

J.COURTIN

PSI — LYCÉE V.HUGO

Bilans thermodynamiques

Objectifs :

- Modélisation des systèmes ouverts
- Bilan d'énergie (1er principe)
- Bilan d'entropie (2nd principe)

Révision 1ère année :

- Notion de systèmes [ouvert, fermé, isolé] et de frontière
- Les principes de la thermodynamique
- Enthalpie & T_f° de Joule-Thomson
- Diagramme P - h : bilans et machines thermiques

I - Problématique des systèmes ouverts

Exemples de dispositifs

On appelle bilan macroscopique le fait de comparer l'entrée et la sortie d'un fluide thermodynamique en écoulement à travers un dispositif tel qu'un détendeur, compresseur, un échangeur thermique ou une turbine hydroélectrique avec lequel le fluide échange du travail et de la chaleur. Nous avons vu que la plupart des appareils thermodynamiques peuvent se décomposer en une succession de tels dispositifs, comme le réfrigérateur où ils forment son cycle thermodynamique, mais il peut aussi n'y en avoir qu'un seul dans une simple canalisation.

Détendeur / Surpresseur : Ajuster la pression d'eau d'une maison ou immeuble par rapport au réseau et de la consommation.

Échangeur : Contrôler les échanges thermiques par exemple du circuit primaire vers le circuit secondaire d'une centrale nucléaire.

Turbine hydroélectrique : L'eau descend d'un barrage ou d'un lac de rétention d'eau dans une tuyère et met en rotation les augets d'une turbine.

Pompe à refoulement : On descend le moteur en profondeur (~ 100m) pour pousser le fluide vers la surface.

Réfrigérateur / Pompe à chaleur : - Compresseur - Condenseur - Détendeur - Évaporateur - etc en cycle récepteur

Moteur de centrale nucléaire : - Évaporateur - turbine - Condenseur - Pompe - etc en cycle moteur

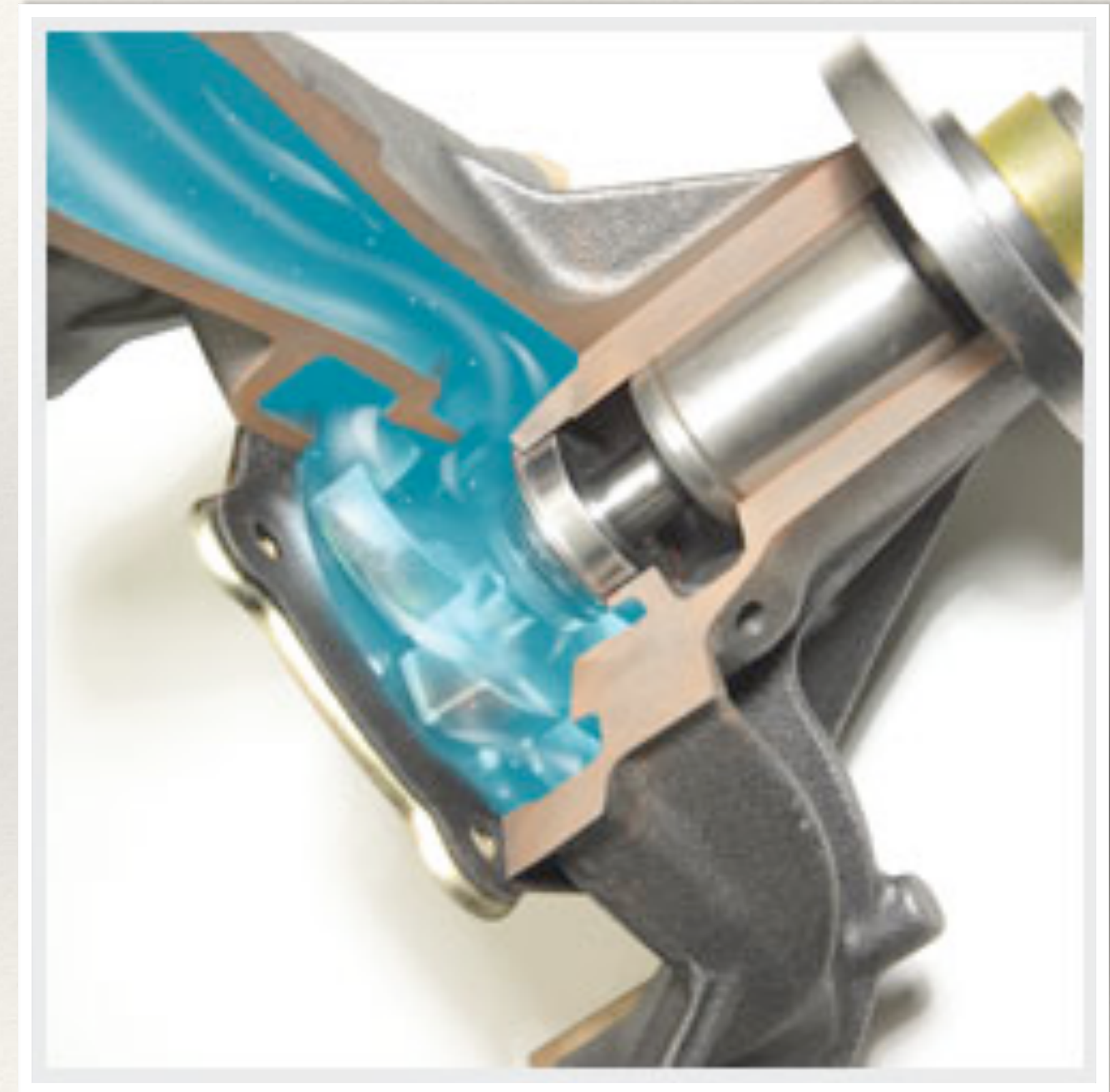
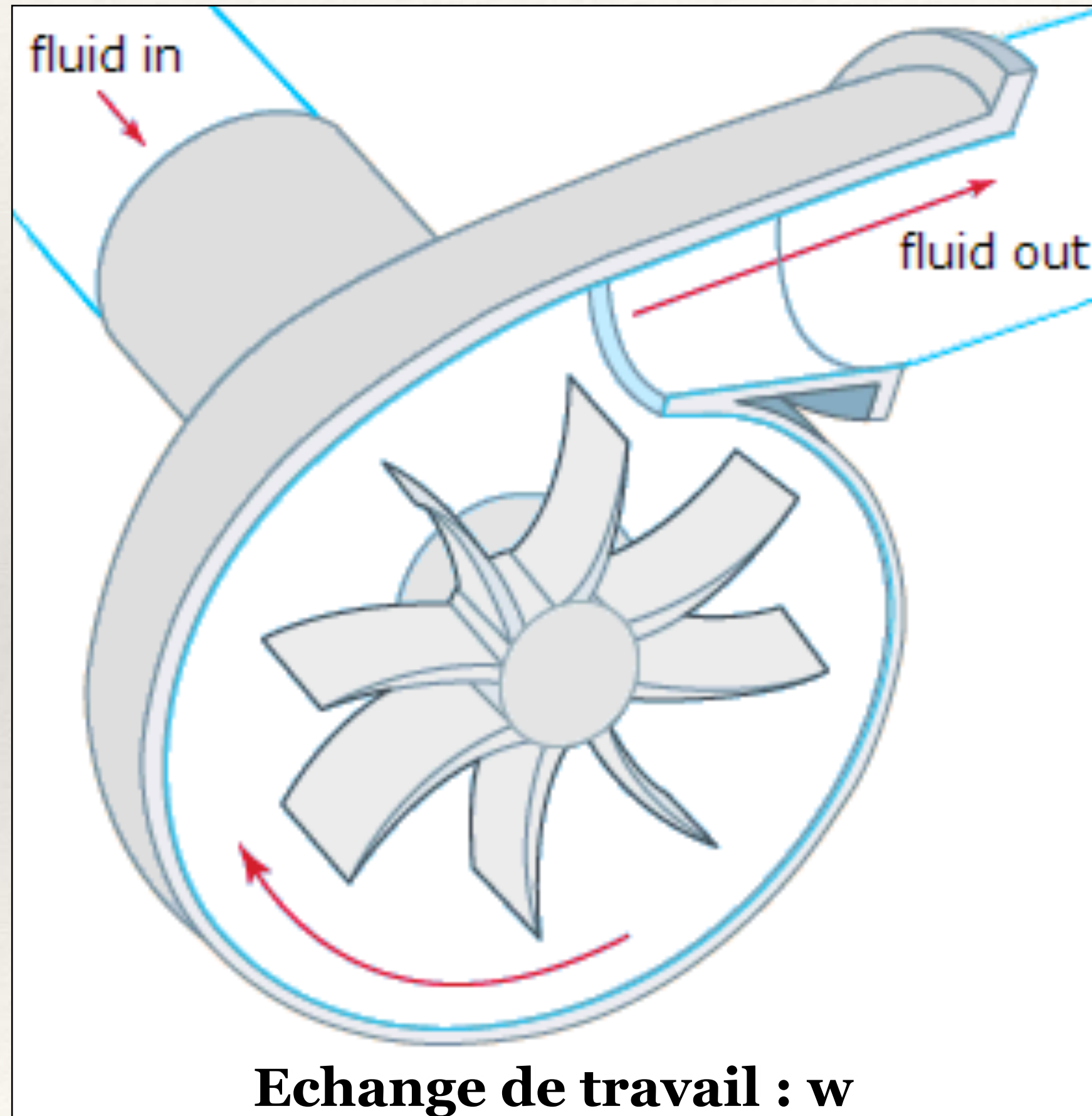
Entre l'entrée et la sortie les paramètres thermodynamiques du fluide auront changé :

Pression, Température, état liquide et/ou vapeur, masse volumique, vitesse, énergie potentielle,

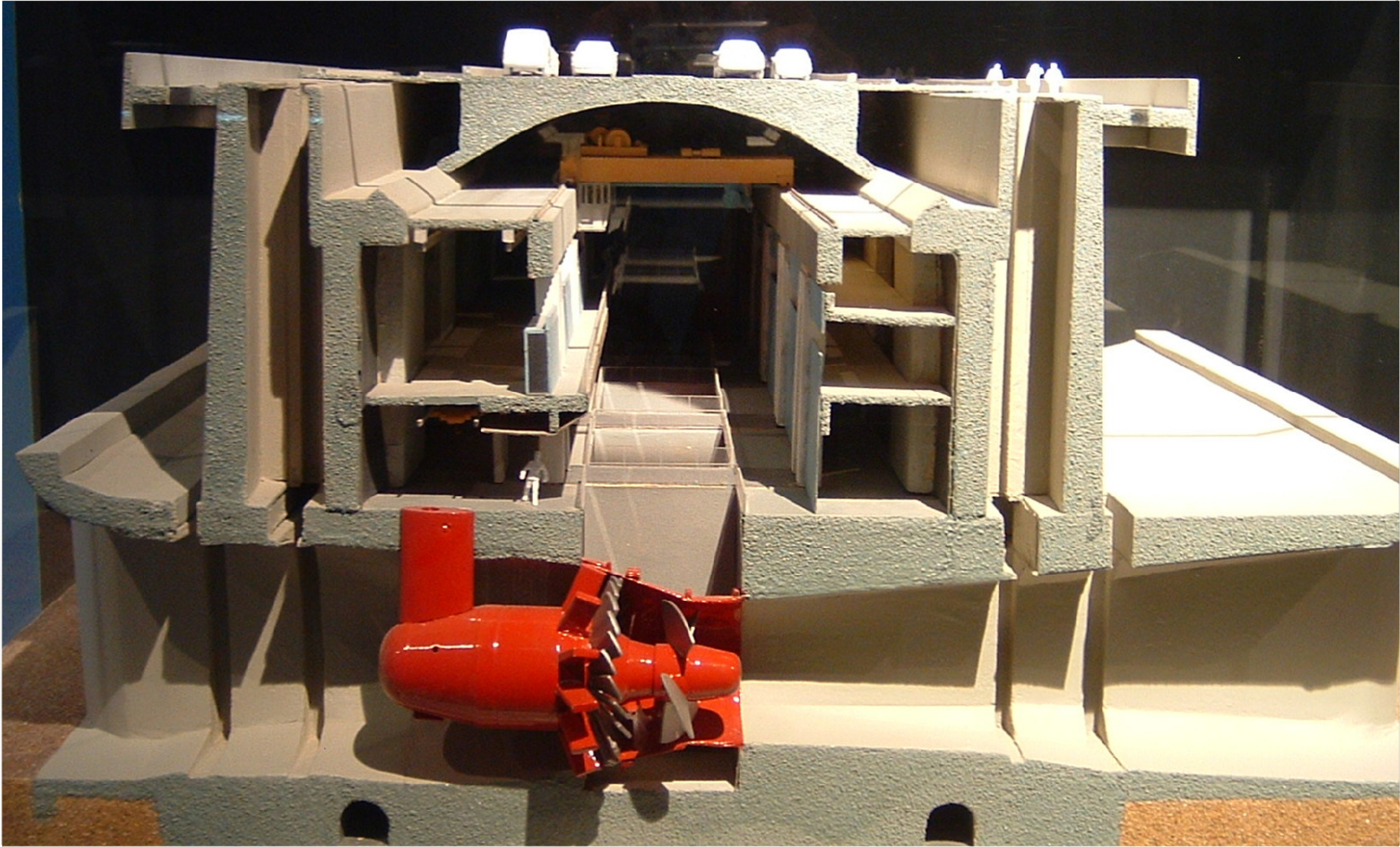
et les grandeurs thermodynamiques massiques associées :

Energie interne, enthalpie, entropie, Etc ...

Echange de travail : w



Plan de coupe d'un groupe bulbe, à l'usine marémotrice de la Rance, le distributeur en amont de l'hélice





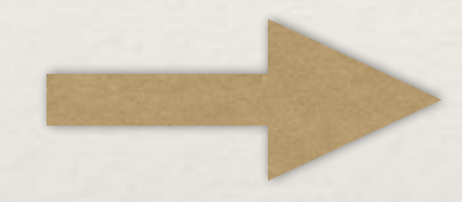
Turbine à augets Pelton



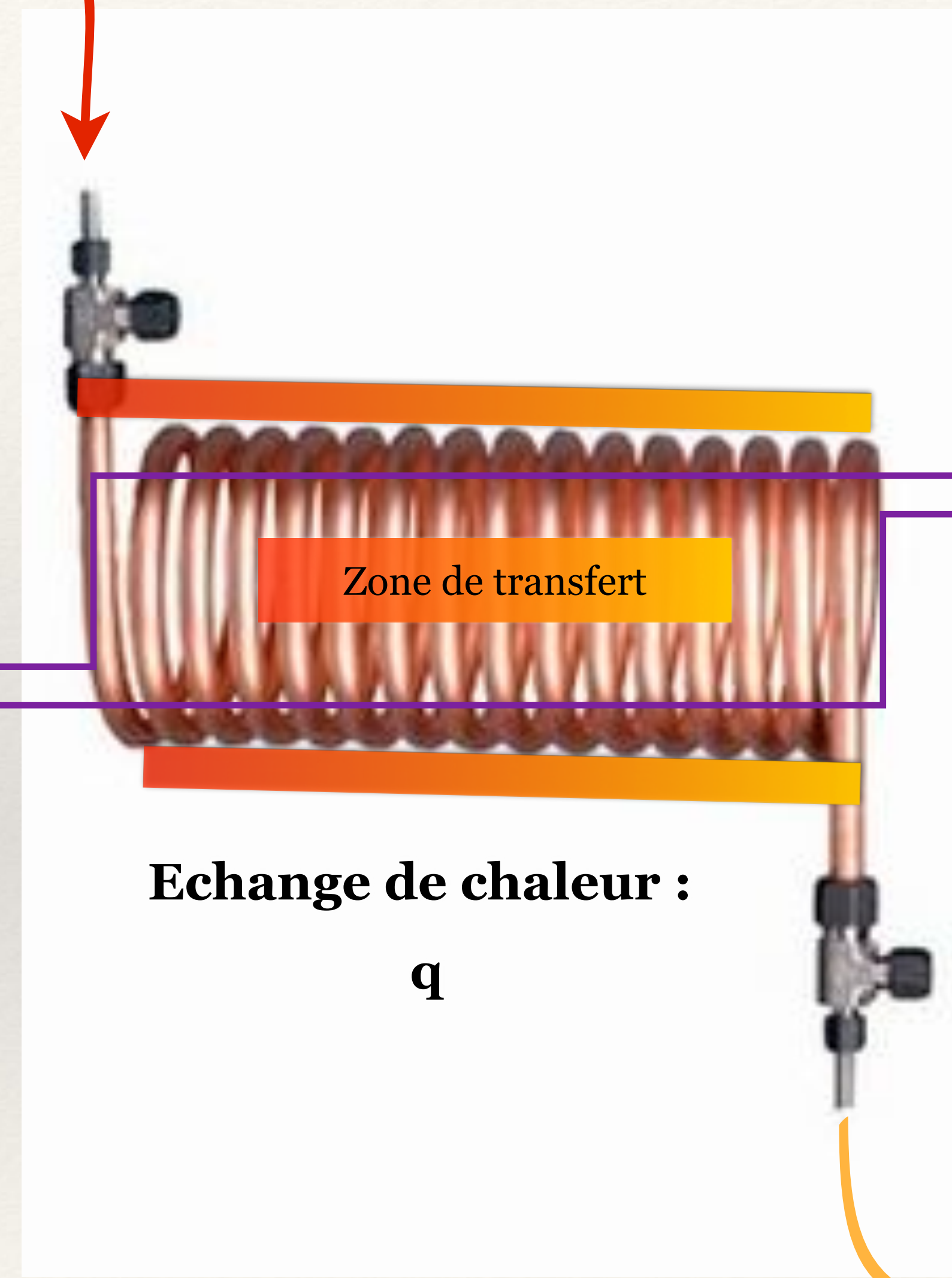
Turbine Kaplan avec ses hélices orientables

Echange de chaleur : q

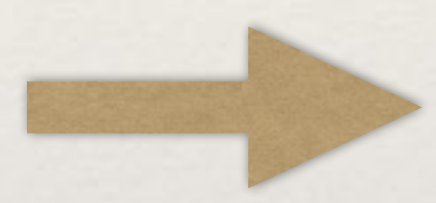
Entrée
(très chaud)



entrée



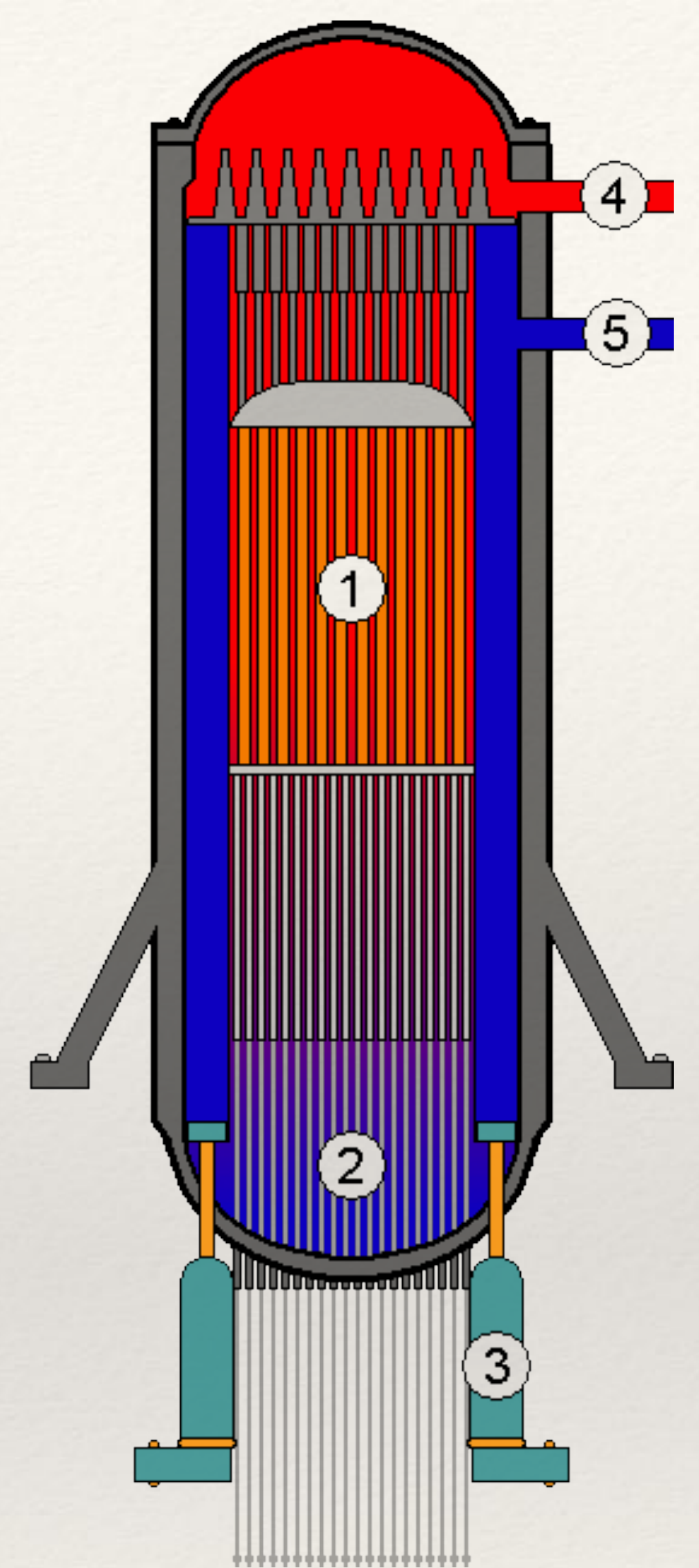
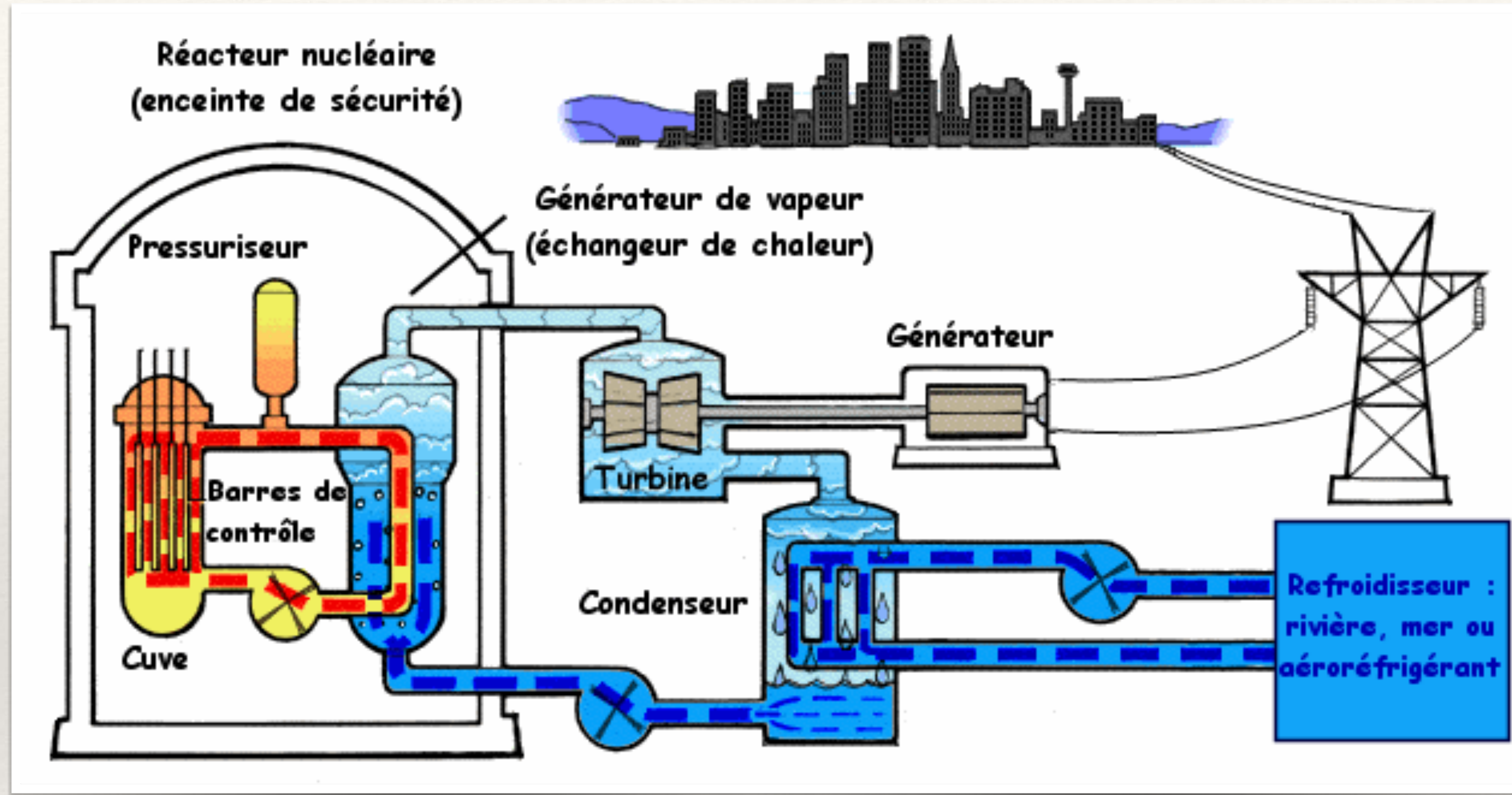
sortie



Sortie
(tiède)

Echange de chaleur :
 q

Le réacteur nucléaire ABWR à eau bouillante



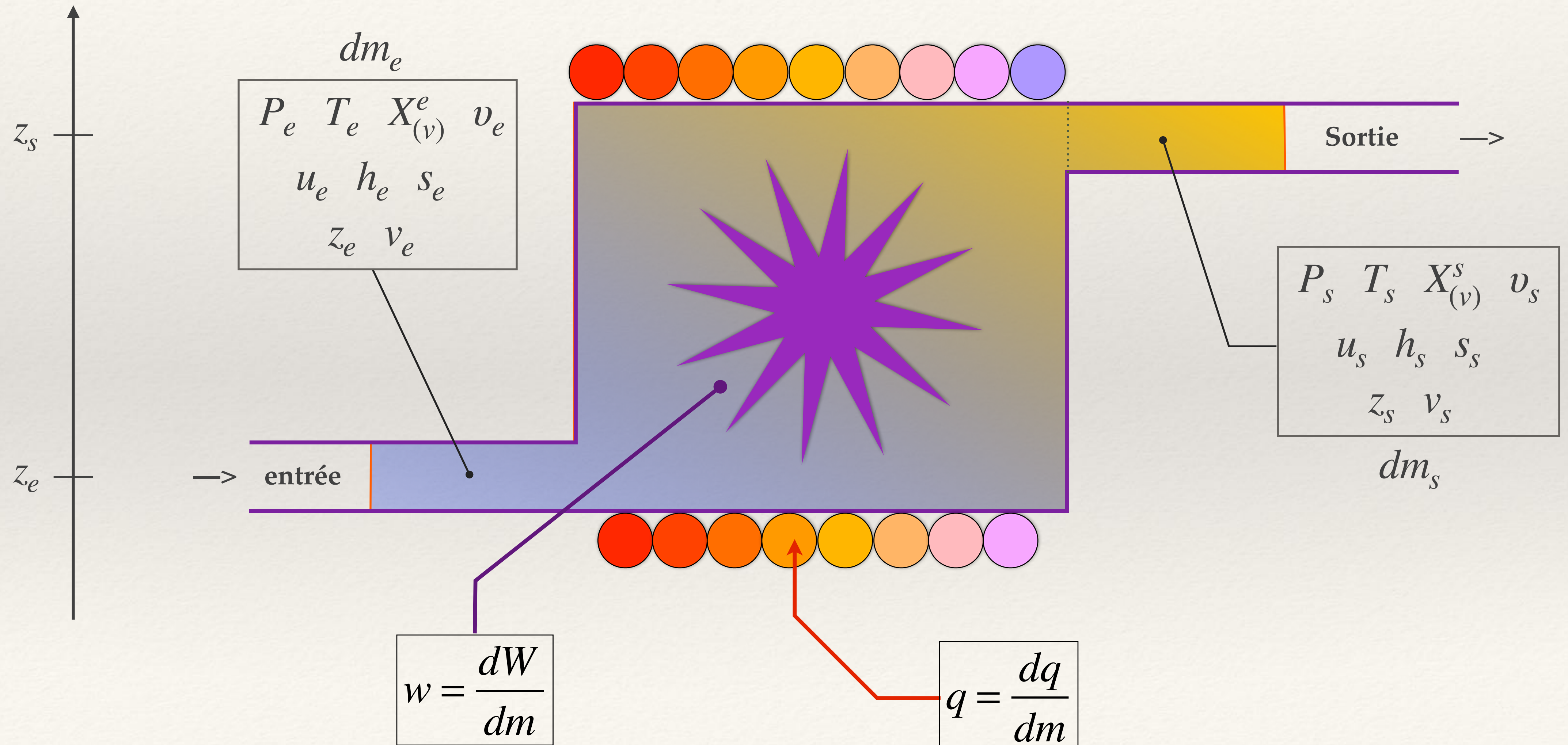
Cuve & échangeur thermique

- 1 : Cœur du réacteur
- 2 : Barres de contrôle
- 3 : Pompe à eau interne
- 4 : Sortie de vapeur vers la turbine
- 5 : Entrée d'eau pour refroidir le cœur

II - Définition du système fermé en écoulement

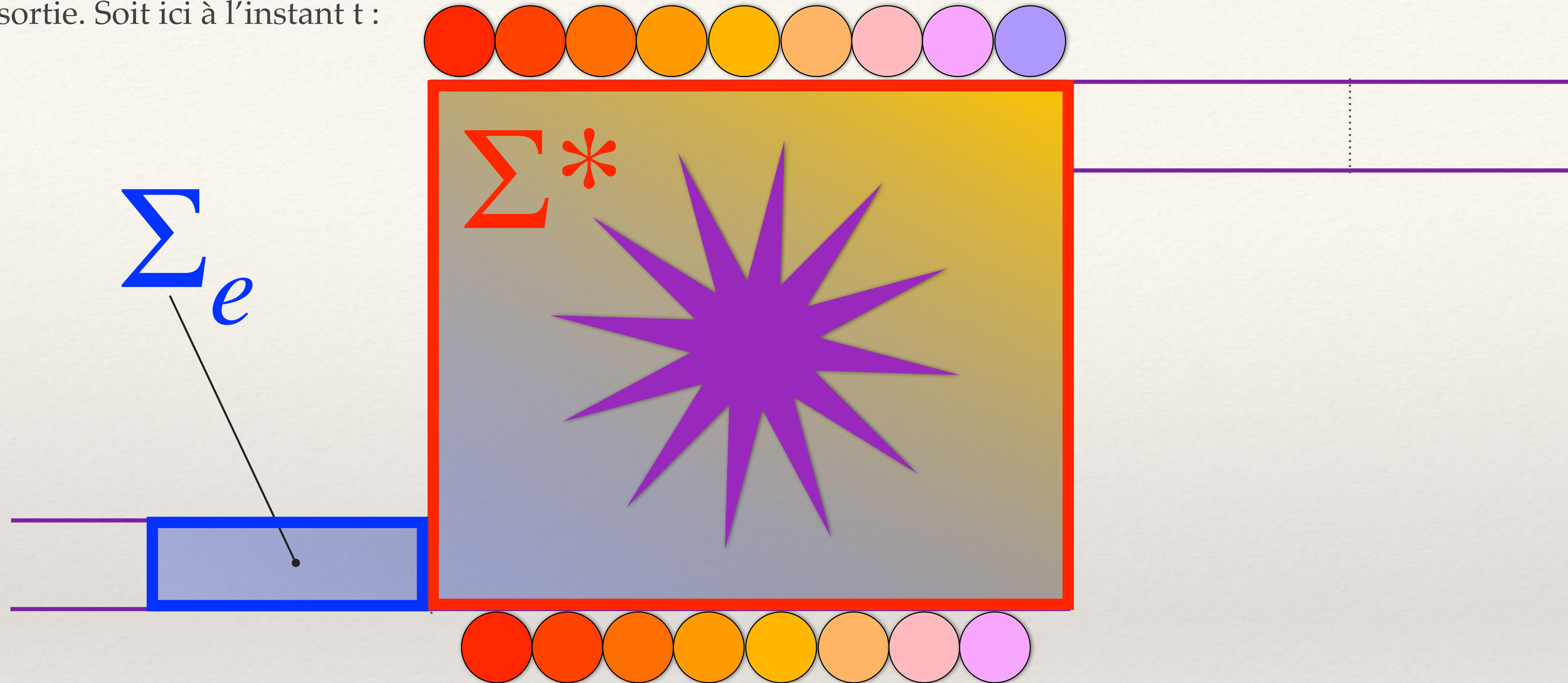
1 - Construction d'un système fermé pour le bilan d'une grandeur extensive.

On considère l'échangeur ci-dessous, le plus général possible. Le fluide s'écoule en permanence à travers ce dispositif, entrant par la gauche et sortant par la droite. On parle de **système ouvert** → les caractéristiques du fluide : **thermodynamiques, mécaniques et même son état (liquide, vapeur) ne sont pas les mêmes a priori en entrée et en sortie du système.**



Soit $\Sigma(t)$ un système contenant toujours les mêmes particules, la même matière, mais dont les frontières sont mobiles en entrée

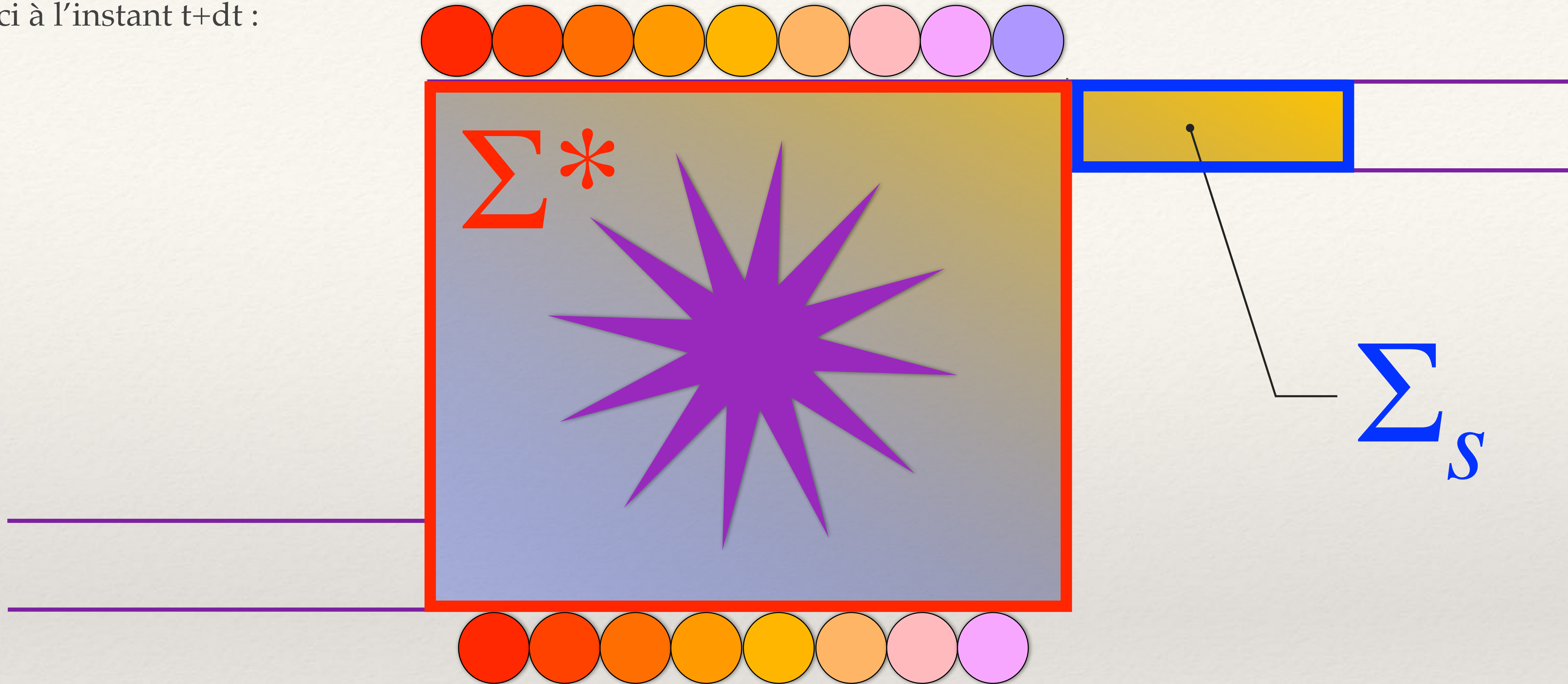
et en sortie. Soit ici à l'instant t :



$$\Sigma(t) = \Sigma_e \cup \Sigma^*$$

Soit $\Sigma(t + dt)$ le même système contenant toujours les mêmes particules, la même matière, mais qui a traversé le système.

Soit ici à l'instant $t+dt$:



$$\Sigma(t + dt) = \Sigma^* \cup \Sigma_s$$

On a ainsi construit ainsi le **système fermé** $\Sigma(t)$ qui contient toujours les mêmes particules, la même matière, mais dont les frontières sont mobiles en entrée et en sortie.

III - Bilans thermodynamiques —> Enthalpie h & entropie s

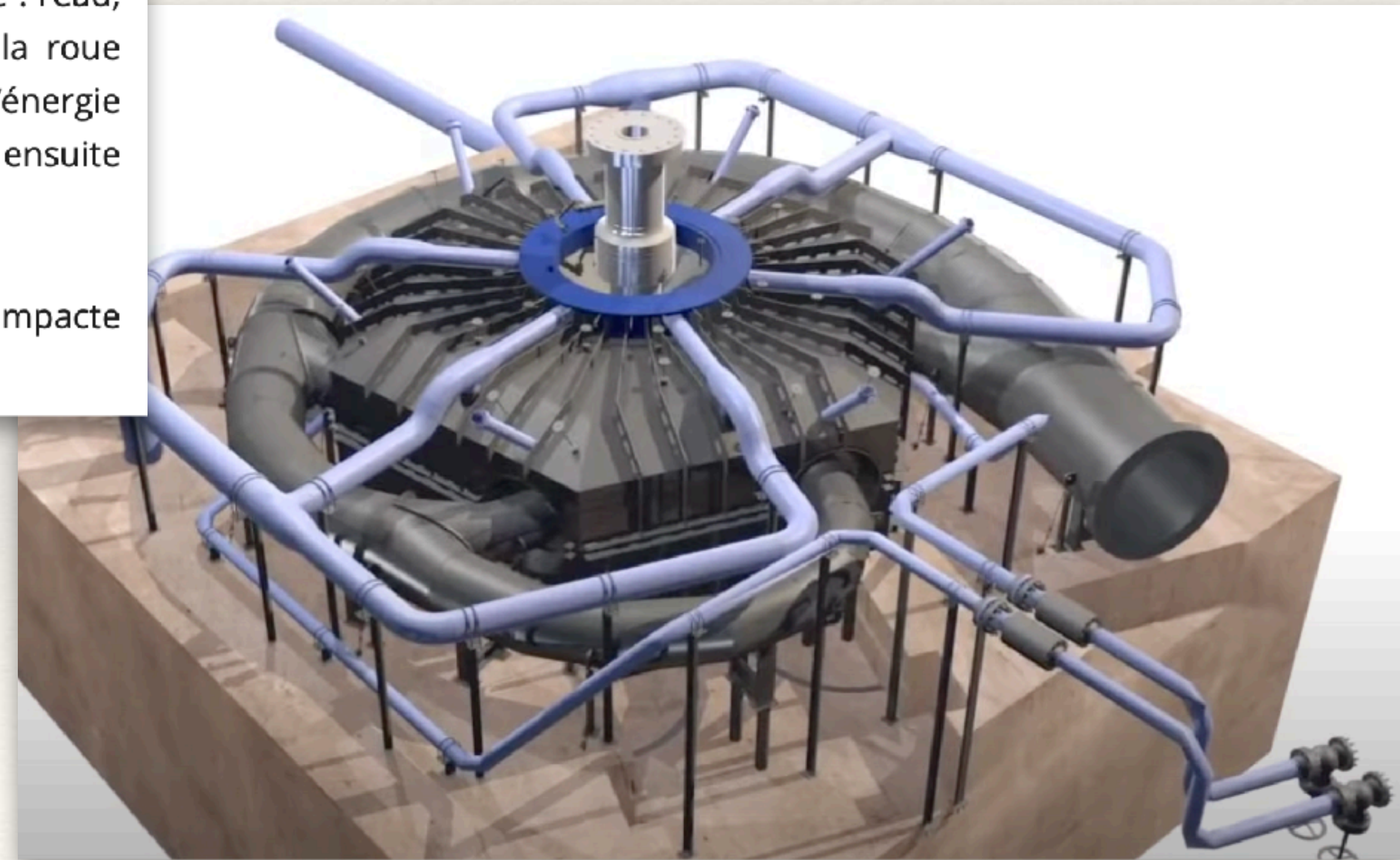
IV - Applications

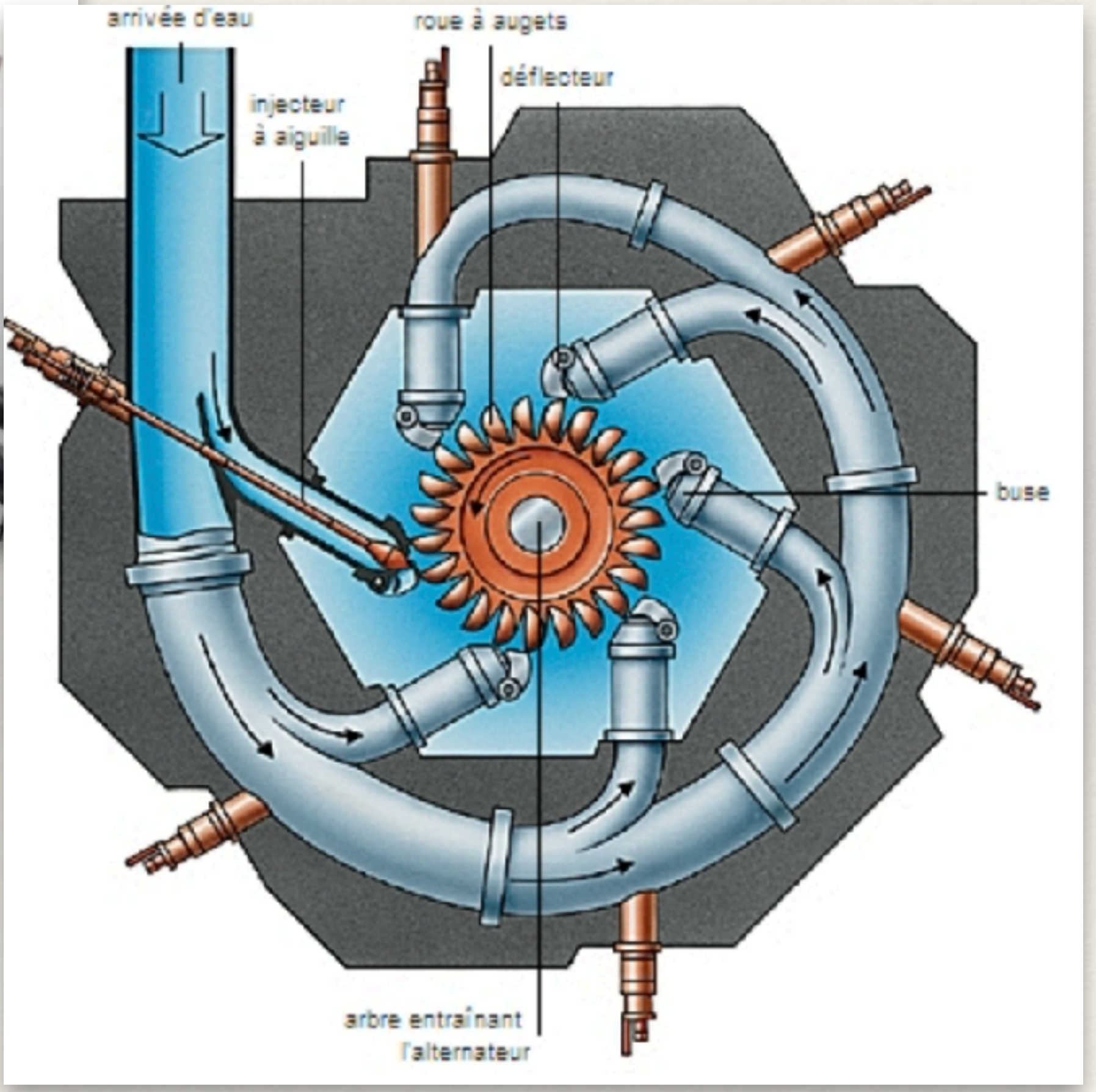
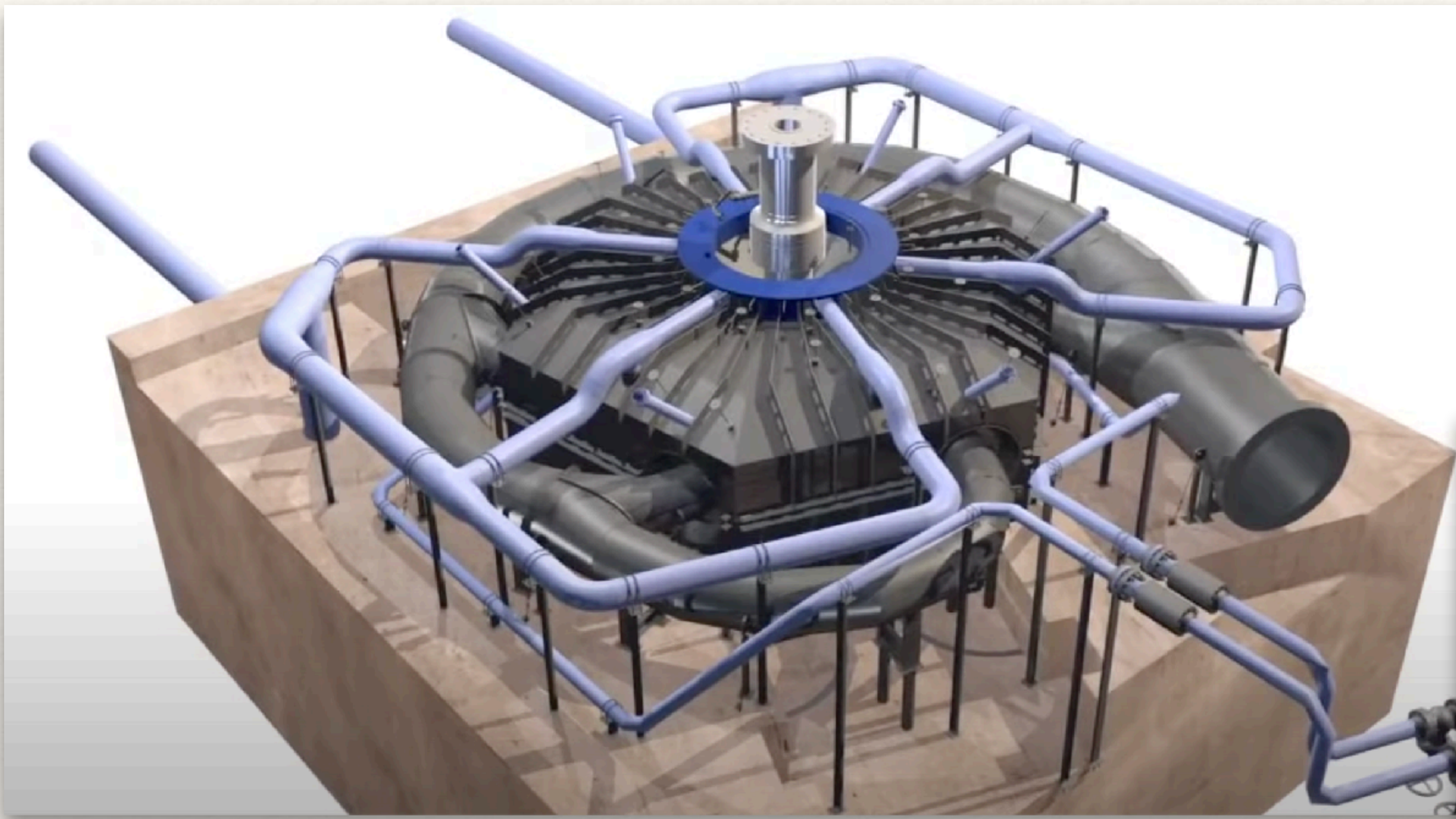
Simulation d'une turbine Pelton – du transitoire de démarrage à l'état du régime

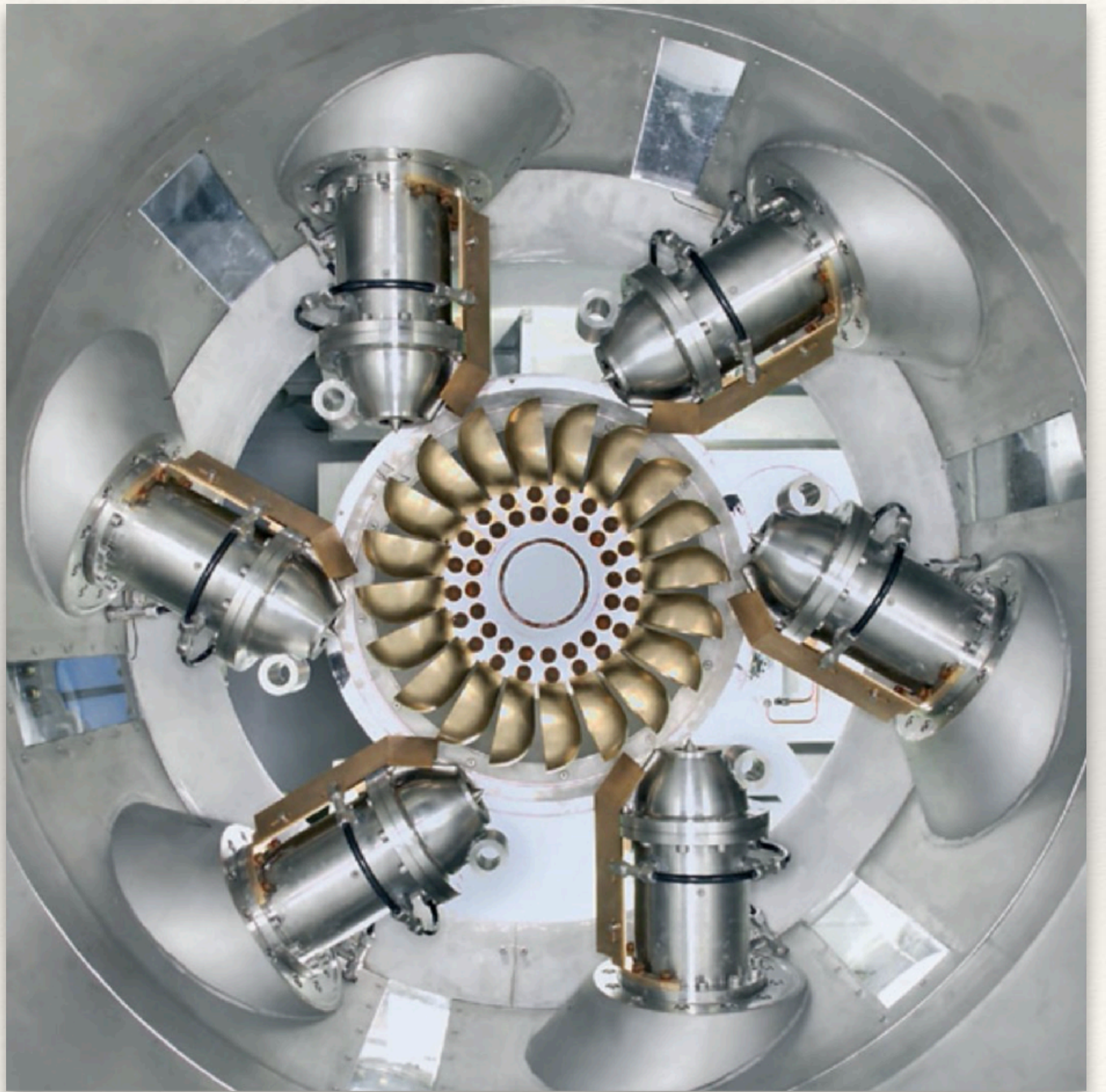
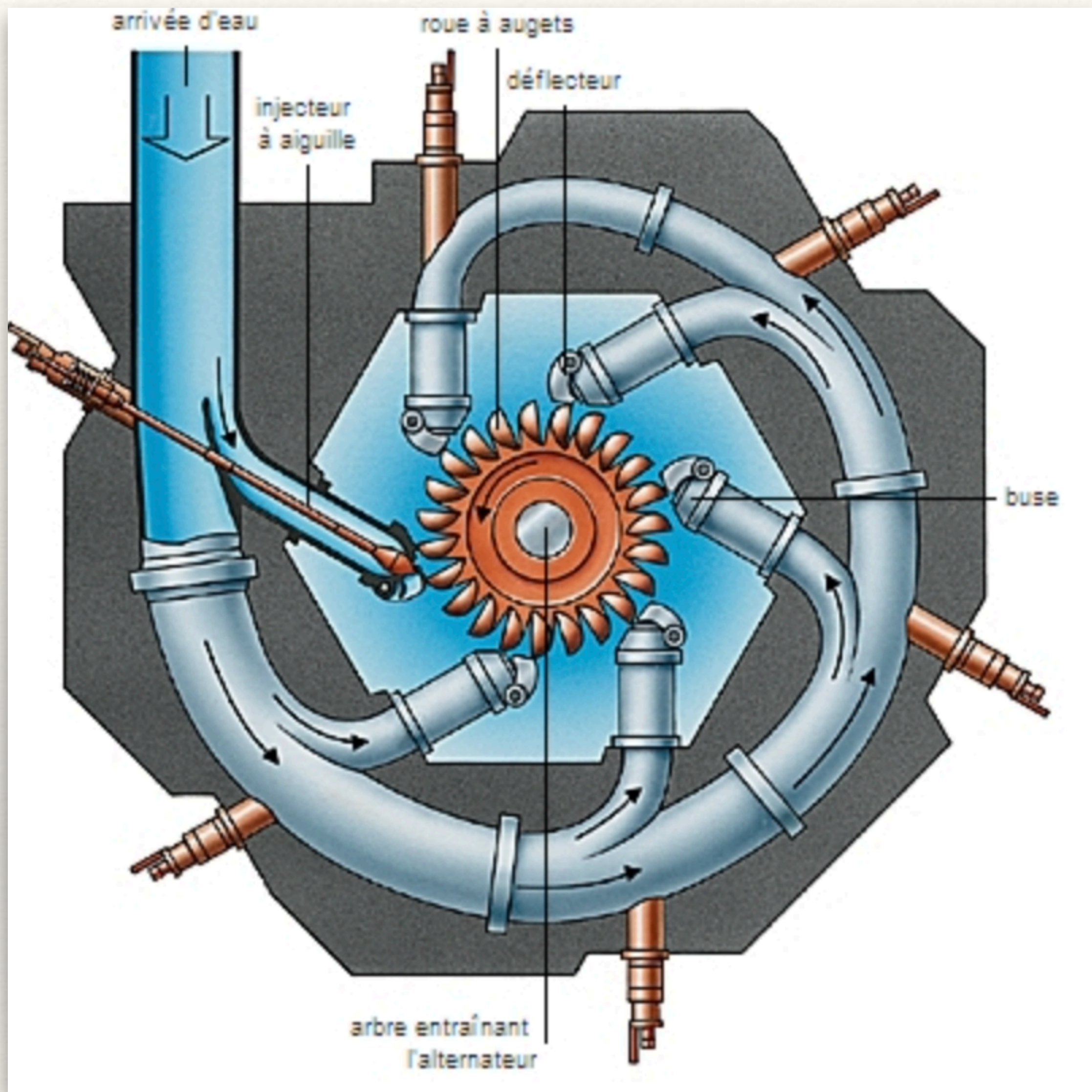
Les turbines Pelton (ou roue Pelton) sont les turbines les plus utilisées dans le monde pour la production d'électricité dans les centrales hydroélectriques, en raison de leur haut rendement. Son design date de 1870 mais, avec quelques modifications, il reste le premier choix des nouvelles centrales électriques.

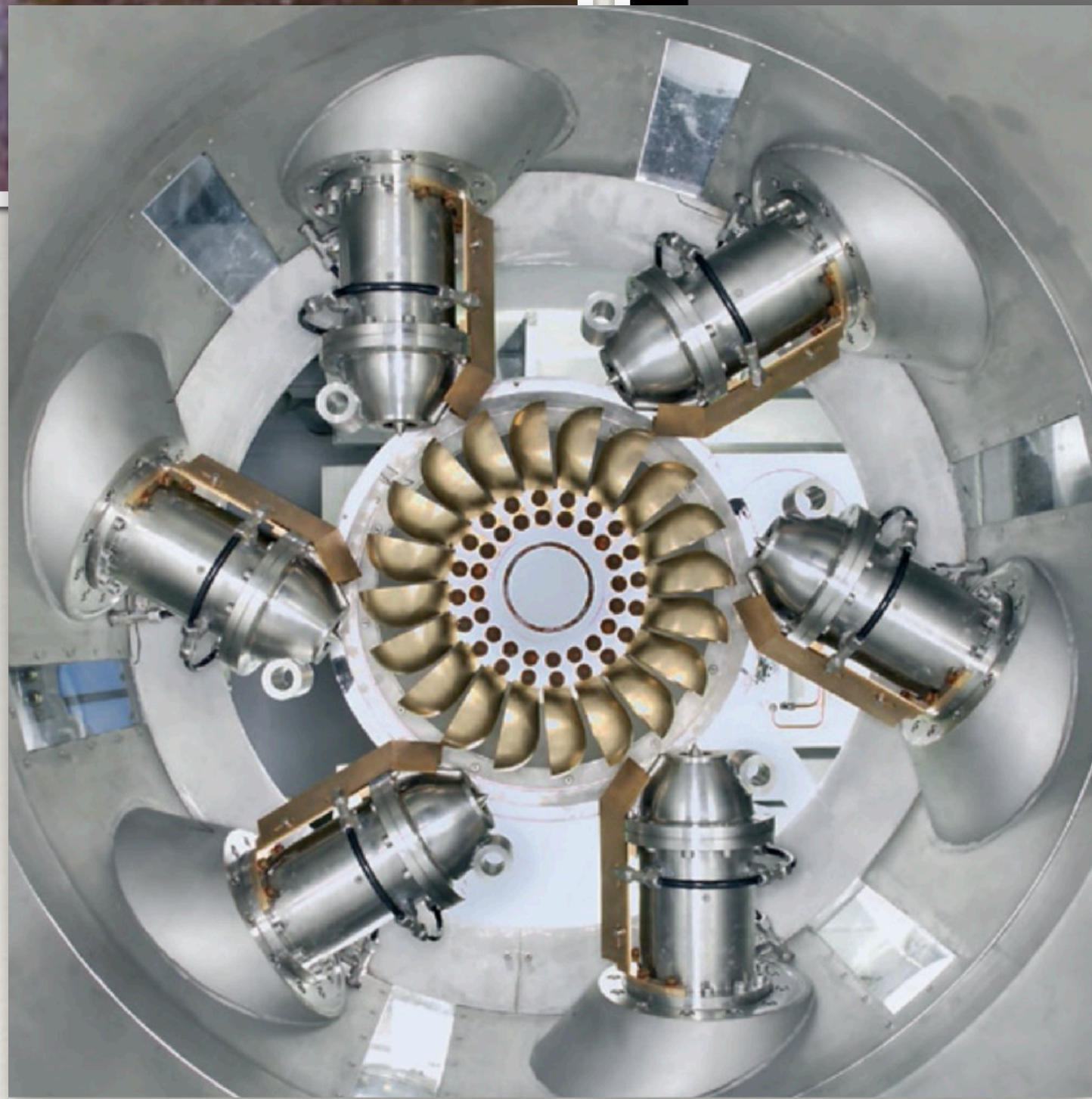
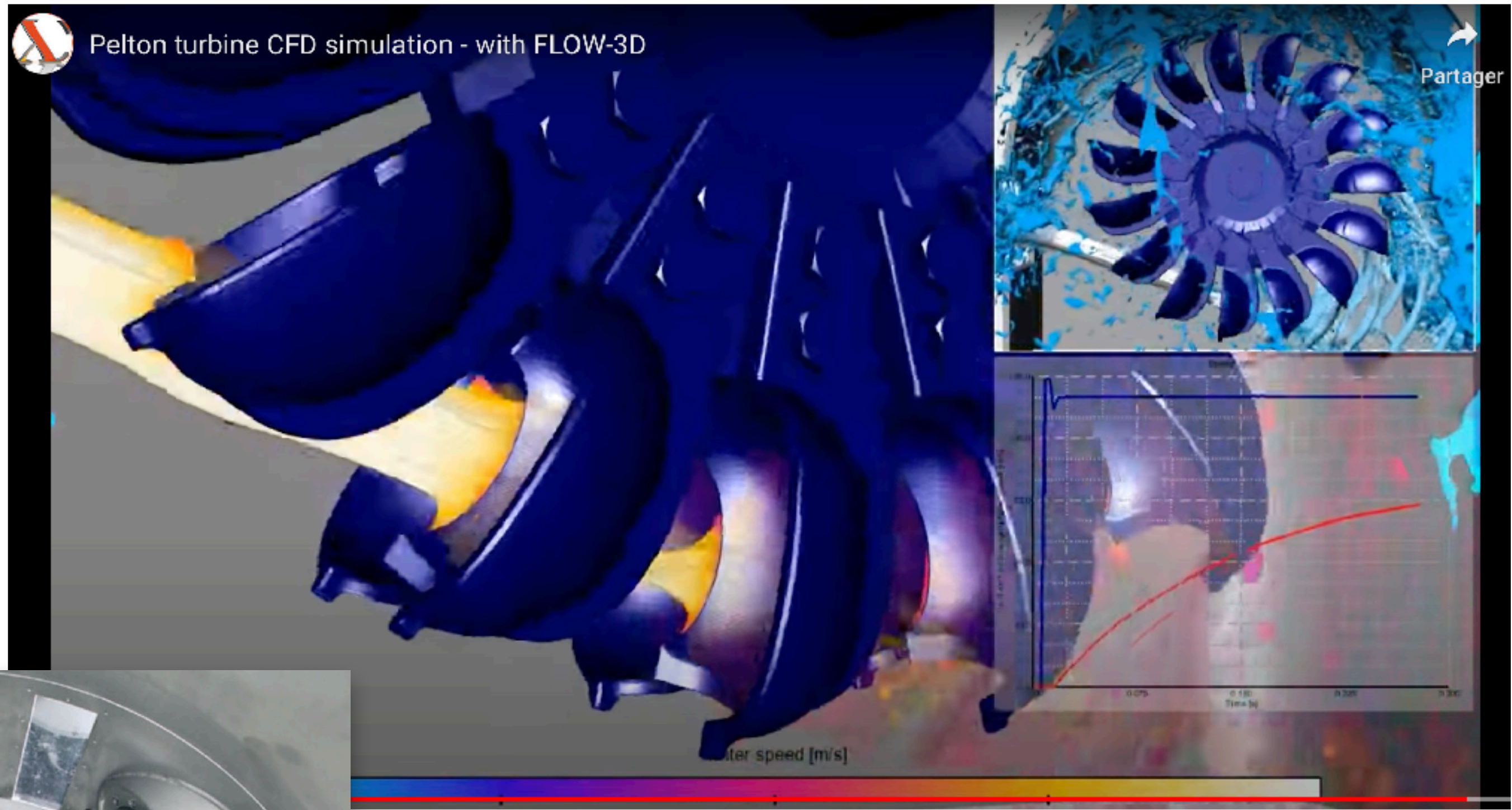
Dans une turbine Pelton, l'énergie est extraite de l'énergie cinétique de l'eau, contrairement à d'autres types de turbines où la pression hydrostatique est utilisée : l'eau, provenant d'un bassin supérieur, est accélérée et éjectée contre les aubes de la roue Pelton. La géométrie de la palette est conçue pour absorber autant que possible l'énergie cinétique du fluide et commencer à tourner. La vitesse de rotation de la turbine est ensuite convertie en énergie électrique par une bobine conductrice.

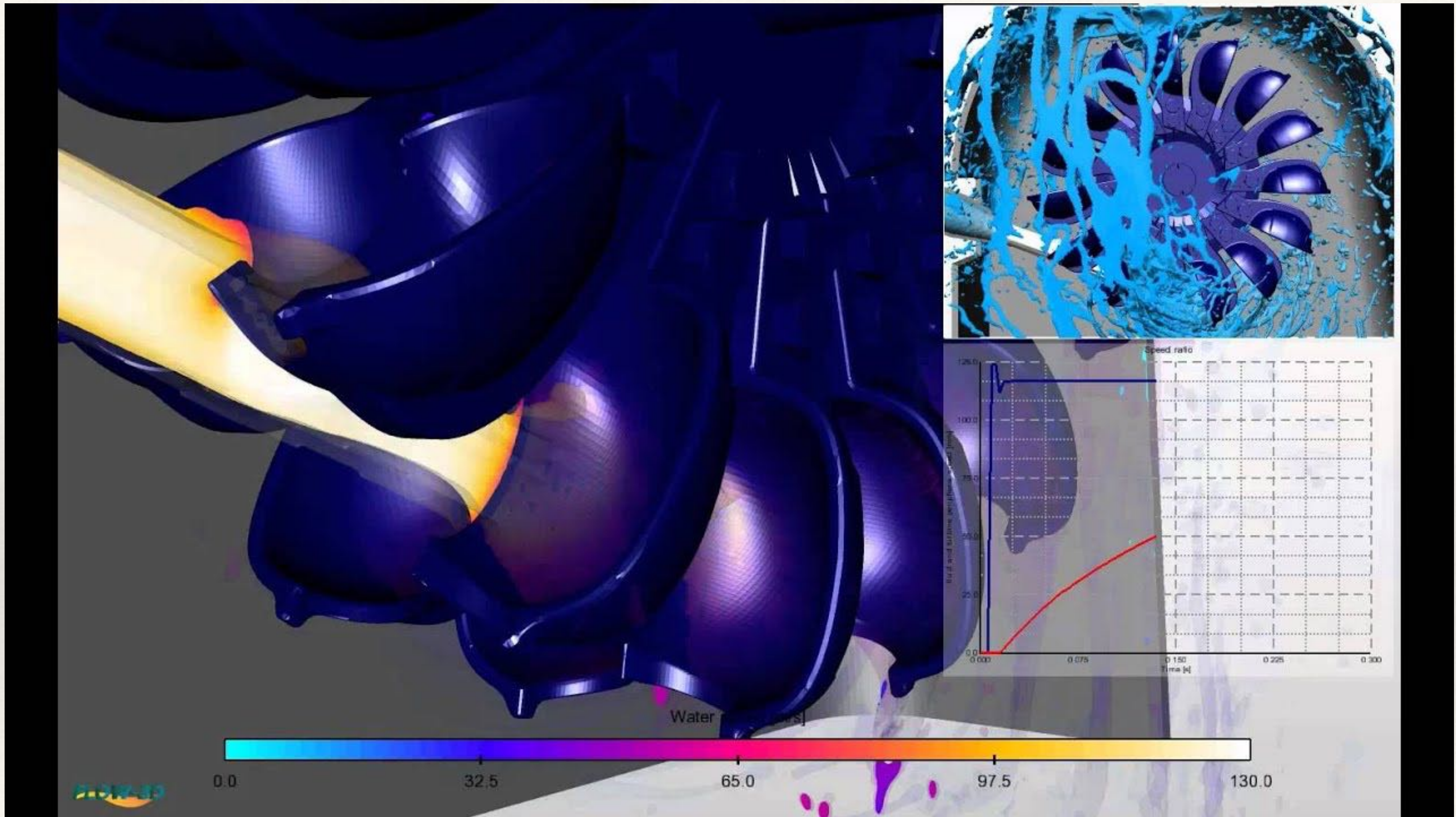
La simulation analyse le transitoire initial de la turbine, où l'eau à plus de 100 m/s impacte la pale de la roue Pelton fournissant couple et accélération angulaire.











<https://www.youtube.com/watch?v=TddbeL1K9I>