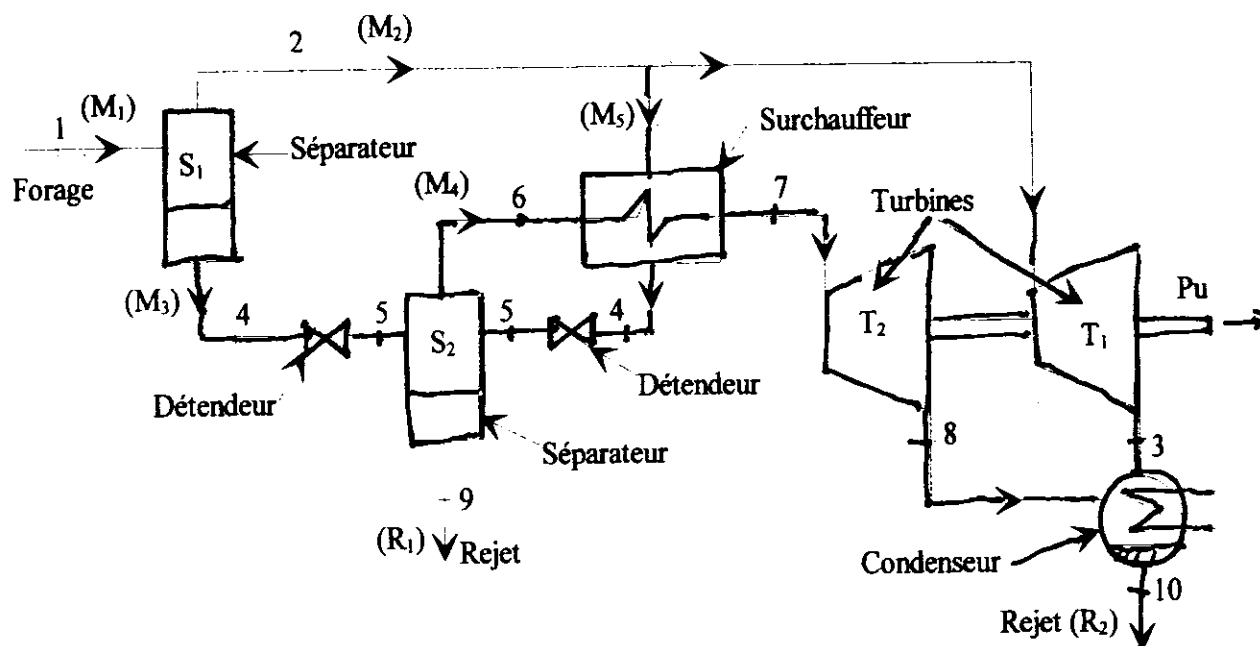


THERMODYNAMIQUE

 Etude d'une centrale géothermique
 (voir schéma ci-dessous)


Le séparateur est un réservoir dont l'unique rôle est de séparer les deux phases : le liquide saturant à la partie inférieure, la vapeur saturante sèche à la partie supérieure (la pression qui y règne est constante). On supposera cet élément calorifugé.

Le détendeur est un organe statique (pas de partie mobile) permettant d'adapter la pression à une valeur imposée. On supposera que l'évolution du fluide y est adiabatique.

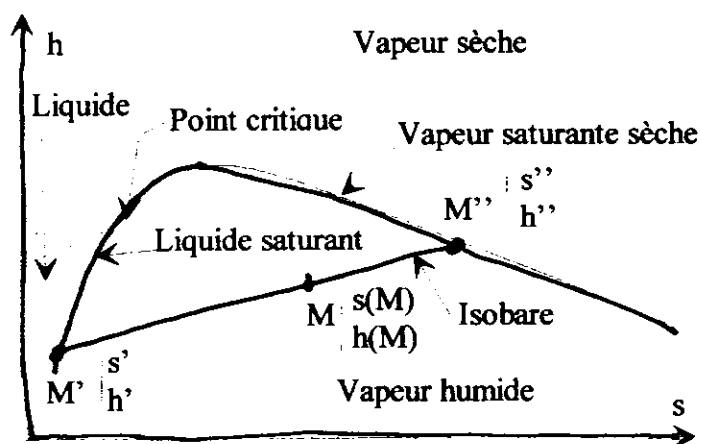
Le surchauffeur est un échangeur permettant de surchauffer la vapeur saturante sèche provenant du séparateur S₂ par échange thermique avec la vapeur saturante sèche provenant du séparateur S₁. On supposera que les évolutions du fluide y sont isobares.

Présentation de l'installation : La vapeur humide (*titre de vapeur égal à 0,25*) provenant du forage est admise dans le séparateur S₁ où règne une *pression P*, égale à 7 bars (1 bar = 10⁵ Pa). De ce séparateur, il sort d'une part la vapeur saturante sèche qui est dirigée vers le surchauffeur ou la turbine T₁ et d'autre part le liquide saturant. Ce liquide saturant, après passage dans le détendeur, est envoyé dans le séparateur S₂ où règne une *pression P_s* égale à un bar. De ce séparateur, il sort d'une part la vapeur saturante sèche, dirigée vers le surchauffeur puis vers la turbine T₂, et d'autre part le liquide saturant rejeté vers l'extérieur. La vapeur saturante sèche sortant du séparateur S₂ est surchauffée jusqu'à la température de 140°C ($T=140^{\circ}\text{C}=413\text{ K}$) grâce à la condensation totale d'une partie de la vapeur saturante sèche provenant du séparateur S₁. Le liquide saturant sortant du surchauffeur est réintroduit dans le séparateur S₂ après passage dans le détendeur. Après passage dans les turbines T₁ et T₂, la vapeur humide parvient au condenseur où la pression est maintenue à la *valeur de 0,1 bar*. Le liquide saturant provenant du condenseur est rejeté vers l'extérieur. La puissance mécanique utile, notée P_u, est disponible sur l'arbre commun aux deux turbines.

Hypothèses :

- Les détentes dans les turbines T₁ et T₂ sont supposées adiabatiques réversibles.
- On négligera les pertes mécaniques dans les turbines.
- Dans tout ce problème, les variations d'énergies cinétique et potentielle du fluide seront négligées.

Préliminaires :



Les tableaux de valeurs numériques de la vapeur d'eau saturée, remis avec le sujet, précisent, pour une pression ou une température donnée, les caractéristiques du liquide saturant (point M') et celles de la vapeur saturante sèche (point M'').

Les notations adoptées sont précisées sur le diagramme de Mollier ci-dessus.

Question 1 : Rappeler les expressions du titre de vapeur, noté $x(M)$, du point M, en fonction de h' , h'' , $h(M)$, d'une part, s' , s'' et $s(M)$ d'autre part.

Première partie. Etude de la détente dans la turbine T_1 .

Important : pour résoudre cette partie, on n'utilisera que les tableaux de valeurs numériques de la vapeur d'eau saturée.

Question 2 :

- 2a. Préciser pression (en bar), température (en °C), enthalpie massique (en kJ.kg^{-1}) et entropie massique (en $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) au point 2.
- 2b. Calculer le titre de vapeur au point 3. En déduire son enthalpie massique.
- 2c. Calculer le travail indiqué *massique* de la détente, noté w_{i,T_1} .

Seconde partie : Etude de l'installation.

Question 3 : Démontrer que l'évolution dans un détendeur est isenthalpe.

Question 4 :

- 4a. Placer les points 2, 3, 6, 7 et 8 sur le diagramme (h,s) remis avec le sujet. Lire l'enthalpie massique des points 7 et 8.
- 4b. En utilisant les tableaux de valeurs numériques de la vapeur d'eau saturée, déterminer l'enthalpie massique aux points 1, 4, 5, 6, 9 et 10.
- 4c. Remplir le tableau fourni avec le sujet, précisant pression, température, enthalpie massique et titre de vapeur aux points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10.
Préciser le calcul de h_1 et x_5 .

Troisième partie : Bilan de l'installation :

Notations : on notera :

- M_1 : le débit massique de vapeur humide obtenu par forage pénétrant dans le séparateur S_1 .
- M_2 : le débit massique de vapeur saturante sèche sortant du séparateur S_1 .
- M_3 : le débit massique de liquide saturant sortant du séparateur S_1 .

Constantes thermodynamiques de la vapeur d'eau saturée

P (bars)	T(°C)	h'(kJ/kg)	h''(kJ/kg)	s'(kJ/kg.K)	s''(kJ/kg.K)
0,075	40,316	168,77	2574,9	0,5763	8,2523
0,080	41,534	173,86	2577,1	0,5925	8,2296
0,085	42,689	178,69	2579,2	0,6079	8,2082
0,090	43,787	183,28	2581,1	0,6224	8,1881
0,095	44,833	187,65	2583,0	0,6361	8,1691
0,10	45,833	191,83	2584,8	0,6493	8,1511
0,11	47,710	199,68	2588,1	0,6738	8,1177
0,12	49,446	206,94	2591,2	0,6963	8,0872
0,13	51,062	213,70	2594,0	0,7172	8,0592
0,14	52,574	220,02	2596,7	0,7367	8,0334
0,75	91,785	384,45	2663,0	1,2131	7,4570
0,80	93,512	391,72	2665,8	1,2330	7,4352
0,85	95,152	398,63	2668,4	1,2518	7,4147
0,90	96,713	405,21	2670,9	1,2696	7,3954
0,95	98,204	411,49	2673,2	1,2865	7,3771
1,0	99,632	417,51	2675,4	1,3027	7,3598
1,1	102,32	428,84	2679,6	1,3330	7,3277
1,2	104,81	439,36	2683,4	1,3609	7,2984
1,3	107,13	449,19	2687,0	1,3868	7,2715
1,4	109,32	458,42	2690,3	1,4109	7,2465
6,0	158,84	670,42	2755,5	1,9308	6,7575
6,2	160,12	676,01	2756,9	1,9437	6,7464
6,4	161,38	681,46	2758,2	1,9562	6,7357
6,6	162,60	686,78	2759,5	1,9684	6,7252
6,8	163,79	691,98	2760,8	1,9802	6,7150
7,0	164,96	697,06	2762,0	1,9918	6,7052
7,2	166,10	702,03	2763,2	2,0031	6,6956
7,4	167,21	706,90	2764,3	2,0141	6,6862
7,6	168,30	711,68	2765,4	2,0249	6,6771
7,8	169,37	716,35	2766,4	2,0354	6,6683

Valeurs extraites des tables VDI (Properties of Water and Steam in SI-units)

Diagramme de Mollier (h,s) de la vapeur d'eau

