





























Or par hypothèse :  $D_1 - D_2 = 150 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$  et la puissance mécanique totale produite par les deux turbines vérifie :  $\dot{W}_{\text{totale}} = \dot{W}_1 + \dot{W}_2 = D_1(h_2 - h_1) + D_2(h_4 - h_3) = -5,0 \cdot 10^6 \text{ W}$   
Il faut donc résoudre le système suivant d'inconnues :

$$D_1 \text{ et } D_2 : \begin{cases} D_1 - D_2 = 150 \\ 4234,5D_1 + 14285D_2 = 5,0 \cdot 10^6 \end{cases}$$

qui admet pour solution  $\begin{cases} D_1 = 385,69 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \\ D_2 = 235,69 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$

Il s'ensuit alors :  $h_6 = 3518,0 \text{ mol/s}$ . La connaissance de  $P_6$  et de  $h_6$  permet à *DiagSim* de déterminer :  $T_6 = 296,28 \text{ K} = 23,13 \text{ °C}$  et  $s_6 = 12,6645 \text{ J/mol/K}$ . Le système est liquide.

**Note pédagogique :** Ici, le point délicat est le choix du volume de contrôle sur lequel est fait le bilan enthalpique. L'enseignant peut se concentrer sur ce problème plutôt que sur la façon de calculer les différentes enthalpies (*DiagSim* est là!).

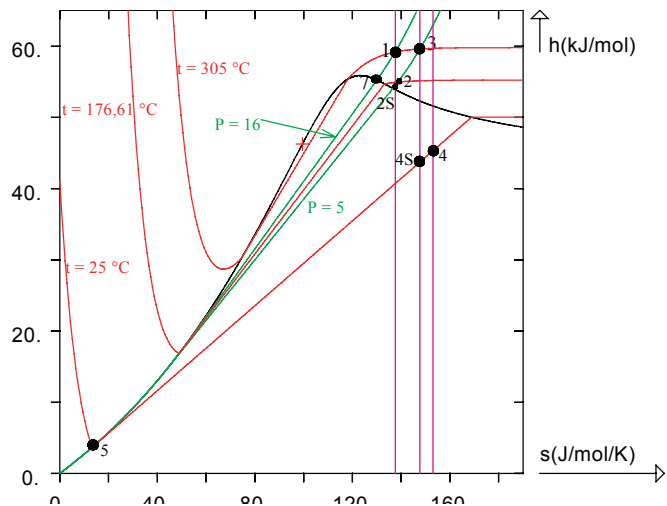
### Calcul du point 7 :

On connaît  $P_7 = 16 \text{ bar}$  et par hypothèse l'eau est à l'état de vapeur saturante. En utilisant dans *DiagSim* le menu « calcul d'un point de la courbe de saturation - calcul à pression donnée », on obtient :  $T_7 = 474,33 \text{ K} = 201,18 \text{ °C}$ ,  $h_7 = 55209 \text{ J/mol}$  et  $s_7 = 129,86 \text{ J/mol/K}$ .

Le tableau suivant récapitule les propriétés de l'eau en chacun des points de fonctionnement :

Point	$t \text{ (°C)}$	$P/\text{bar}$	$h \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$	$s \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	État du fluide	Titre $x$ en vapeur
1	305	16	59159	137,39	V	1
2S	163,47	5	54454	137,39	V	1
2	176,61	5	54924,5	138,45	V	1
3	305	5	59578	147,55	V	1
4S	25	0,02546	43706	147,55	LV	0,86
4	25	0,02546	45293	152,87	LV	0,90
5	25	0,02546	3657,3	13,2285	L'	0
5'	25,08	16	3685,6	13,2285	L	0
A	20	1	3228,2	11,771	L	0
A'	20,07	16	3254,6	11,771	L	0
6	23,13	16	3518,0	12,6645	L	0
7	201,18	16	55209	129,86	V'	1

Les principaux points de fonctionnement peuvent être placés dans un diagramme  $(h,s)$ . Remarquons que les points A, A', 5', 6 et 5 sont trop proches pour pouvoir être distingués.



2) La puissance thermique à apporter à la chaudière s'obtient par bilan enthalpique sur le volume de contrôle englobant le bouilleur et le surchauffeur :

$$\dot{q} = D_1(h_1 - h_6) + D_2(h_3 - h_2) = 22,56 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 23 \text{ MW}$$

3) La puissance calorifique que doit évacuer l'eau de refroidissement au niveau du condenseur s'obtient par bilan enthalpique sur la veine de l'échangeur dans laquelle a lieu le changement d'état. On obtient simplement :

$$\dot{q} = D_2(h_5 - h_4) = -9,81 \cdot 10^6 \text{ W} \approx -10 \text{ MW}$$

---

## Conclusion

Cela fait maintenant sept ans que mes collègues et moi-même utilisons *DiagSim* avec les étudiants de deuxième année de l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC) qui ont donc un niveau BAC + 4. Nous avons par conséquent assez de recul pour pouvoir mesurer les effets qu'a eus l'introduction de *DiagSim* dans les séances de travaux dirigés.

L'utilisation pédagogique de *DiagSim* a eu plusieurs effets très bénéfiques. D'une manière générale, ce logiciel a permis d'enrichir l'apprentissage des élèves pour de multiples raisons :

1. Il facilite l'acquisition du savoir-faire, les étudiants étant déchargés des difficultés calculatoires. De ce fait, la thermodynamique ne reste pas un ensemble de concepts abstraits et perd son statut de discipline difficile pour devenir facile à mettre en œuvre. Sur le plan psychologique, l'effet est immédiat.
2. Il permet d'effectuer des études de cas réalistes. Ses capacités de résolution de problèmes excèdent de loin celles qui seraient accessibles à un étudiant seul devant sa machine à calculer.
3. En facilitant les calculs, il rend plus attractive l'étude des exemples.
4. Il peut rendre les étudiants vraiment opérationnels, ce qui est un facteur de leur motivation et donc de leur attention. L'excellente précision des résultats et la rapidité du logiciel motivent également les étudiants.
5. Il permet une approche visuelle très féconde.
6. Il permet des actions collaboratives entre les étudiants.
7. Il permet un archivage des projets étudiés, ce qui permet aux étudiants de revenir plusieurs fois sur un même projet pour en approfondir tel ou tel aspect.
8. Il permet d'effectuer des études de sensibilité, ce qui confère aux étudiants une bonne connaissance des ordres de grandeur des quantités calculées.

## Références

- Péneloux, A., Rauzy, E. et Freze, R. (1982). A consistent correction for Redlich-Kwong-Soave volumes. *Fluid Phase Equilibria*, 8(1), 7-23.
- Peng, D.-Y. et Robinson, D. B. (1976). A new two-constant equation of state. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 15(1), 59-64.
- Redlich, O. et Kwong, J. N. S. (1949). On the thermodynamics of solutions. V. An equation of state. Fugacities of gaseous solutions. *Chemical Reviews*, 44(1), 233-244.
- Schmidt, G. et Wenzel, H. (1980). A modified van der Waals type equation of state. *Chemical Engineering Science*, 35(7), 1503-1512.
- Soave, G. (1972). Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state. *Chemical Engineering Science*, 27(6), 1197-1203.

## Partenaires / Acknowledgements

---

Le Comité éditorial de la *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire* tient à remercier sincèrement ses précieux partenaires qui permettent la réalisation de ce projet international de diffusion scientifique.

The Editorial Committee of the *International Journal of Technology in Higher Education* wishes to thank its precious partners for their commitment and support.

