

CHAPITRE II – PRODUCTION THERMIQUE CLASSIQUE

I - CENTRALES A VAPEUR

Une centrale thermique produit de l'électricité à partir de la vapeur d'eau produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz, de charbon ou de fioul, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur. La conversion de chaleur en énergie mécanique se fait à travers le cycle thermodynamique de Rankine décrit ci-dessous

Cycle de Rankine

Dans ce cycle, la chaleur est fournie de manière externe à une boucle fermée qui utilise généralement de l'eau (en phase liquide et en phase vapeur) comme fluide de travail. Bien que de nombreuses substances puissent être utilisées comme fluide de travail, l'eau est le fluide de choix en raison de ses propriétés favorables, telles que sa chimie non toxique et non réactive, son abondance et son faible coût, ainsi que ses propriétés thermodynamiques. Par exemple, l'eau a la plus haute chaleur spécifique d'une substance commune – 4,19 kJ / kg K.

L'un des principaux avantages du cycle de Rankine est que le processus de compression dans la pompe a lieu sur un liquide. En condensant la vapeur de travail en un liquide (à l'intérieur d'un condenseur), la pression à la sortie de la turbine est réduite et l'énergie nécessaire à la pompe d'alimentation ne consomme que 1% à 3% de la puissance de sortie de la turbine. Ces facteurs contribuent à un rendement plus élevé le cycle.

Dans un cycle de Rankine idéal, le système exécutant le cycle subit une série de quatre processus: deux processus isentropiques (adiabatiques réversibles) et deux isobares. Le cycle est représenté dans le diagramme T-S ci-dessous. On distingue les transformations suivantes:

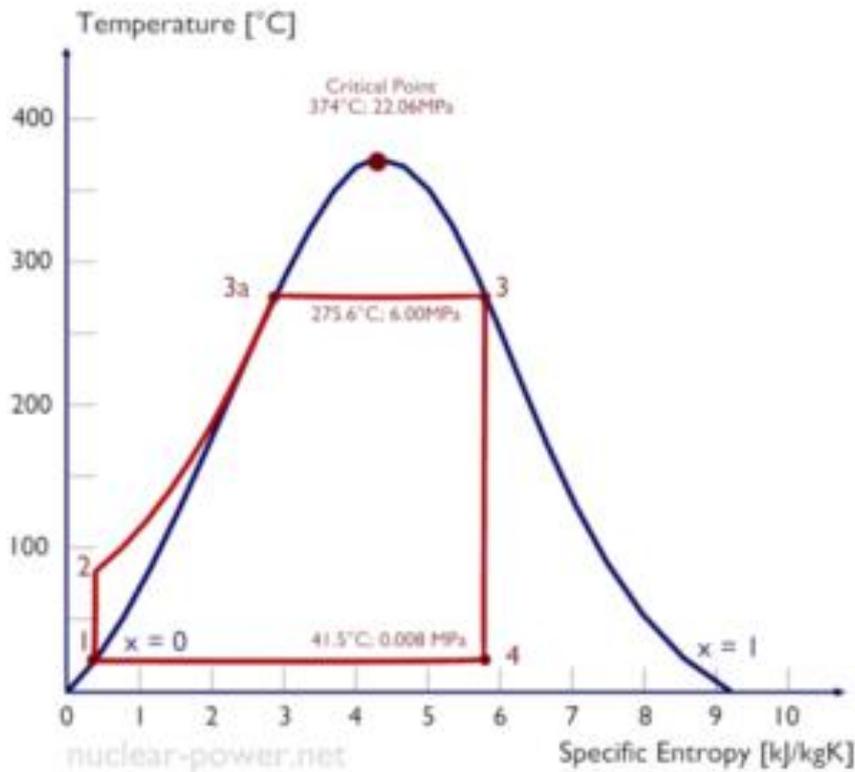
Compression isentropique (compression dans les pompes centrifuges) – Le condensat liquide est comprimé de manière adiabatique de l'état 1 à l'état 2 par des pompes centrifuges. Le condensat liquide est pompé du condenseur dans la chaudière à pression supérieure.

Addition de chaleur isobare (dans un échangeur de chaleur – chaudière) – Dans cette phase (entre les états 2 et 3), il se produit un transfert de chaleur à pression constante vers le condensat liquide depuis une source externe, car la chambre est ouverte pour permettre des entrées et des sorties. L'eau d'alimentation (circuit secondaire) est chauffée du point d'ébullition (2 → 3a) de ce fluide puis évaporée dans la chaudière (3a → 3).

Expansion isentropique (expansion dans une turbine à vapeur) – La vapeur de la chaudière se dilate de manière adiabatique de l'état 3 à l'état 4 dans une turbine à vapeur pour produire du travail, puis est rejetée dans le condenseur (partiellement condensée). La vapeur fonctionne sur les aubes de la turbine) et perd une quantité d'enthalpie égale au travail qui quitte le système. L'entropie reste inchangée.

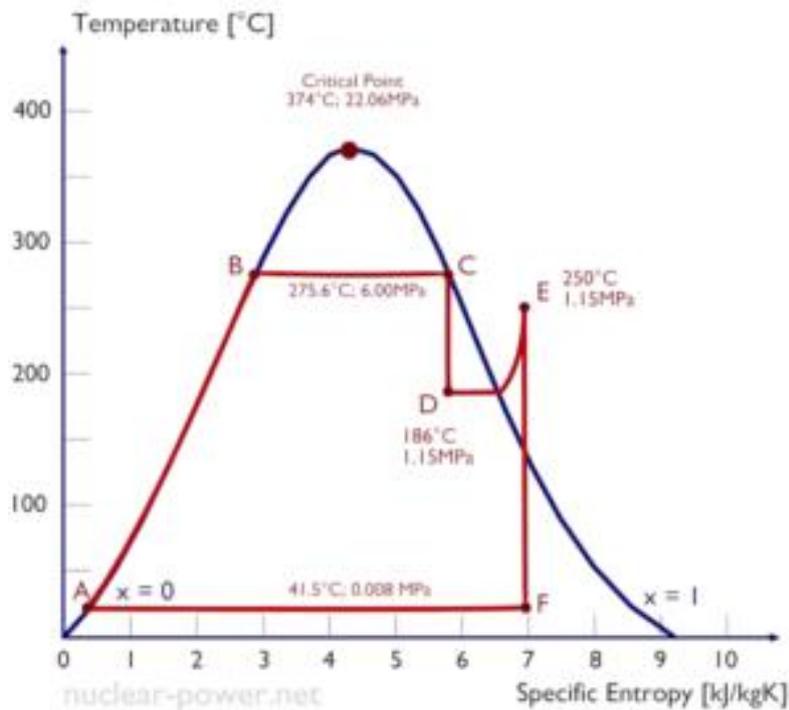
Rejet de chaleur isobare (dans un échangeur de chaleur) – Dans cette phase, le cycle se termine par un processus à pression constante dans lequel la chaleur est rejetée par la vapeur

partiellement condensée. Il y a transfert de chaleur de la vapeur à l'eau de refroidissement circulant dans un circuit de refroidissement. La vapeur se condense et la température de l'eau de refroidissement augmente.

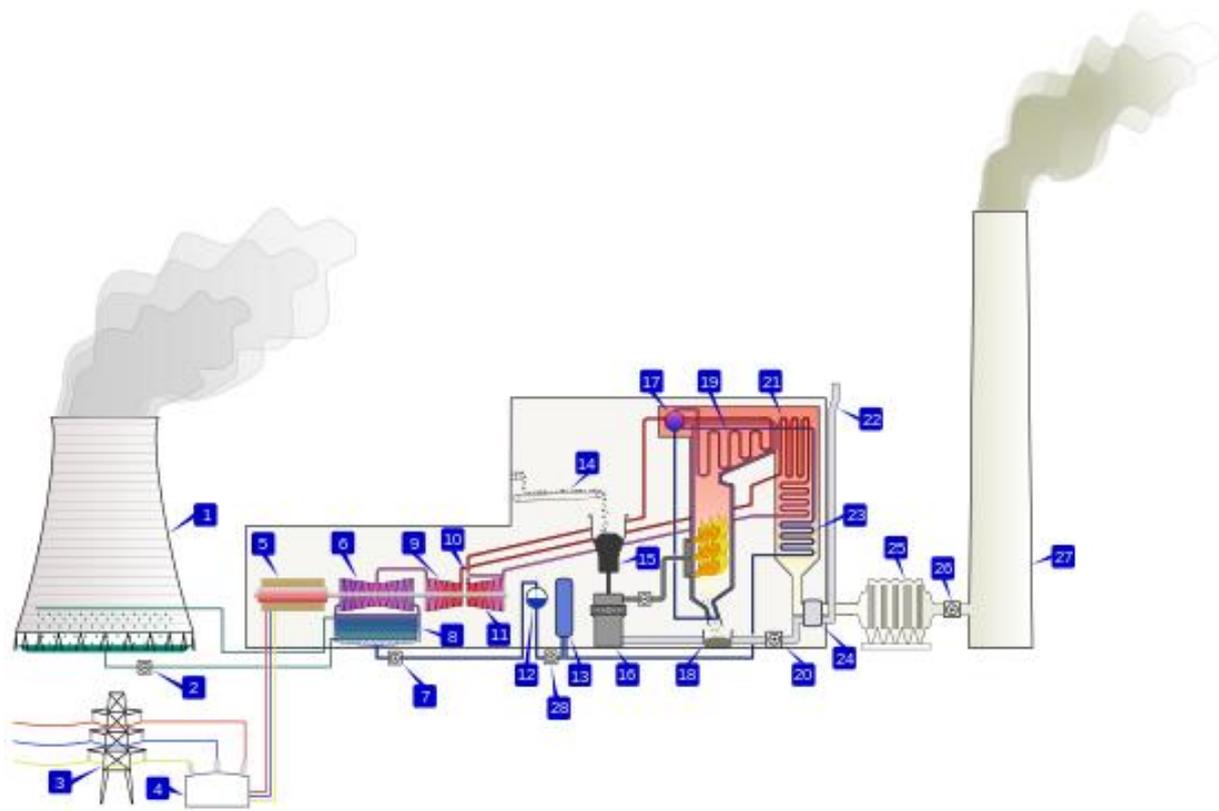


Au cours d'un cycle, le travail est effectué sur le fluide par les pompes entre les états 1 et 2. Le travail se fait par le fluide dans la turbine entre les étapes 3 et 4. La différence entre le travail effectué par le fluide et le travail effectué sur le fluide correspond au travail en réseau produit par le cycle. Le fluide de travail dans un cycle de Rankine suit une boucle fermée et est réutilisé en permanence.

La plupart des centrales exploitent généralement des turbines à vapeur à condensation à plusieurs étages. Dans ces turbines, l'étage haute pression reçoit de la vapeur (cette vapeur est presque de la vapeur saturée – $x = 0,995$ – point C sur la figure ci-dessous 275,6 ° C) d'un générateur de vapeur et l'évacue vers un séparateur-réchauffeur d'humidité (point D). La vapeur doit être réchauffée afin d'éviter les dommages qui pourraient être causés aux pales de la turbine à vapeur par une vapeur de mauvaise qualité. Le réchauffeur chauffe la vapeur (point D), puis la vapeur est dirigée vers l'étage basse pression de la turbine à vapeur, où elle se détend (point E à F). La vapeur évacuée se condense ensuite dans le condenseur et se trouve à une pression bien inférieure à la pression atmosphérique (pression absolue de 0,008 MPa), et est dans un état partiellement condensé (point F), généralement d'une qualité proche de 90%.



Le schéma ci-dessous montre une centrale thermique à vapeur standard.



- | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|---|
| 1. Tour aéroréfrigérante | 19. Surchauffeur | 10. Vanne de contrôle de vapeur |
| 2. Pompe de la tour aéroréfrigérante | 20. Ventilateur d'air primaire | 11. Turbine à vapeur (corps haute pression) |
| 3. Ligne de transmission triphasée | 21. Resurchauffeur | 12. Bâche alimentaire à dégazeur |

4. Transformateur élévateur de tension	22. Prise d'air de combustion	13. Préchauffeur d'eau de chaudière
5. Alternateur	23. Économiseur	14. Convoyeur à charbon
6. Turbine à vapeur (corps basse pression)	24. Réchauffeur d'air	15. Trémie à charbon
7. Pompe d'extraction des condensats	25. Électrofiltre	16. Broyeur à charbon
8. Condenseur	26. Ventilateur de tirage	17. Ballon de la chaudière
9. Turbine à vapeur (corps moyenne pression)	27. Cheminée	18. Trémie à mâchefers

1. La combustion

Un combustible (gaz, charbon, fioul) est brûlé dans les brûleurs d'une chaudière pouvant mesurer jusqu'à 90 m de hauteur. Le charbon est d'abord réduit en poudre, le fioul est chauffé pour le rendre liquide puis vaporisé en fines gouttelettes et le gaz est injecté directement sans traitement préparatoire.

2. La production de vapeur

La chaudière est tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau froide. En brûlant, le combustible dégage de la chaleur qui va chauffer cette eau. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers les turbines.

3. La production d'électricité

La vapeur fait tourner une turbine qui entraîne à son tour un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension.

4. Le recyclage

À la sortie de la turbine, la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et re-circule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle.

L'eau utilisée pour le refroidissement est restituée à son milieu naturel ou renvoyée dans le condenseur.

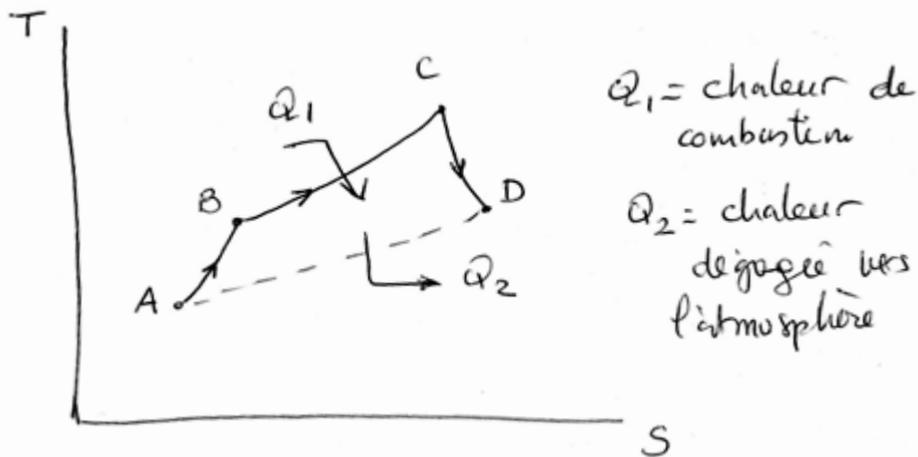
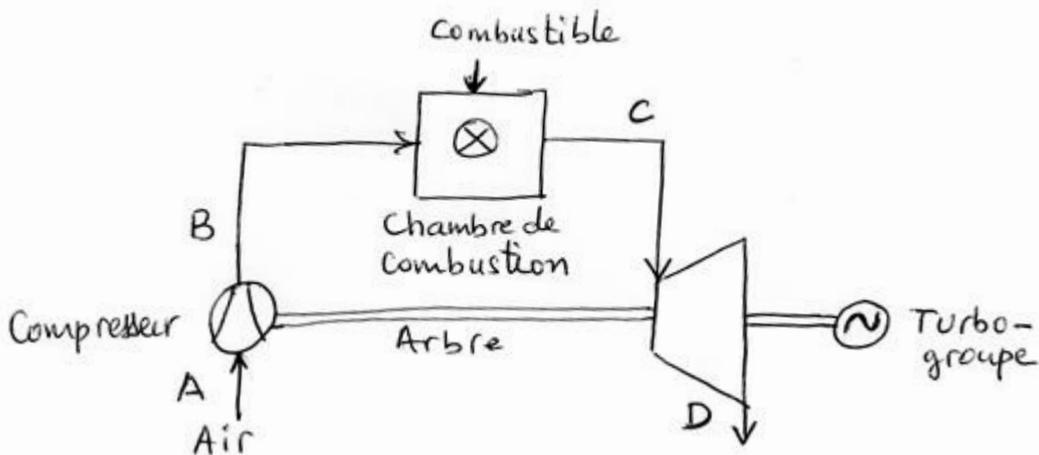
Les fumées de combustion sont dépoussiérées grâce à des filtres et sont évacuées par des cheminées.

II - CENTRALES A GAZ

L'intérêt des turbines à gaz ces derniers temps réside dans les couts d'investissement avantageux surtout dans la libéralisation de la production et dans l'augmentation des rendements dû aux progrès technologiques. On utilise le mazout ou le gaz naturel comme combustible. On distingue les turbines à cycle ouvert et à récupération.

a) Turbines à gaz à cycle ouvert :

Le schéma ci-dessous montre une telle production qui utilise le cycle thermodynamique de Joule montré dans le diagramme T – S ci-dessous. Dans ce cas, les gaz d'échappement sont évacués directement vers l'atmosphère.



L'air est soutiré de l'atmosphère par le compresseur au point A puis il est mélangé avec le combustible pour la combustion. Les gaz brûlés font tourner la turbine puis sont dégagés vers l'atmosphère en D. Les transformations subites par l'air sont :

AB : Compression adiabatique (non isentropique à cause des frottements) de l'air jusqu'à la pression finale P_B ;

BC : Chauffage isobare par la combustion ;

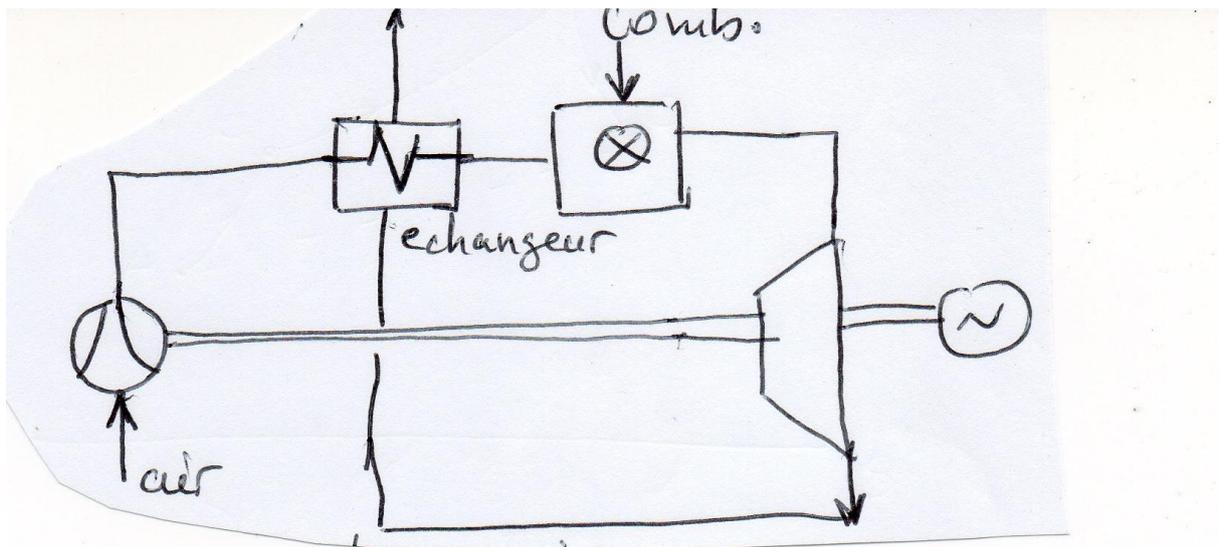
CD : Détente adiabatique dans la turbine et production de travail ;

DA : Refroidissement isobare (atmosphérique) jusqu'à la température ambiante T_A (externe à la machine dans notre cas de cycle ouvert).

b) Turbines à gaz à récupération :

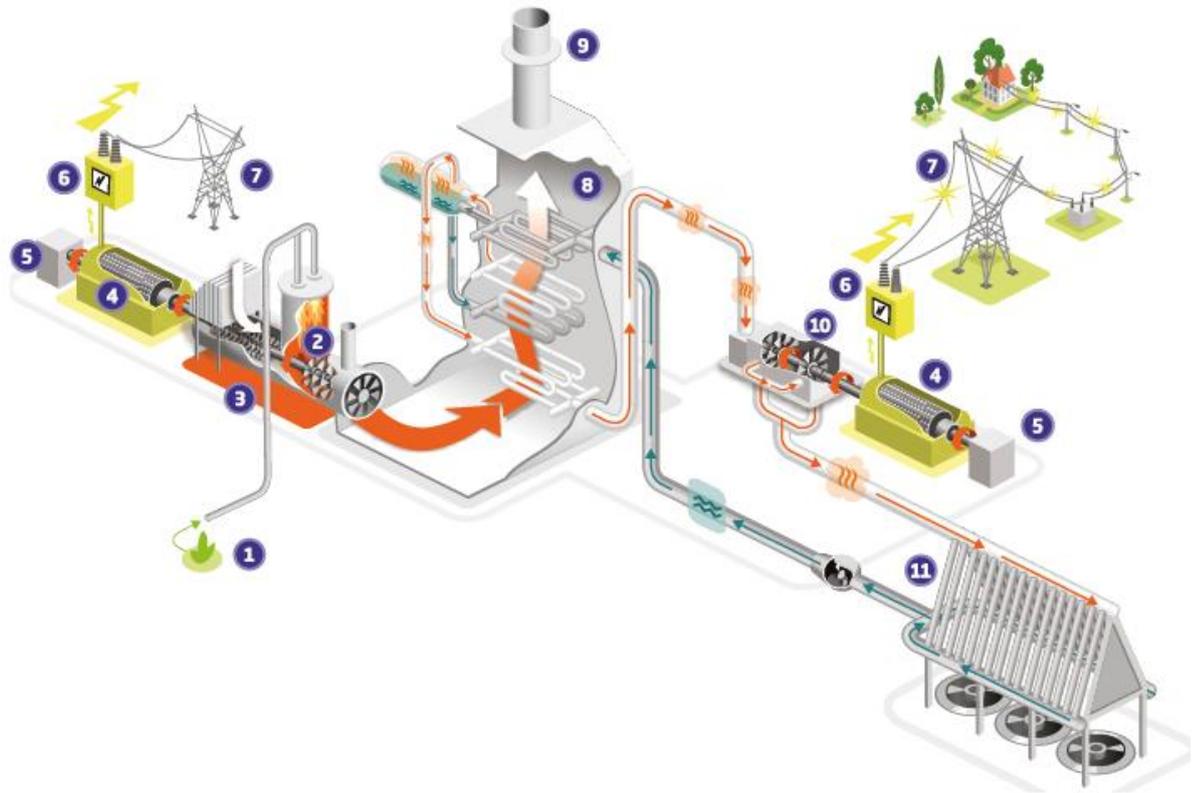
Ici une partie de la chaleur Q_2 dégagée par les gaz d'échappement est récupérée pour préchauffer l'air avant de l'injecter dans la chambre de combustion, comme montré dans la figure ci-dessous. La chaleur récupérable est $C_p (T_D - T_B)$ où C_p est la capacité calorifique de l'air.

Les gaz d'échappement peuvent aussi être utilisés pour la production de vapeur dans les centrales à cycle combiné, comme expliqué dans ce qui suit.



III - CENTRALES A CYCLE COMBINE

Le schéma ci-dessous représente une centrale thermique à cycle combiné



- 1** Combustible (gaz naturel)
- 2** Chambre de combustion
- 3** Turbine à gaz
- 4** Alternateur
- 5** Excitatrice
- 6** Transformateur
- 7** Lignes haute tension
- 8** Chaudière de récupération
- 9** Cheminée
- 10** Turbine à vapeur
- 11** Aérocondenseur

La production d'électricité dans une centrale TGV commence par la combustion de gaz naturel dans la chambre de combustion d'une turbine à gaz.

Les gaz de combustion chauds entraînent la turbine qui est couplée à un alternateur et qui produit de l'électricité.

Les gaz de combustion quittent la turbine à gaz et aboutissent dans la chaudière de récupération. Ils servent à chauffer la tuyauterie dans laquelle circule de l'eau qui sera transformée en vapeur.

Les gaz de combustion s'échappent ensuite par une cheminée. À son tour, la vapeur chaude entraîne une turbine à vapeur couplée à un alternateur. De l'électricité est ainsi produite une seconde fois.

À la sortie de la turbine, la vapeur se condense dans un aérocondenseur ou dans un condenseur à eau.

Dans le cas d'un aérocondenseur, la vapeur traverse un grand nombre de tubulures, refroidies par un courant d'air ambiant produit par de grands ventilateurs. Au contact de l'air froid, la vapeur se condense et retourne sous forme d'eau vers la chaudière de récupération. Lors de condensation de la vapeur dans un condenseur à eau, l'eau réchauffée est refroidie dans une tour de refroidissement.