



CES Centre Efficacité énergétique
des Systèmes



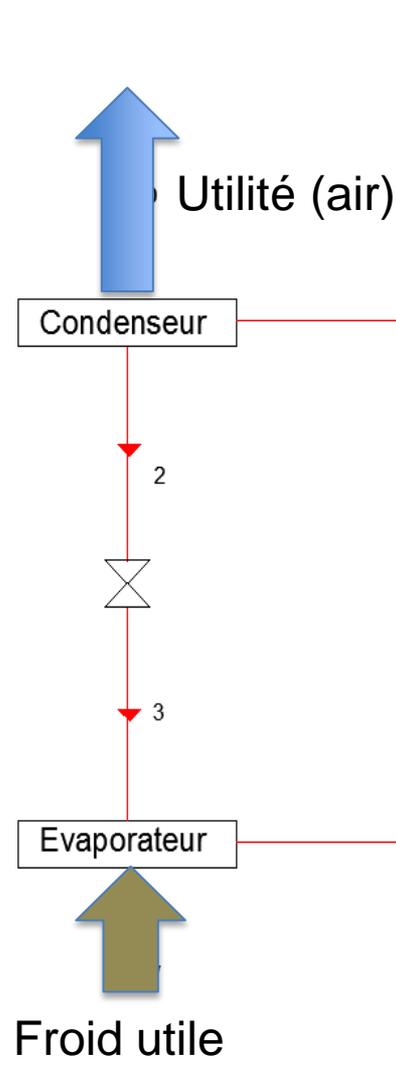
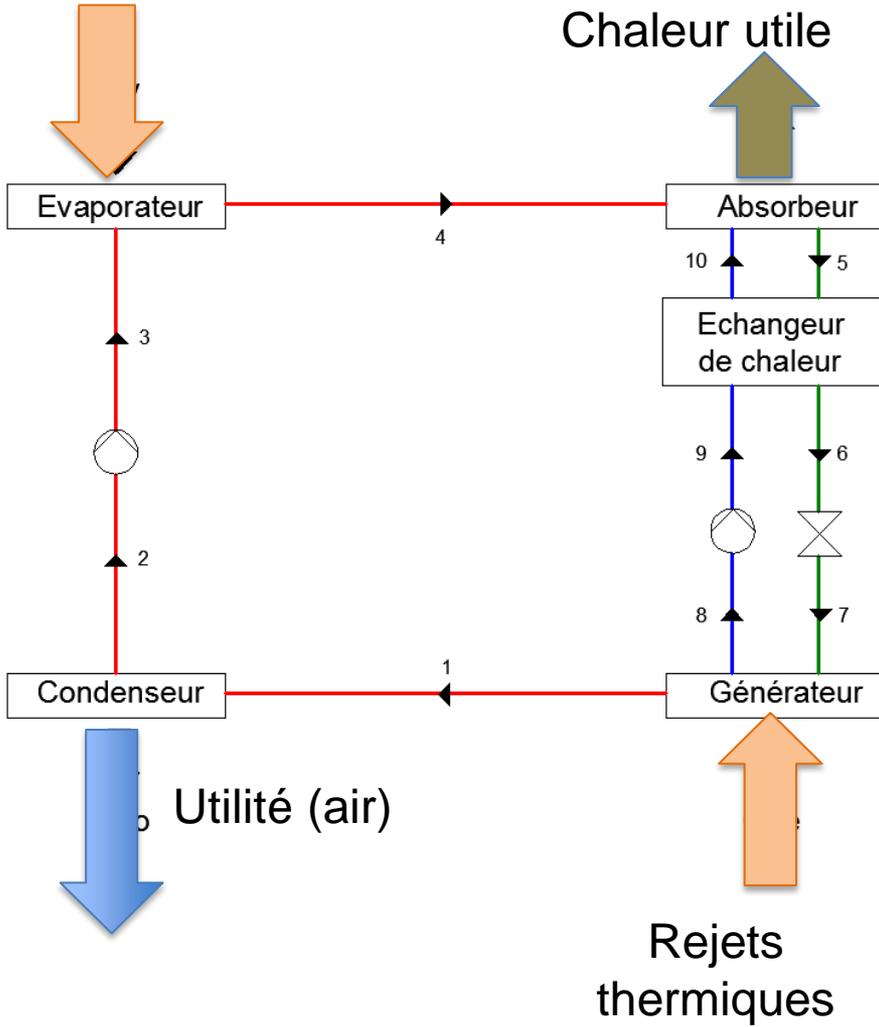
■ Cycles à absorption : la complexité des nouvelles générations de systèmes et le choix des fluides de travail

16 Mars 2017

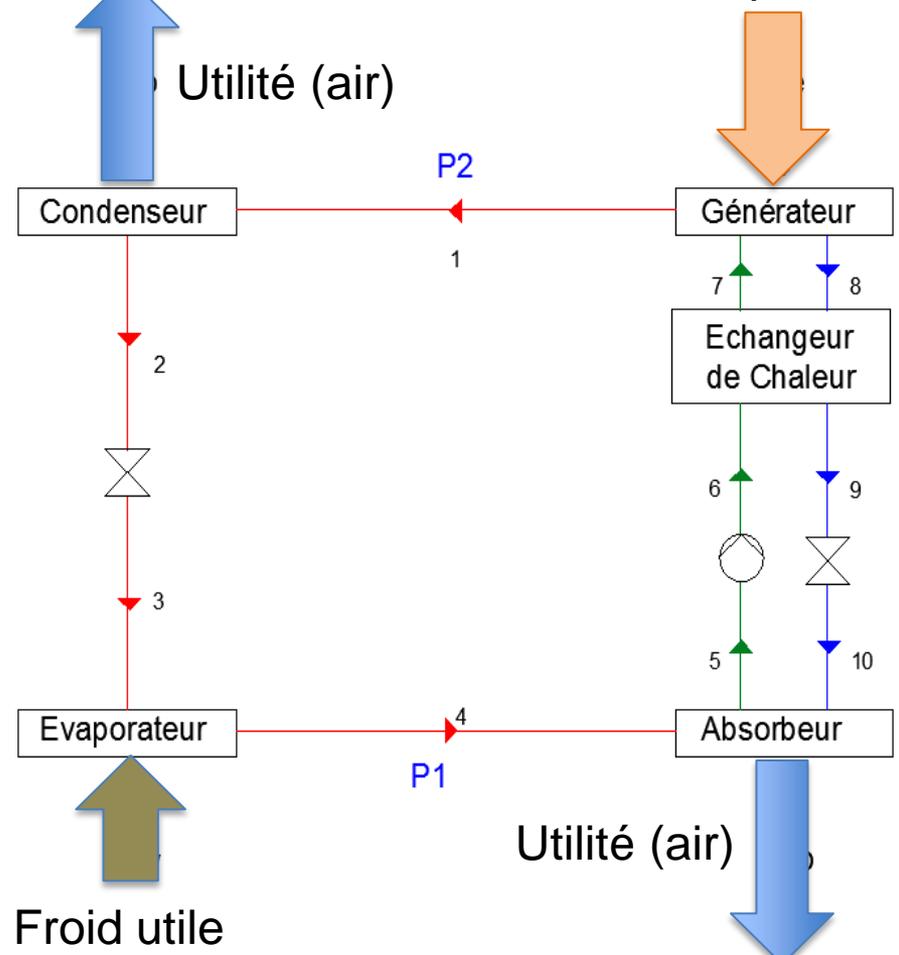
- Introduction
- Verrous sur les cycles à absorption
- Architectures des cycles
- Composants et dimensionnement
- Défis à relever

Introduction

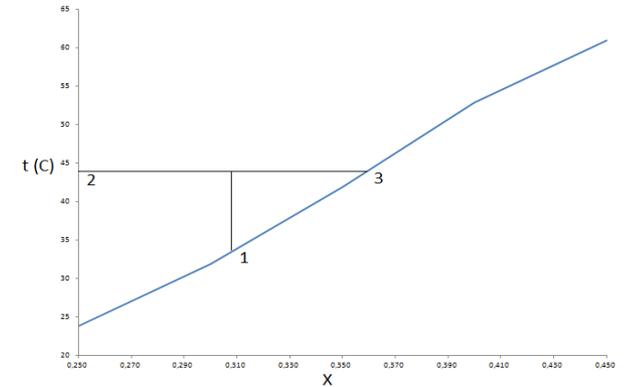
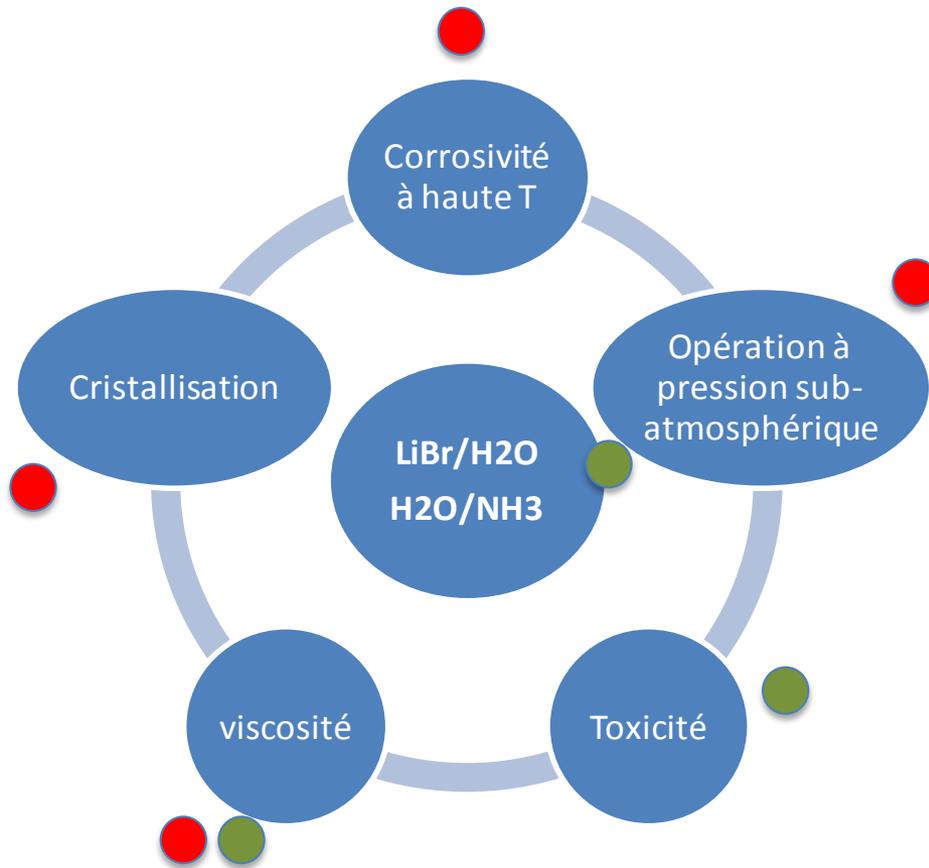
Rejets thermiques



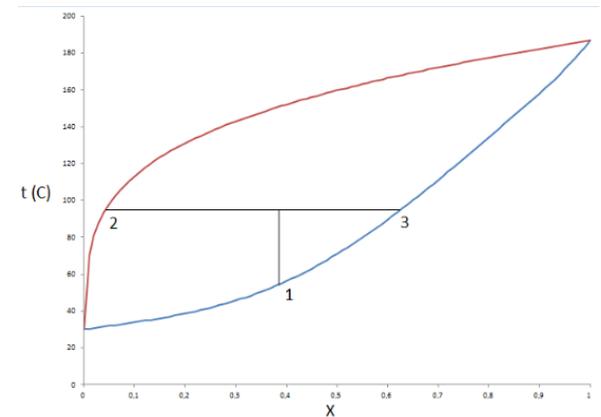
Rejets thermiques



Fluides utilisés



Bromure de lithium - Eau

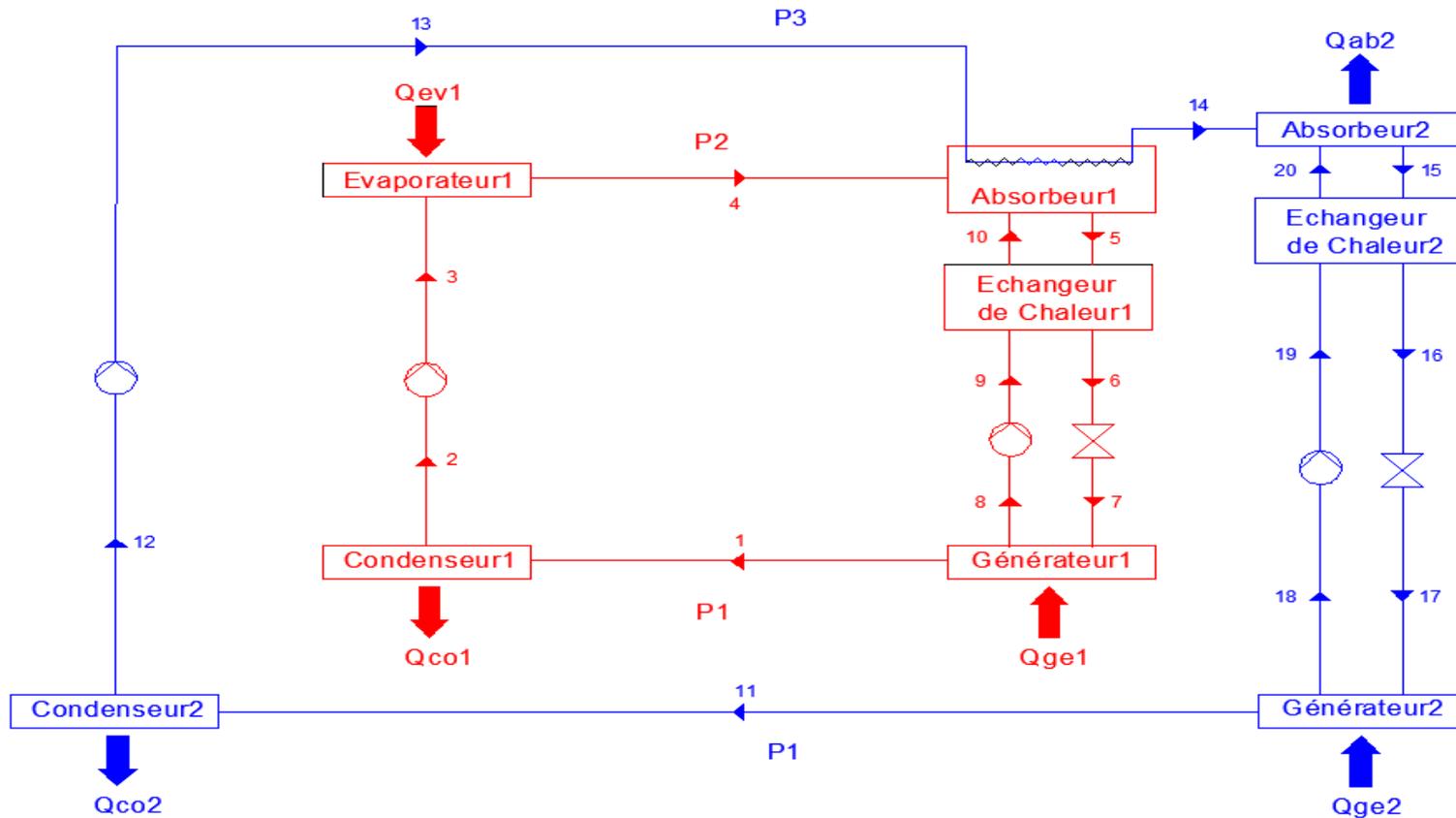


Mélange zéotrope

Afin d'étendre le domaine d'application des pompes à chaleur à absorption (thermo-transformation (chaud) et réfrigération) :

- *Identifier les nouvelles paires de fluides de travail pouvant atteindre des températures de 150°C (et $T_{\text{lift}} > 70^{\circ}\text{C}$)*
- *Développer les architectures de cycle permettant d'atteindre des températures en dessous de -50°C*
- *Permettre la récupération de chaleur fatale ($< 100^{\circ}\text{C}$)*
- *Développer des systèmes performants*
- *Dimensionner les composants du système*

Thermo-transformateur Double étage

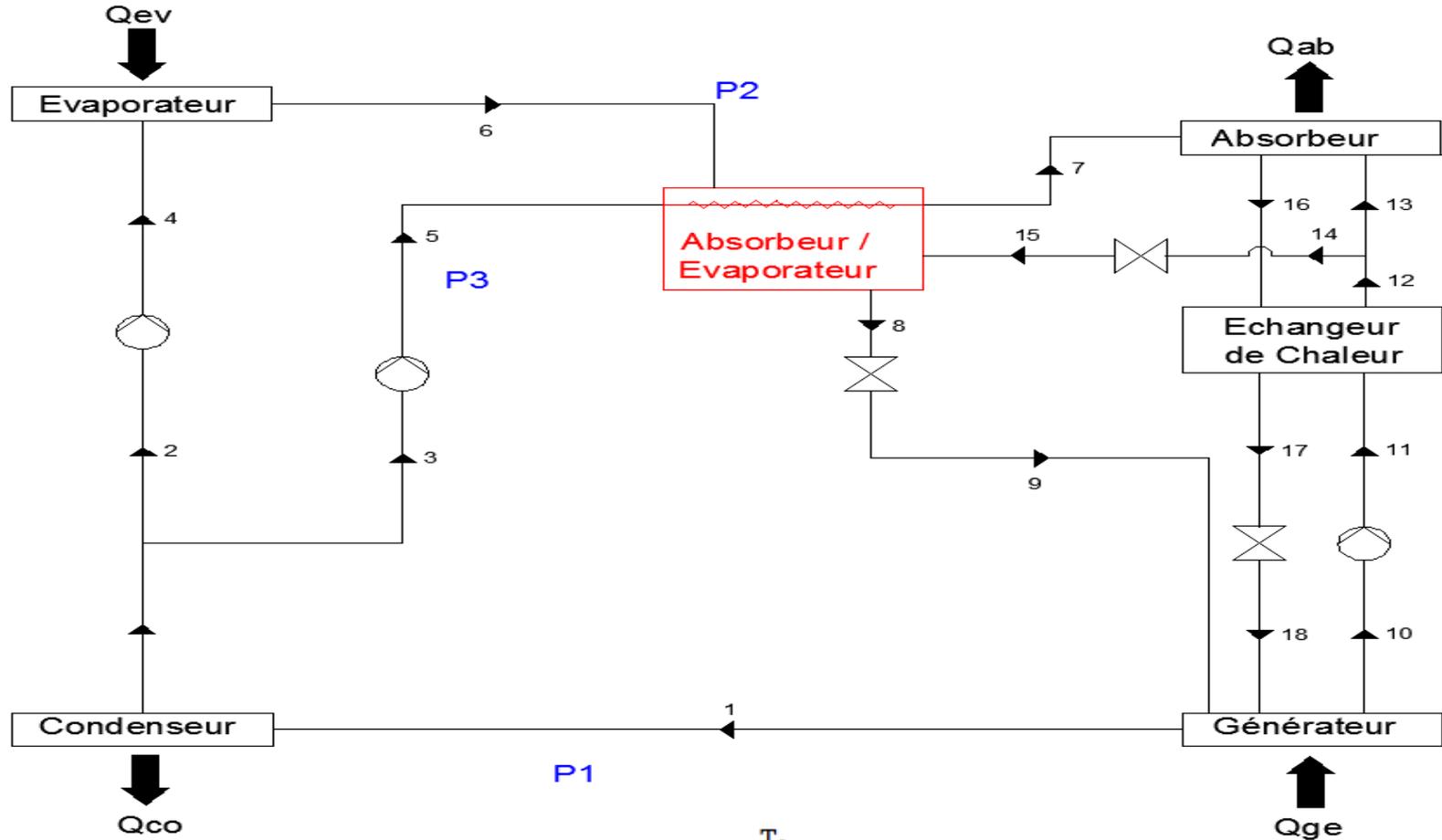


$$COP = \frac{Q_{ab2}}{Q_{ge1} + Q_{ge2} + Q_{ev1} + W_p}$$

$$COP_c = \frac{Q_{ab2} * \left(1 - \frac{T_0}{T_{ab2}}\right)}{Q_{ge1} * \left(1 - \frac{T_0}{T_{ge1}}\right) + Q_{ge2} * \left(1 - \frac{T_0}{T_{ge2}}\right) + Q_{ev1} * \left(1 - \frac{T_0}{T_{ev1}}\right) + W_p}$$

$$\eta_{exergétique} = \frac{COP}{COP_c}$$

Thermo-transformateur Double



$$COP = \frac{Q_{ab}}{Q_{ge} + Q_{ev} + W_p}$$

$$COP_c = \frac{Q_{ab} * (1 - \frac{T_0}{T_{ab}})}{Q_{ge} * (1 - \frac{T_0}{T_{ge}}) + Q_{ev} * (1 - \frac{T_0}{T_{ev}}) + W_p}$$

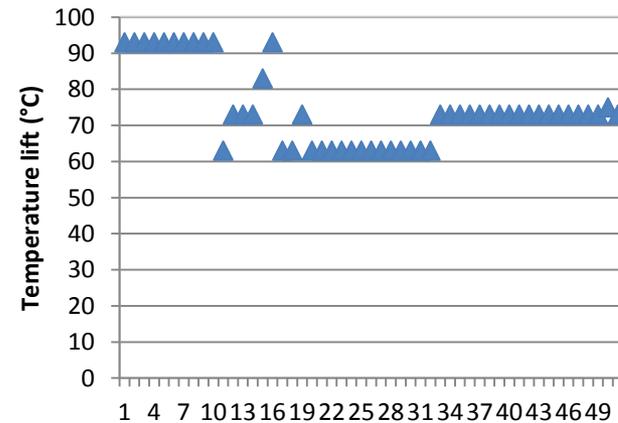
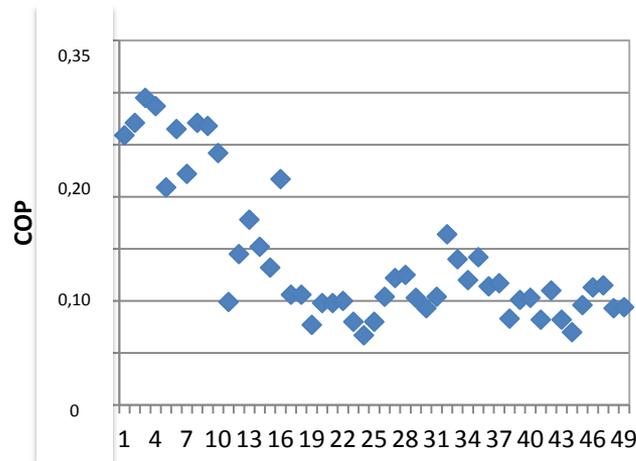
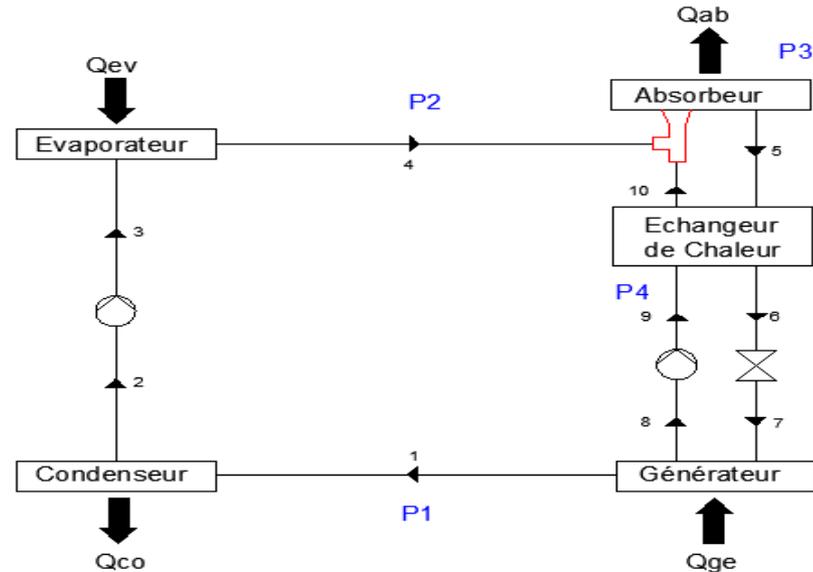
$$\eta_{exergétique} = \frac{COP}{COP_c}$$

Ejecteur – absorbeur

$$COP = \frac{Q_{ab}}{Q_{ge} + Q_{ev} + W_p}$$

$$COP_c = \frac{Q_{ab} * (1 - \frac{T_0}{T_{ab}})}{Q_{ge} * (1 - \frac{T_0}{T_{ge}}) + Q_{ev} * (1 - \frac{T_0}{T_{ev}}) + W_p}$$

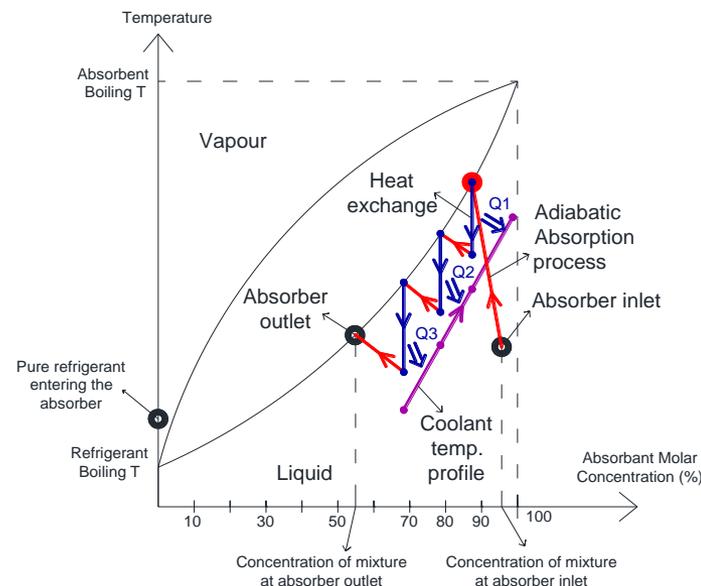
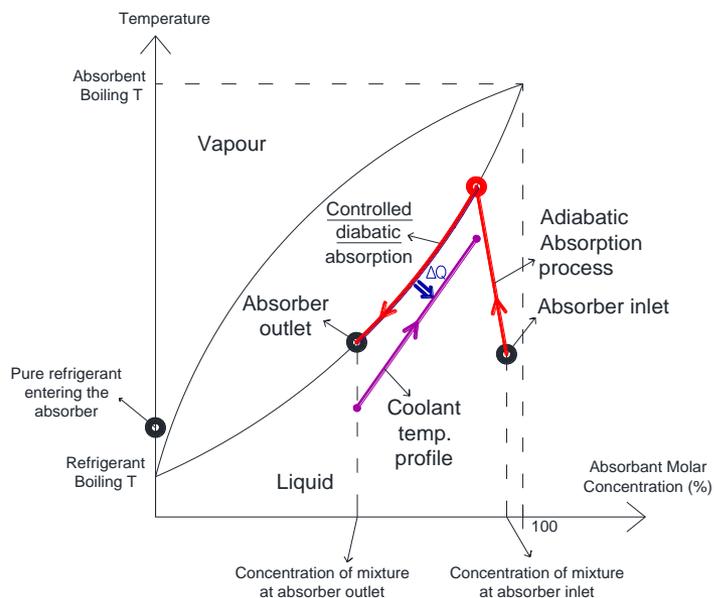
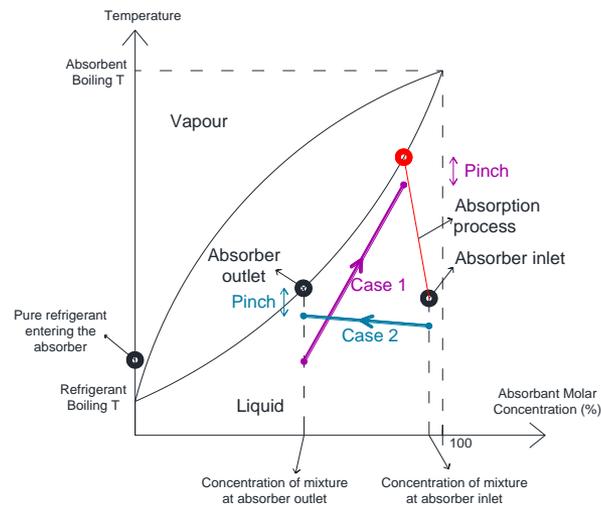
$$\eta_{exergétique} = \frac{COP}{COP_c}$$



Absorption optimisée

Objectifs :

- Atteindre la plus haute température possible dans l'absorbeur
- Modéliser, dimensionner, comparer et choisir le système d'absorption les plus adéquats pour une application donnée

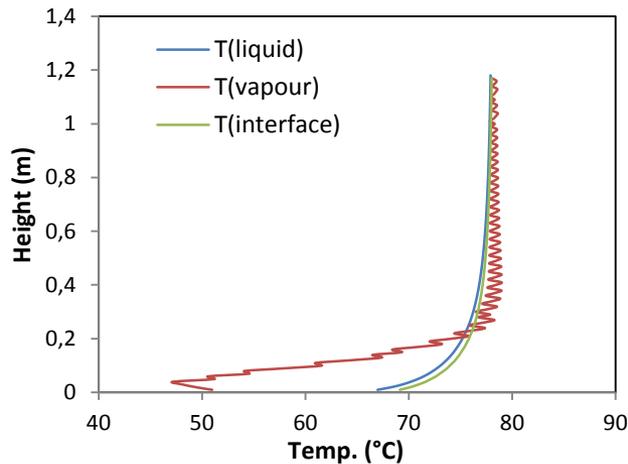


Démarche :

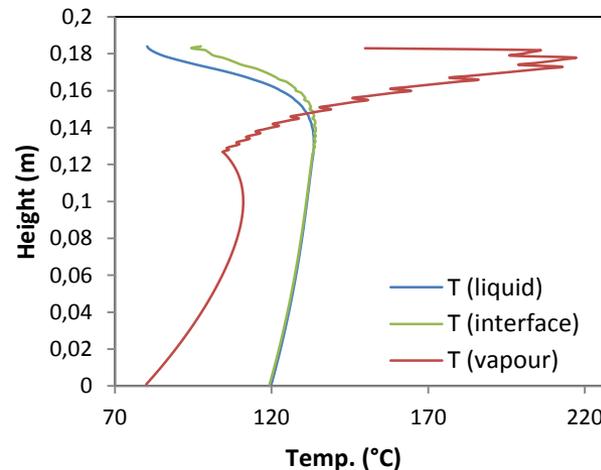
- Etat de l'art sur les technologies d'absorption
- Développement des modèles pour els absorbeurs à bulles, à garnissage et à film tombant
- Etude de la pertinence des technologies d'absorbeurs

Résultats : Profil de température (A/B)

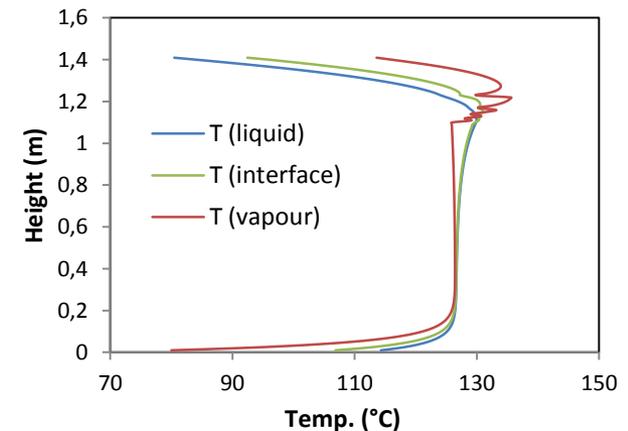
Bulles (co-courant)



Bulles (contre-courant)

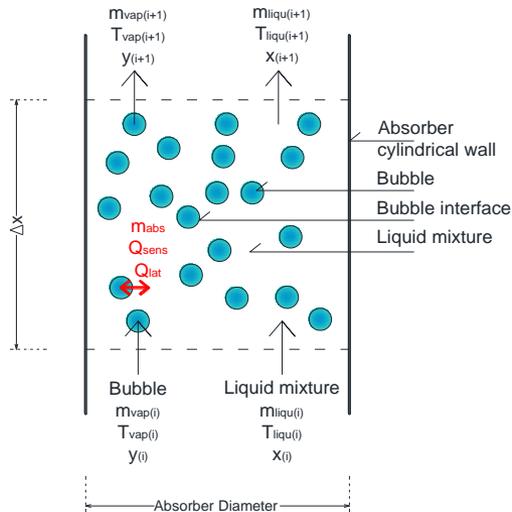


Garnissage (contre-courant)



Modélisation des technologies d'absorption

Exemple : Absorbeurs à bulles



Bubble - diamètre

$$D_{Bub} = 1.88 \left(\frac{4V_{vap/o}}{\pi D_o^2 (gD_o)^{0.5}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{Bub} = 26 * \left(\frac{gD_{abs}^2 \rho_{liq}}{\sigma} \right)^{-0.5} * \left(\frac{gD_{abs}^3 \rho_{liq}^2 V_{vap}}{\mu_{liq}^2 (D_{abs}g)^{0.5}} \right)^{-0.12}$$

Bubble - vitesse

$$V_{Bub} = \frac{g\rho_{liq}}{18\mu_{liq}} D_{Bo}^2 \quad \text{for } Re_{Bub} < 1$$

$$V_{Bub} = \left(\frac{2\sigma}{\rho_{liq} D_{Bo}} + \frac{gD_{Bo}}{2} \right)^{0.5} \quad \text{for } Re_{Bub} \gg 1$$

Liquide – Transfert de masse

$$k_x = 0.62 Diff^{0.5} \rho_{liq}^{0.37} \mu_{liq}^{-0.08} \sigma^{-0.33} \rho_{vap}^{0.04} D_{Bub}^{-0.81} V_{vap}^{0.68} S_{int}^{-1} g^{0.28} \rho_{liq,molar}$$

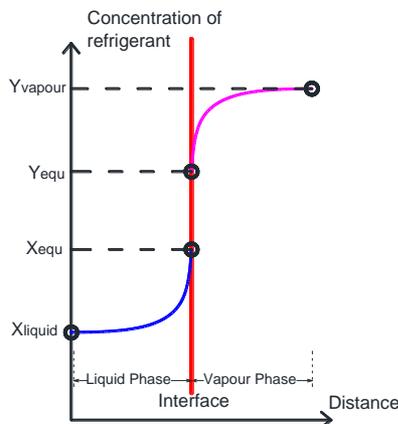
Vapeur – Transfert de masse

$$k_y = 1.4 \frac{S_{tot}}{S_{pro}} \left(\frac{f_{bubb}}{Diff_{vap}} \right)^{0.5} \rho_{liq,molar}$$

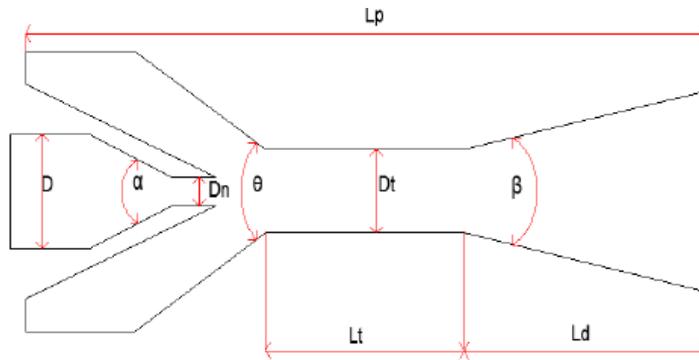
Transfert de chaleur – analogie au transfert de masse et correction

$$\frac{Nu_{vap}}{Sh_{vap}} = \left(\frac{Pr_{vap}}{Sc_{vap}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{y,corr} = h_y \frac{co}{1 - co e^{-co}}$$



○ Ejecteur Liquide Vapeur



Hypothèses

- ❖ Equations de bilan de matière et d'énergie
- ❖ Modèle de turbulence: k-ε standard
- ❖ Paroi ayant la condition de non-glissement
- ❖ les propriétés des fluides sont obtenues par ASPEN Properties (densité, conductivité thermique, capacité thermique, viscosité)
- ❖ Conditions aux limites: vitesse et température à l'entrée du primaire, pression et température à la sortie

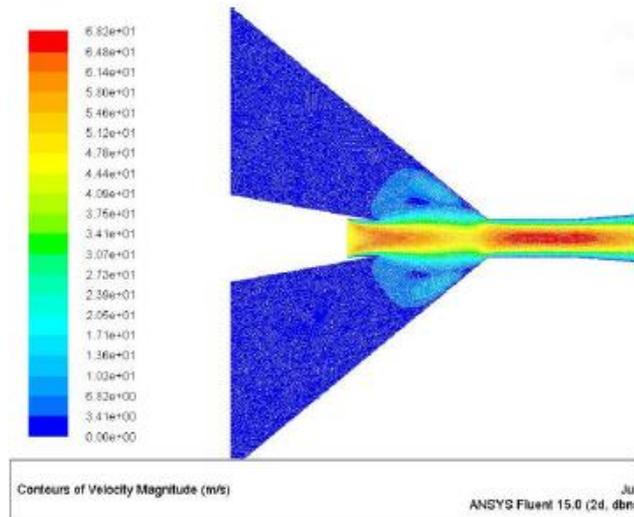


Figure 14 : Profil de vitesse pour le fluide primaire dans l'éjecteur de $\Theta=80^\circ$ (Total)

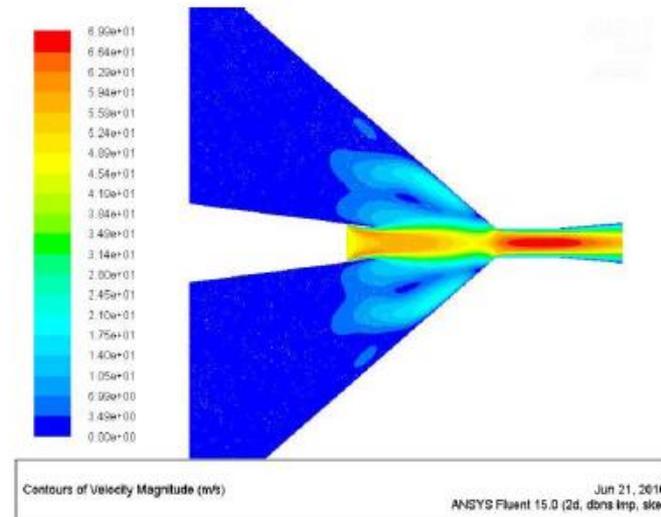
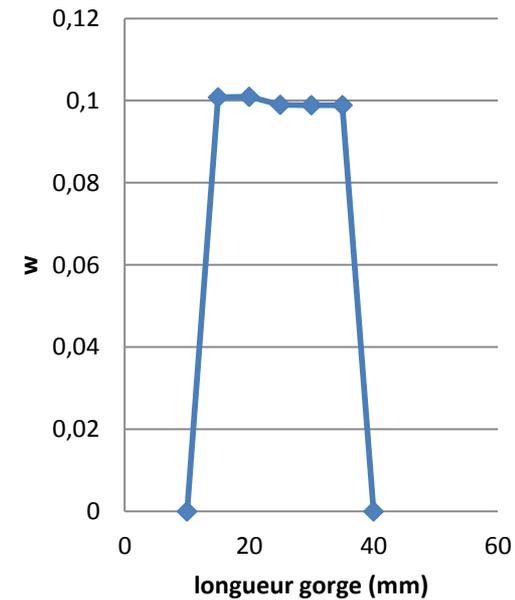
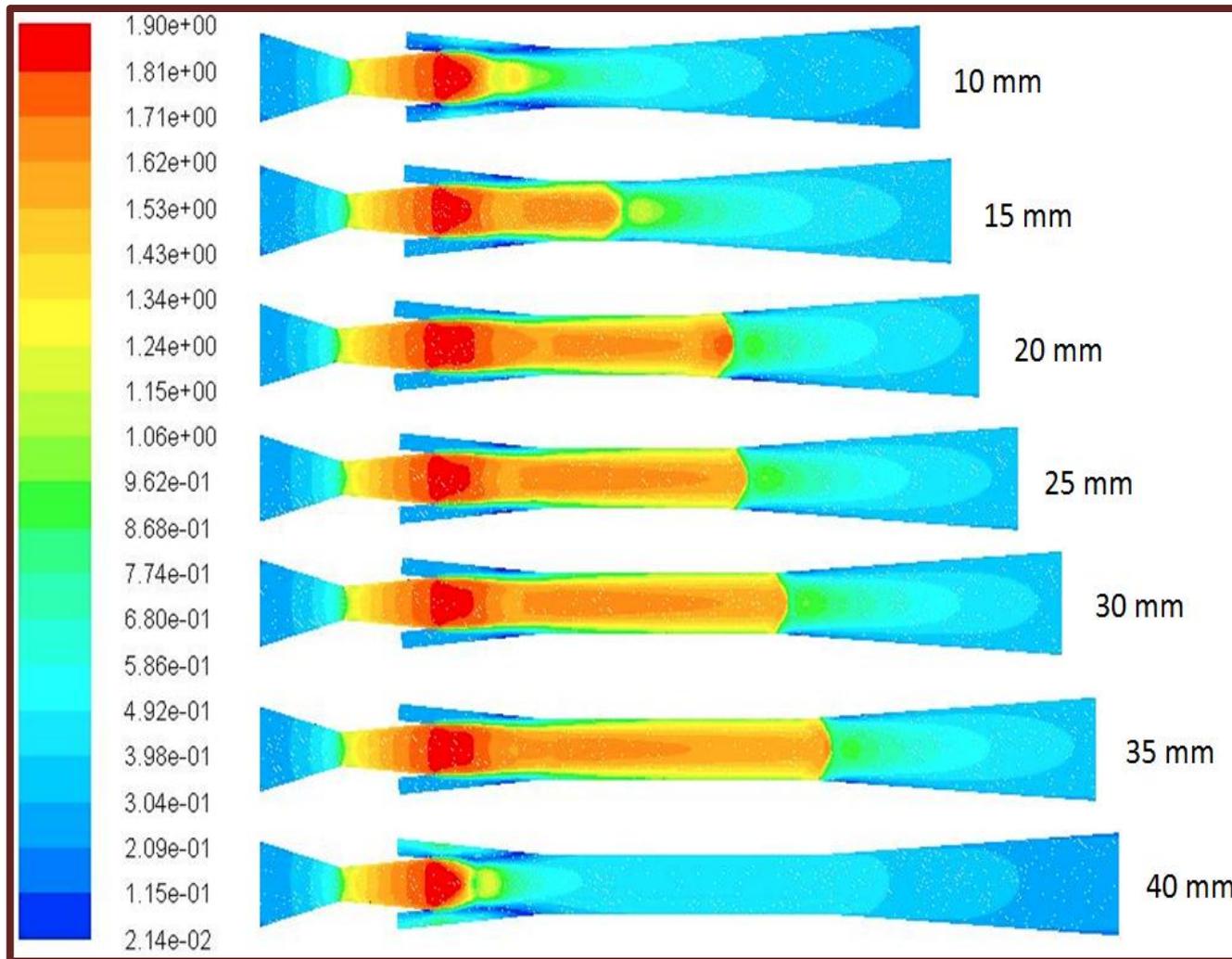


Figure 15 : Profil de vitesse pour le fluide primaire dans l'éjecteur de $\Theta=80^\circ$ (Air liquide)

○ Ejecteur Vapeur-Vapeur



Nombre de Mach pour des éjecteurs à différents longueurs de zone à section constante

- Précision des équations d'état et des données d'équilibre L-V pour des mélanges binaires organiques
- Nécessité des données précises de propriétés thermo-physiques pour le dimensionnement de :
 - Éjecteurs
 - Absorbeurs
 - Echangeurs de chaleur
- Vitesse de propagation du son dans les phases gazeuses
- Données validées d'enthalpie d'excès et d'enthalpie de mélange
- Interfaçage avec des simulateurs et autres outils existants

Merci!

Questions

rodrigo.rivera_tinoco@mines-paristech.fr