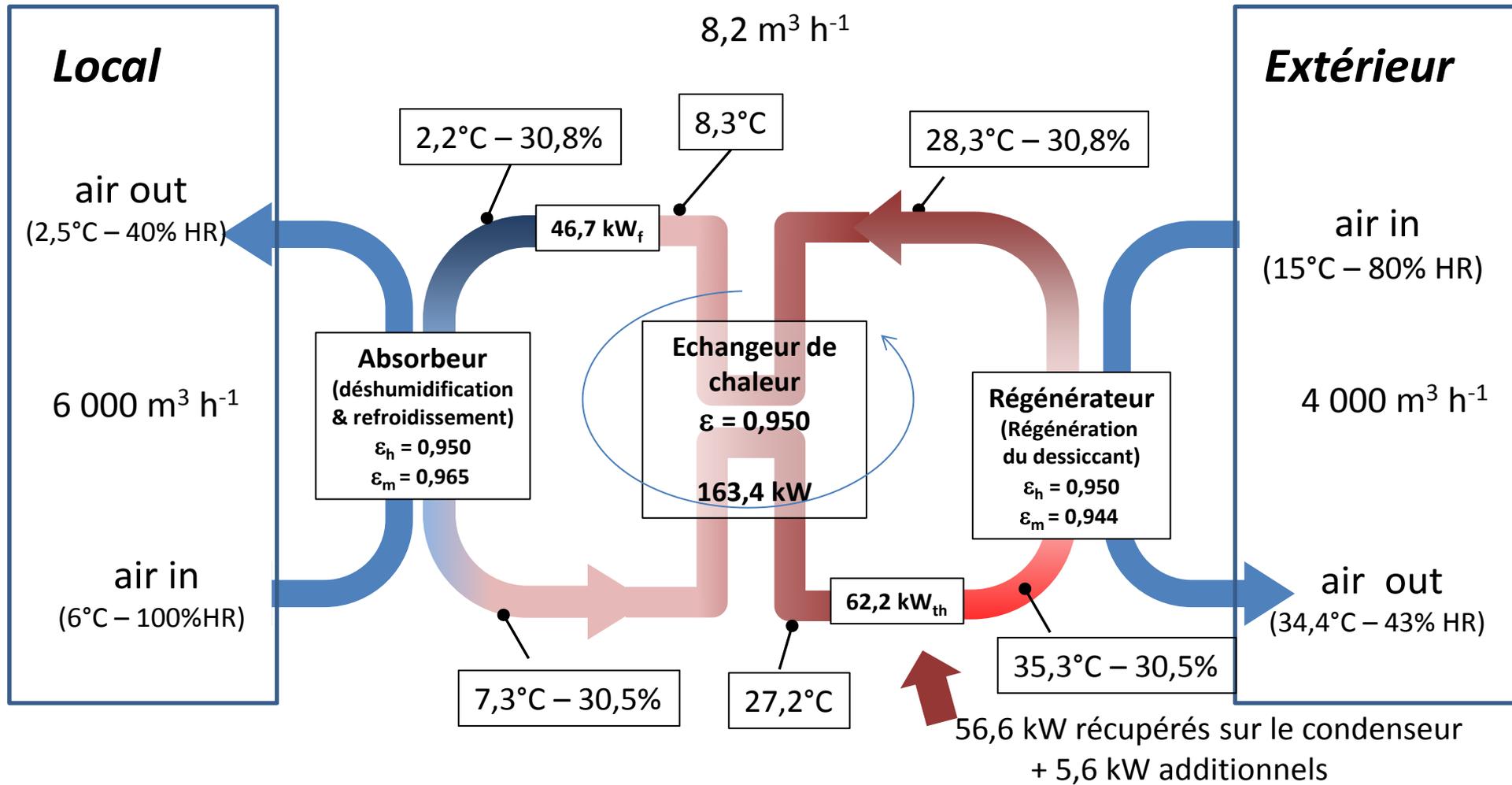
La dessiccation par sorption liquide

Débit de dessiccant
 $8,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$



La dessiccation par sorption liquide

Débit de dessiccant
 $8,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$



Résultats obtenus avec du LiCl:

	Appels (kW)	Consommation (kWh) ^(**)
Froid	46.7 kW _{refrig.} / 9.9 kW _{elec} ^(*)	17.4 kWh _{elec}
Chaud, dont:	62.2 kW _{th}	
Récupération au condenseur	56.6 kW _{th}	
Complément	5.6 kW _{elec}	9.8 kWh _{elec}
Dégivrage	-	-
Total		27.2 kWh_{elec}

(*) COP = 4.7, établi sur la base d'un cycle à -2,8 / +32°C (temp. du desiccant : +2,2°C)

(**) temps de séchage : 1h45

Note : utilisation du CaCl₂ n'est pas possible pour cette configuration
(pressions de vapeur trop élevées => dessiccation impossible)

La dessiccation par sorption liquide



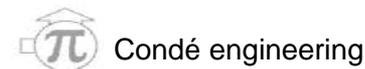
Le système Kathabar (Dessica) – échangeurs à ruissellement

Avantages :

Traitement simultané de la température et de l'humidité,
Qualité de l'air (effets bactéricide des solutions à base de Cl),
Pas de givrage

Inconvénients :

Solution utilisée (LiCl, toxicité du Li en cas d'entraînement vésiculaire)
Corrosion (évitée par l'utilisation de matériaux composites)



Consommations énergétiques des différentes techniques

	Froid (kWh)	Chaud (kWh)	Total (kWh)	Obs.
Point de rosée	26.5	47.4	73.9	Dégivrages (6.4 kWh) inclus dans les besoins en chaud
Dessiccant liquide	17.4	108.9	126.3	Sans récup. sur la condensation
	17.4	9.8	27.2	Avec récup. sur la condensation
Roue dessiccante	13.1	92.3	105.4	Sans récup. sur l'air de régénération

Précisions :

- (i) La consommation des ventilateurs est supposée identique pour les 3 techniques
- (ii) La consommation des pompes (dessiccants liquide) et du moteur de la roue (dessiccant solide) ne sont pas pris en compte

- Les classiques systèmes à point de rosée sont largement utilisés en raison de leur cout d'installation, de leur simplicité et de leur efficacité
- Même s'ils sont un plus gourmands en énergie, les roues dessiccantes restent relativement simples à installer et préviennent efficacement les problèmes de givrage
 - ⇒ Très intéressantes à utiliser, en particulier pour les “petits” débits d'air et les locaux de “petite” taille.
- Les systèmes à dessiccants liquides sont intéressants seulement s'ils y a récupération de chaleur sur la condensation. Ils restent assez complexes à déployer.
 - ⇒ A réserver aux gros débits (raisonnablement au dessus de 20 000 m³ h⁻¹)

Le séchage des ateliers :

Quelles technologies et quels coûts énergétiques ?



Jacques GUILPART- MF Conseil

j. guilpart@mfconseil.fr 06 43 44 66 28

www.mfconseil.fr



Adam TCHAIKOWSKI, Dessica

a.tchaikowski@dessica.fr 06 86 26 21 63