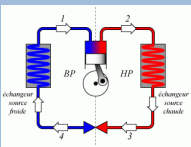
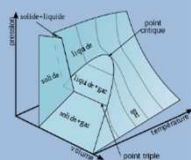
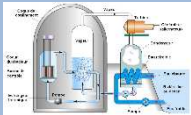


Thermodynamique générale

Daniel Portinha (MCF)

daniel.portinha@insa-lyon.fr

Bâtiment : Jules Verne, 3^{ème} étage



Organisation du module

13h de cours (vendredi 10h-11h, en général)

Sauf exceptions (prévenues sue ADE)

28 h de TD (26h en face à face, 2h en autonomie)

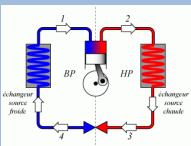
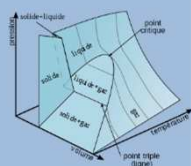
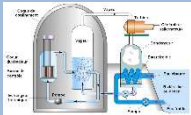
6h TP (Avril et Mai)

Conférenciers de TD

- Gr 91: Denise Blanc (Ven 14-16)
- Gr 92: Daniel Portinha (Ven 8 – 10)
- Gr 93: Sébastien Livi (Ven 14-16)

Evaluations

Vendredi 11/03	: test 1	(30 minutes)	coeff 0,5
Vendredi 15/04	: IE longue	(2 heures)	coeff 2
Vendredi 20/05	: test 2	(30 minutes)	coeff 0,5
Lundi 13/06	: IEFS	(3 heures)	coeff 3



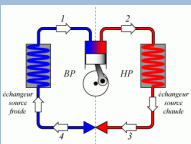
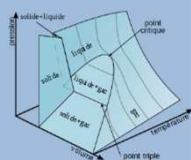
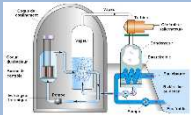
Documents

- 1 polycopié de cours + TD + TP
- Documents sur Moodle

<https://moodle.insa-lyon.fr/course/index.php?categoryid=175>

Amphis linéaires

- Chapitre 1 : Energies et notions fondamentales
- Chapitre 2: Changements d'états
- Chapitre 3 : Premier principe
- Chapitre 4: Second principe
- Chapitre 5: Thermochimie
- Chapitre 6 : Fonction G et Clapeyron



Polycopié « non linéaire »

- *Introduction générale:*

- *Résumé des chapitres + objectifs d'apprentissage*

3 items

- *Outils:*

notions à connaître et à maîtriser

- *Repères méthodologiques*

savoir-faire, application des outils, démonstration, démarche de raisonnement

- *Enjeux*

éclairage technologique sur les grands enjeux liés à l'énergie (pour aller plus loin)

- *Exercices*

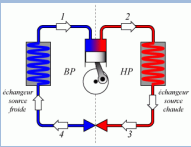
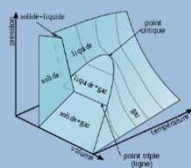
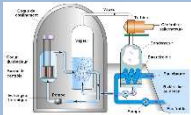
- *Enoncé des TP de thermo*

- *Données à consulter pour les exercices*

Une même fiche pourra être utilisée lors de différents chapitres donc à différents moments du semestre

A l'inverse le contenu d'un chapitre se retrouve dans plusieurs fiches

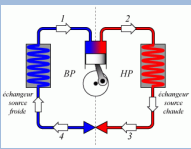
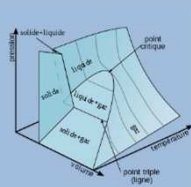
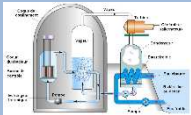
[FIMI THERMO POLY 2022 VF.pdf](#)



Chapitre 1 : Energies et notions fondamentales

- ❖ Energies primaires, finales, utiles, pertes énergétiques, rendement
- ❖ Transformations de l'énergie, chaines énergétiques, stockage de l'énergie
- ❖ Unités, ordres de grandeur
- ❖ Enjeux énergétiques
- ❖ Organes et fonctionnement d'une machine à vapeur et d'une machine frigorifique
- ❖ Notions fondamentales : système, conventions de signe, états, variables d'état, transformations

2h – semaine 1



Thermodynamique = Science des énergies

Energie : n.f. grandeur caractérisant un système physique, gardant la même valeur au cours de toutes les transformations internes du système (loi de conservation) et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction.

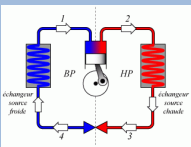
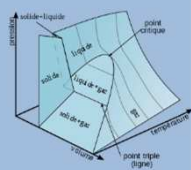
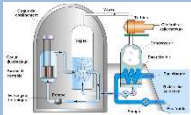
(Unité SI le joule.)

L'énergie caractérise le changement d'état d'un système (vitesse, température, forme d'un objet, composition chimique, altitude, lumière...)

Notre consommation d'énergie correspond à la vitesse à laquelle nous transformons notre monde

Dès que quelque chose change, une énergie est mise en jeu ; elle mesure l'ampleur du changement

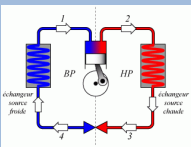
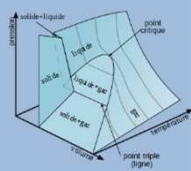
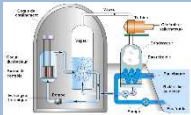
Poly – Fiche O1



Unités d'énergie

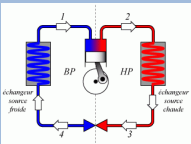
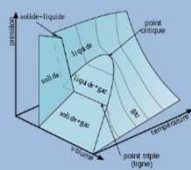
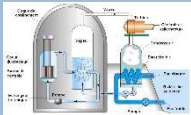
❖ USI : **le joule**

- Travail d'une force d'1N dont le point d'application se déplace d'1m dans la direction de la force).
- Quantité d'énergie perçue comme petite dans l'activité courante d'un être humain, ce qui handicape son usage dans certaines circonstances → kilojoule (1 kJ soit 10^3 J), mégajoule (1 MJ = 10^6 J)...



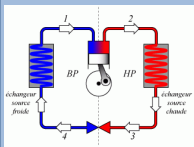
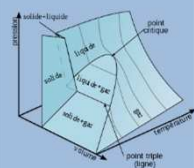
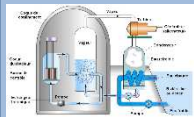
Unités d'énergie

- ❖ USI : **le joule**
- ❖ l'eV : énergie cinétique gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'1V volt, ordre de grandeur de l'énergie d'un électron au sein d'un atome. **1 eV = 1,602.10⁻¹⁹ J**



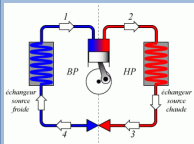
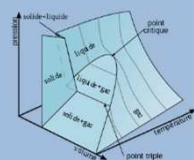
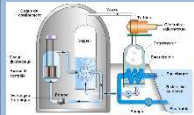
Unités d'énergie

- ❖ USI : **le joule**
- ❖ l'eV : énergie cinétique gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'1V volt, ordre de grandeur de l'énergie d'un électron au sein d'un atome. **1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J**
- ❖ calorie (cal) : quantité de chaleur nécessaire pour élever d'1°C la température d'1 g d'eau. **1 cal = 4,1855 J**



Unités d'énergie

- ❖ USI : **le joule**
- ❖ l'eV : énergie cinétique gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'1V volt, ordre de grandeur de l'énergie d'un électron au sein d'un atome. **$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**
- ❖ calorie (cal) : quantité de chaleur nécessaire pour élever d'1°C la température d'1 g d'eau. **$1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$**
- ❖ **kilowatt-heure (kW.h ou kWh)** : énergie consommée par un appareil de 1 000 watts pendant une durée d'1 heure. **$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$**
 - Il est fait usage également du watt-heure (Wh) et des multiples par milliers du kWh que sont le mégawatt-heure (MWh) et le gigawatt-heure (GWh).



Unités d'énergie

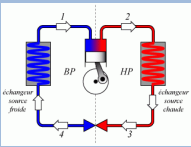
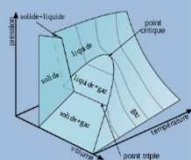
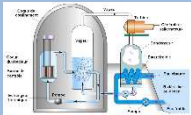
- ❖ USI : **le joule**
- ❖ l'eV : énergie cinétique gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'1V volt, ordre de grandeur de l'énergie d'un électron au sein d'un atome. **$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**
- ❖ calorie (cal) : quantité de chaleur nécessaire pour élever d'1°C la température d'1 g d'eau. **$1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$**
- ❖ **kilowatt-heure (kW.h ou kWh)** : énergie consommée par un appareil de 1 000 watts pendant une durée d'1 heure. **$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$**
 - Il est fait usage également du watt-heure (Wh) et des multiples par milliers du kWh que sont le mégawatt-heure (MWh) et le gigawatt-heure (GWh).
- ❖ **tonne d'équivalent pétrole (tep)** : énergie calorifique d'1 tonne de pétrole « moyen ». **$1 \text{ tep} = 4,186 \cdot 10^{10} \text{ J}$**

Quelques ordres de grandeur d'énergie

❖ Pour fournir **1 kWh**, on peut utiliser :



10 cyclistes à 20 km/h pendant 1h



50 m² de panneaux solaires pendant 1h

Sous conditions climatiques

une éolienne de 5m de diamètre pendant 1h

moyennes en France

8000L d'eau en chute sur 50m de haut

1 bûche de bois



Gaz 1,5L comprimé à 200 bar



1 petit tas de charbon

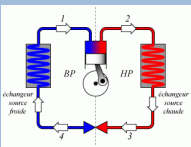
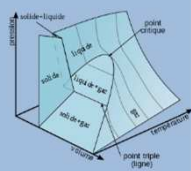
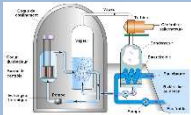


Pétrole 33cL



Uranium : quelques atomes





Energie / puissance

La **Puissance** se mesure en
kilowatt (kW)



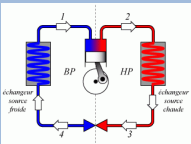
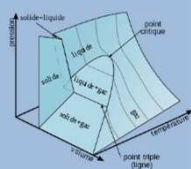
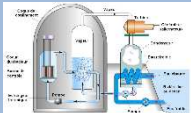

La **vitesse** du cycliste

L'**Énergie** se mesure en
kilowatt-heure (kWh)

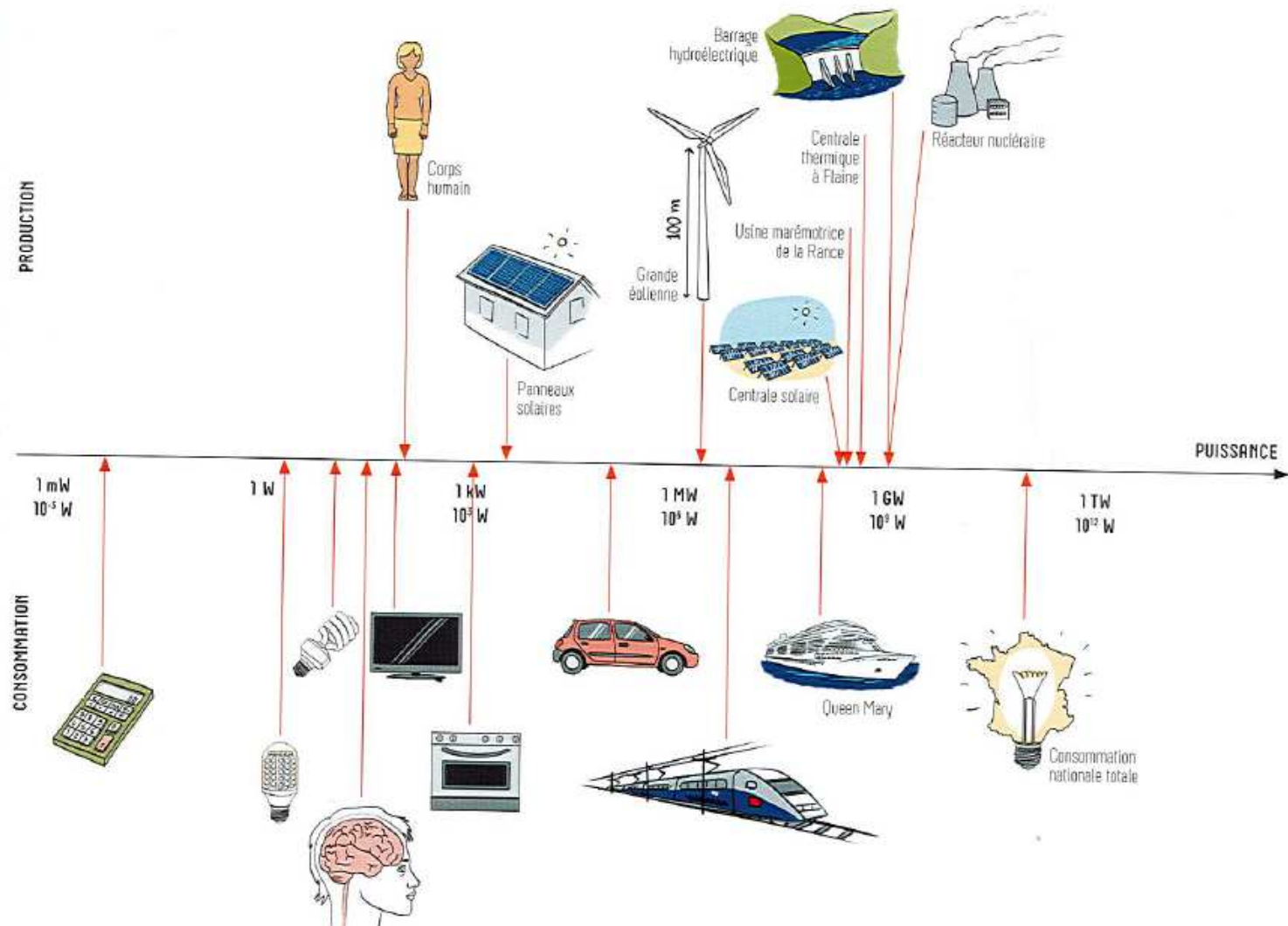


La **distance** parcourue
par le cycliste

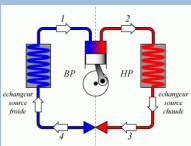
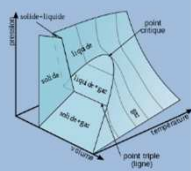
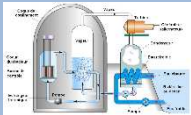
$$\text{Puissance (kW)} \times \text{Temps (h)} \leftrightarrow \text{Energie (kWh)}$$



Quelques ordres de grandeur de puissance



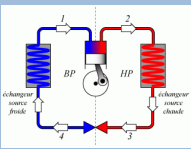
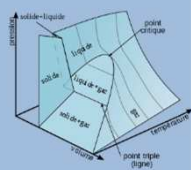
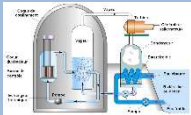
Source : Demain l'énergie, Paroles de chercheurs, Béatrice Méténier, PUG, 2015



Energies primaires vs. énergies finales

Énergies primaires = énergies stockées existantes

- ❖ Energie Nucléaire ($E_{\text{pot-micro}}$) : uranium, hélium (soleil)
- ❖ Energie Chimique ($E_{\text{pot-micro}}$) : pétrole, charbon, gaz, biomasse
- ❖ Energie Mécanique : vents, marées ($E_{\text{cin-macro}}$), barrage ($E_{\text{pot-macro}}$)
- ❖ Energie (géo)Thermique ($E_{\text{cin-micro}}$) : nappes souterraines vapeur ou eau chaude



Energies primaires vs. énergies finales

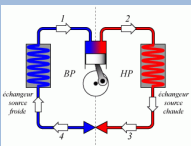
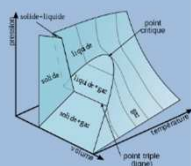
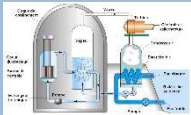
Énergies primaires = énergies stockées existantes

- ❖ Energie Nucléaire ($E_{\text{pot-micro}}$) : uranium, hélium (soleil)
- ❖ Energie Chimique ($E_{\text{pot-micro}}$) : pétrole, charbon, gaz, biomasse
- ❖ Energie Mécanique : vents, marées ($E_{\text{cin-macro}}$), barrage ($E_{\text{pot-macro}}$)
- ❖ Energie (géo)Thermique ($E_{\text{cin-micro}}$) : nappes souterraines vapeur ou eau chaude

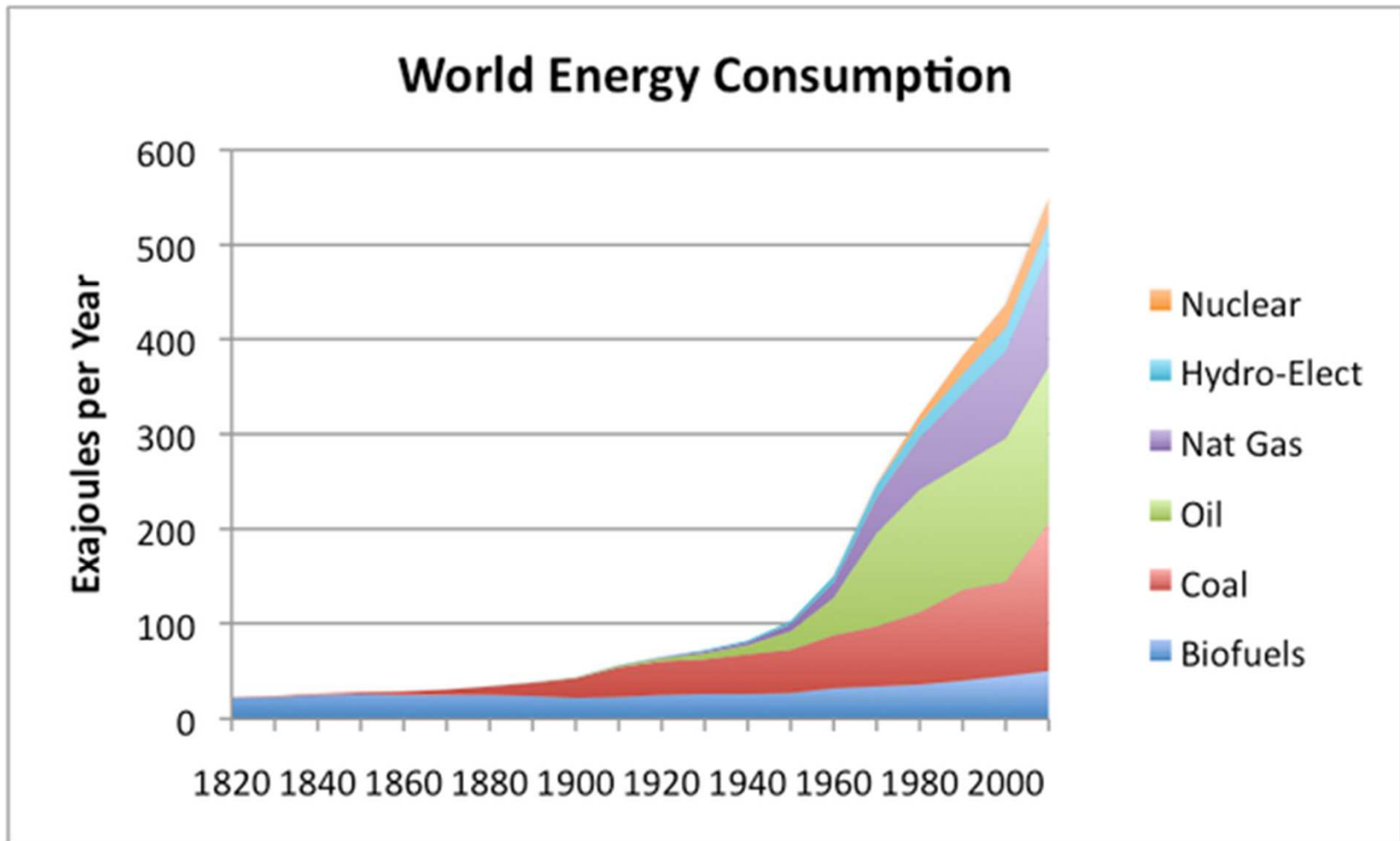
Aucun stock n'est inépuisable mais les ordres de grandeur des temps sont très différents ; on distingue donc les énergies non renouvelables (durée des réserves < 100 ans) et les énergies renouvelables (durée des réserves $> 10^{10}$ ans) :

Non renouvelables	Renouvelables
Nucléaire : uranium Chimique : pétrole, charbon gaz	Nucléaire (ou rayonnante) : hélium (soleil) Chimique : biomasse Mécanique : éolien, hydraulique Géothermique

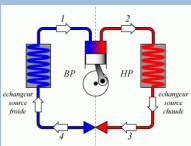
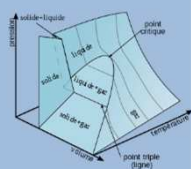
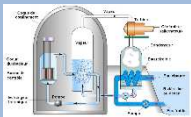
Rq : pour déplacer une énergie primaire, il faut déplacer le stock ! Ce qui est souvent difficile.



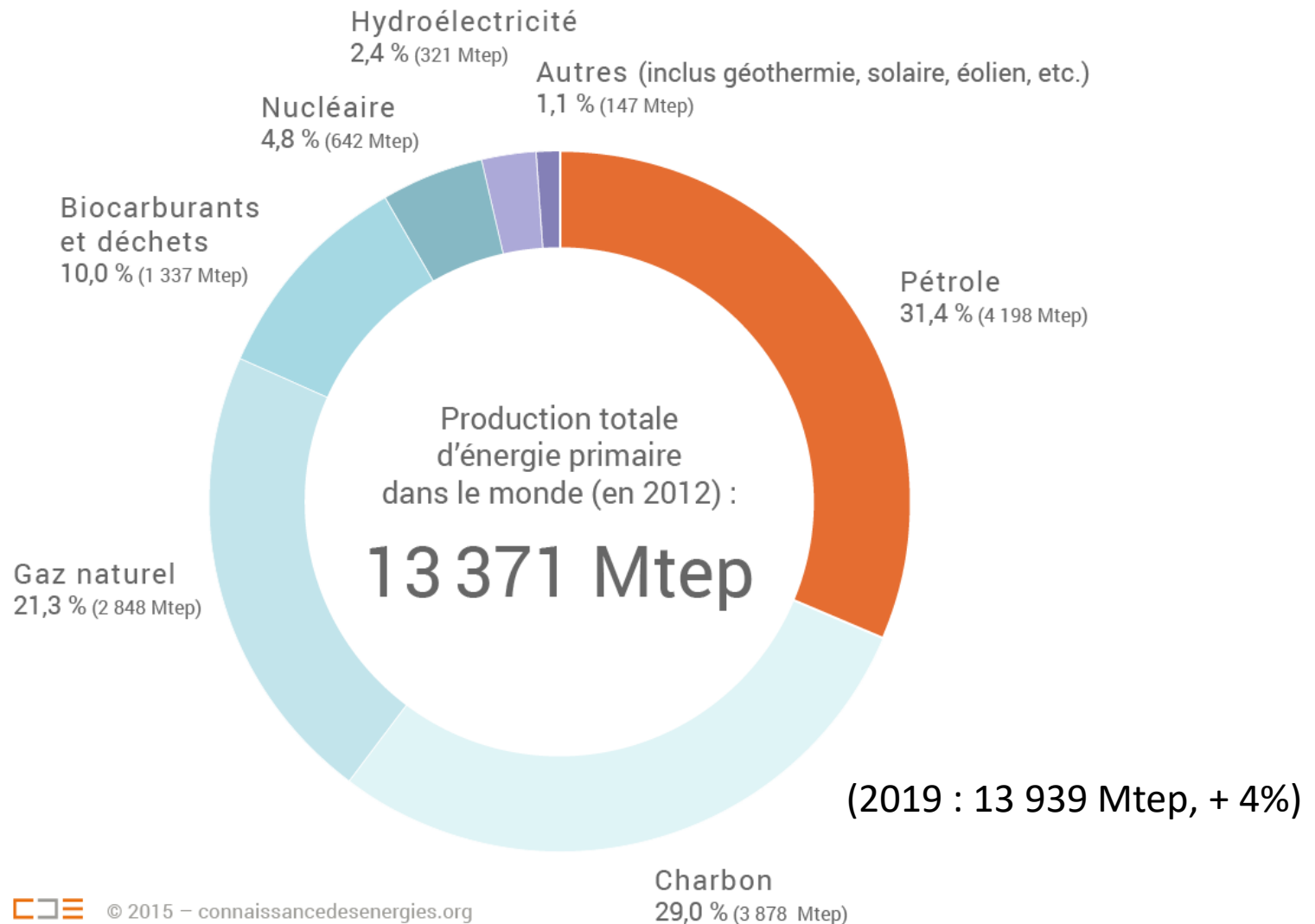
Etat des lieux de la consommation d'énergie mondiale



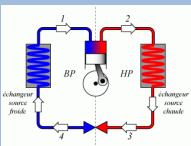
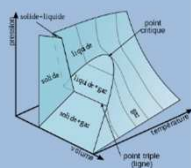
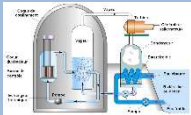
N.B. 1 exajoule (1 EJ) = 10^{18} J



Energies primaires vs. énergies finales



N.B. 1 tep (tonne équivalent pétrole) = 41,868 GJ = 41,868 10⁹ J
C'est la chaleur dégagée par la combustion d'1 tonne de pétrole



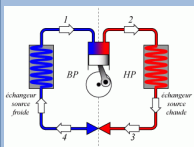
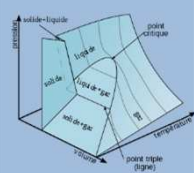
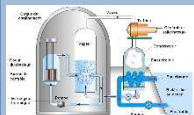
Energies primaires vs. énergies finales

Énergie finale = dont dispose l'utilisateur final

	Part de la consommation finale en 2012	Consommation mondiale en 2012 en millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep)
Consommation finale	100%	8 979
Industrie	28,3%	2 541
Transports	27,9%	2 507
Résidentiel, agriculture et autres secteurs	34,8%	3 122
Usage hors énergie	9,0%	809

Consommation finale d'énergie par secteur dans le monde en 2012 (d'après données du Key World Energy Statistics 2014)

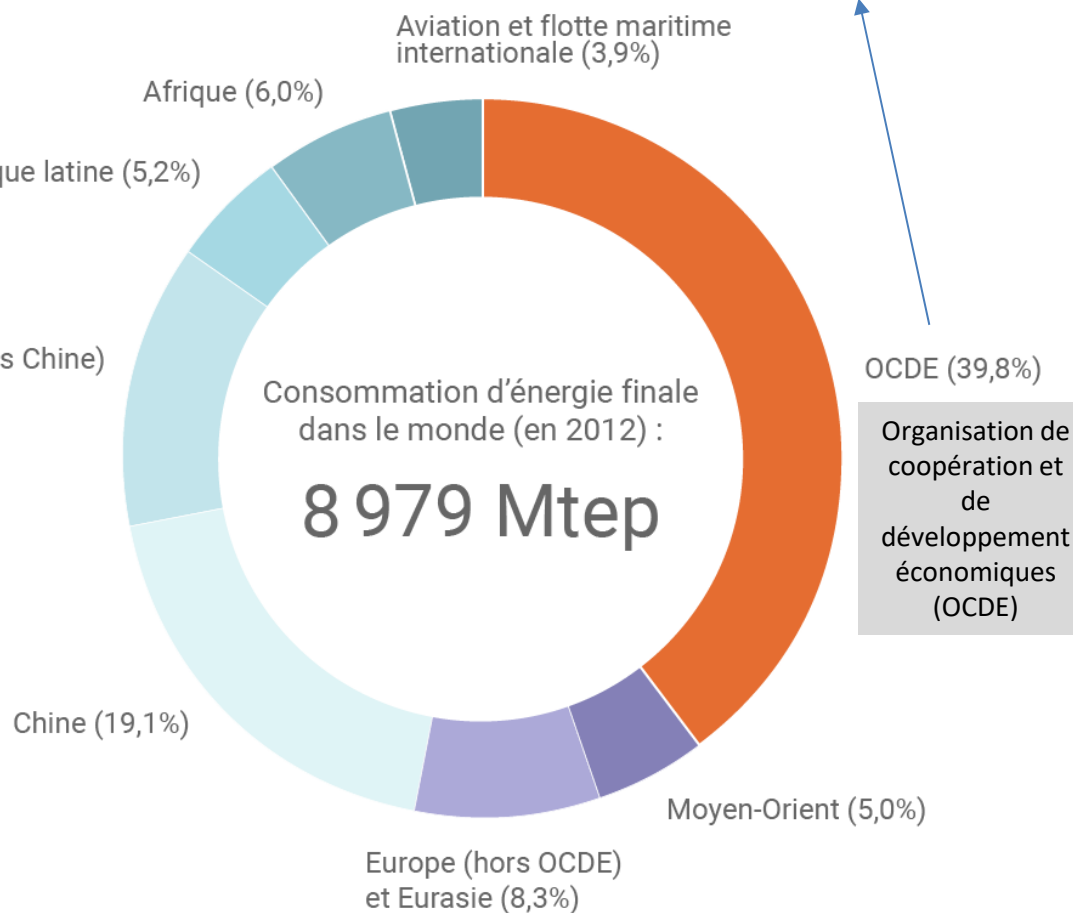
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-d-energie-finale-dans-le-monde-0>

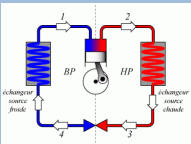
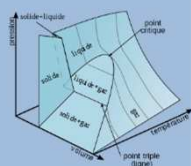
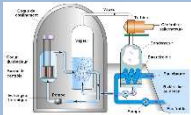


Energies primaires vs. énergies finales

Production totale
d'énergie primaire
dans le monde (en 2012) :

13 371 Mtep





Energies primaires vs. énergies finales

Production totale
d'énergie primaire
dans le monde (en 2012) :

13 371 Mtep

pertes

33%

Aviation et flotte maritime
internationale (3,9%)

Afrique (6,0%)

Amérique latine (5,2%)

Asie (hors Chine)
(19,1%)

Consommation d'énergie finale
dans le monde (en 2012) :

8 979 Mtep

OCDE (39,8%)

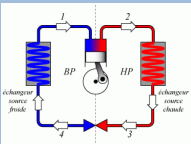
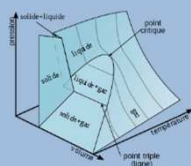
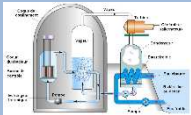
Chine (19,1%)

Moyen-Orient (5,0%)

Europe (hors OCDE)
et Eurasie (8,3%)

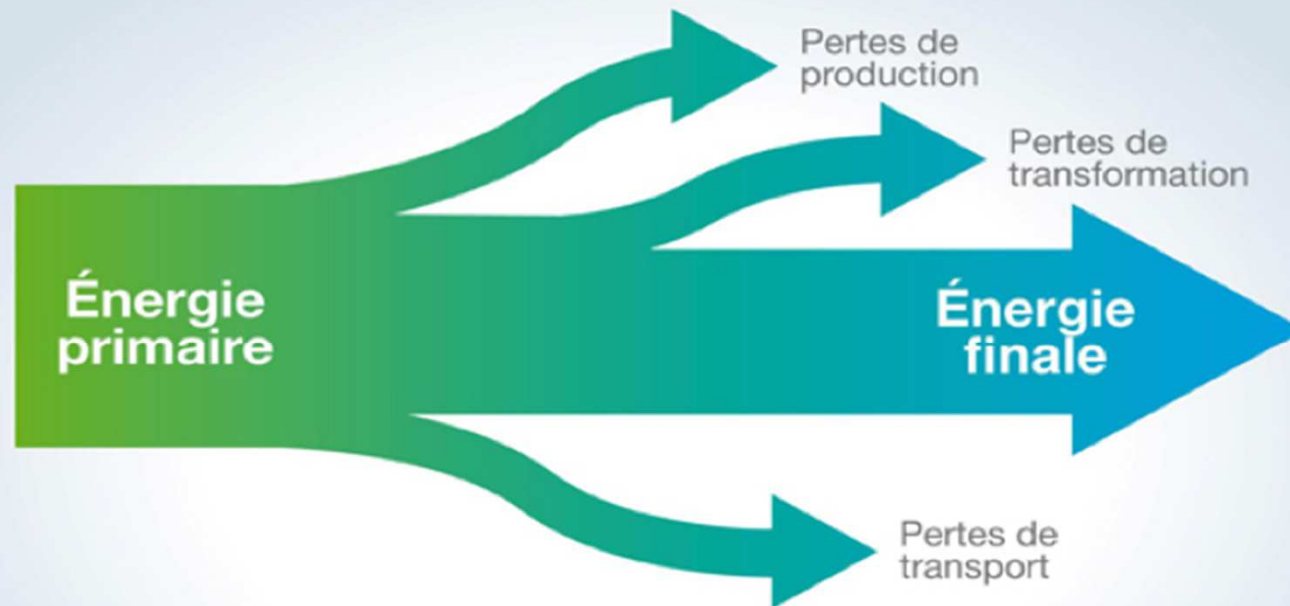
© 2015 – connaissance-des-energies.org

Poly – Fiche E5



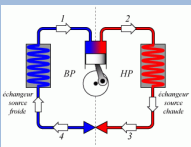
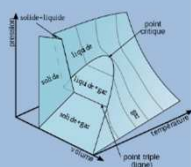
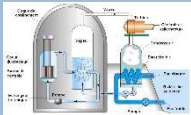
Energies primaires vs. énergies finales : cas de l'électricité

De l'énergie primaire à l'énergie finale



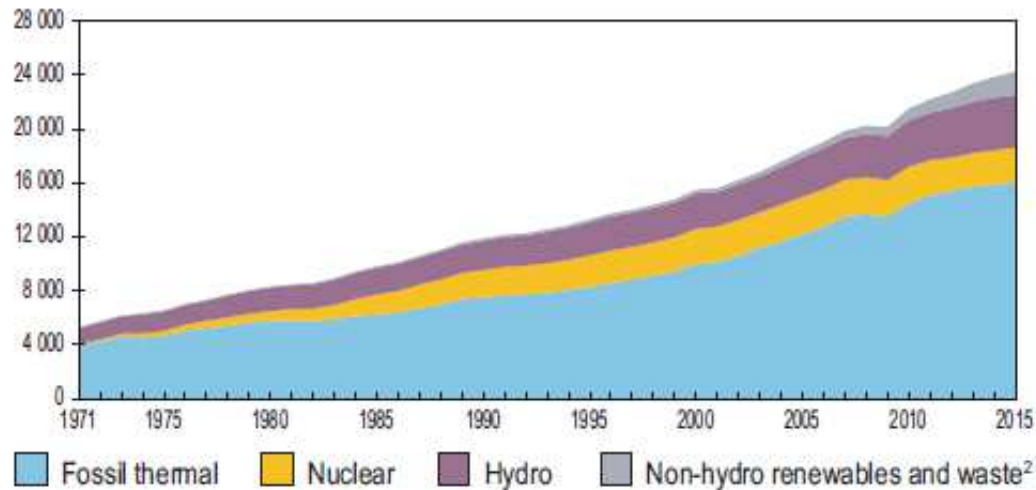
Dans le cas de l'électricité, 2/3 de l'énergie est perdue dans le processus de transformation en énergie finale. C'est-à-dire que pour 1 kWh utilisé au compteur, il aura fallu près de 3kWh d'énergie primaire

Source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>



Energies primaires vs. énergies finales : cas de l'électricité

World electricity generation¹ from 1971 to 2015 by fuel (TWh)



Source : Key word energy statistics 2017 - IEA

Electricité provenant du charbon :

2350 TWh en 1973

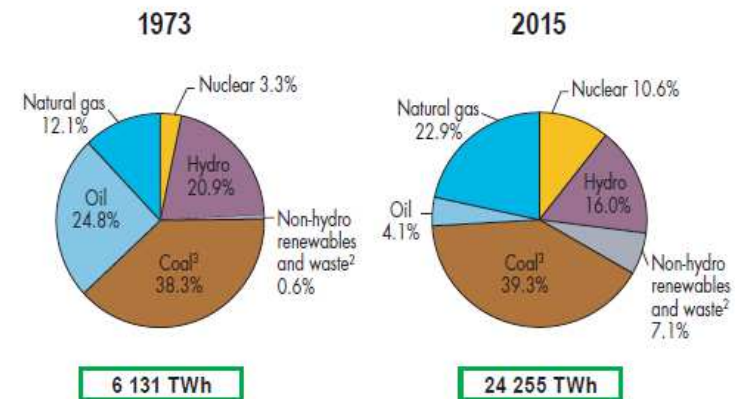
9650 TWh en 2015

× 4 !

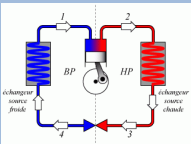
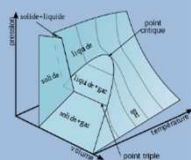
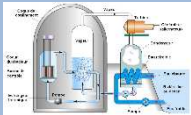
N.B. 1 Wh (watt heure) = 3600 J

1 tera = 10¹²

1973 and 2015 source shares of electricity generation¹



1. Excludes electricity generation from pumped storage.
2. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, biofuels, waste, heat and other.
3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.



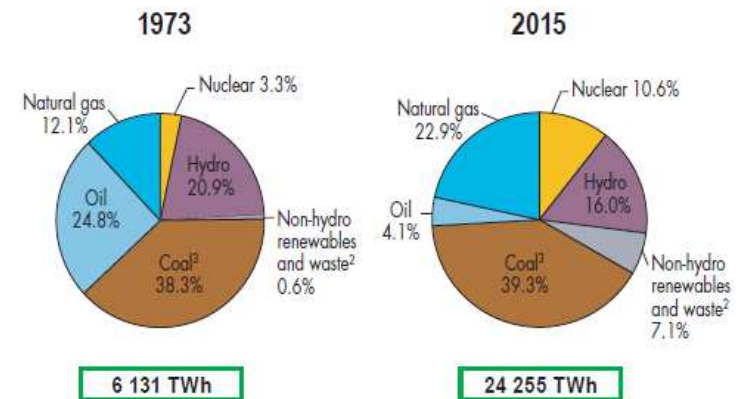
Energies primaires vs. énergies finales : cas de l'électricité

Source : Europe's dark cloud – CAN, Heal, Sandbag, WWF - 2016

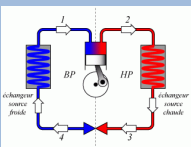
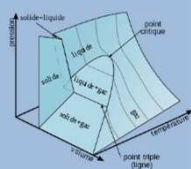
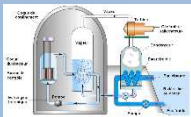


Electricité provenant du charbon :
2350 TWh en 1973
9650 TWh en 2015
× 400% !

1973 and 2015 source shares of electricity generation¹

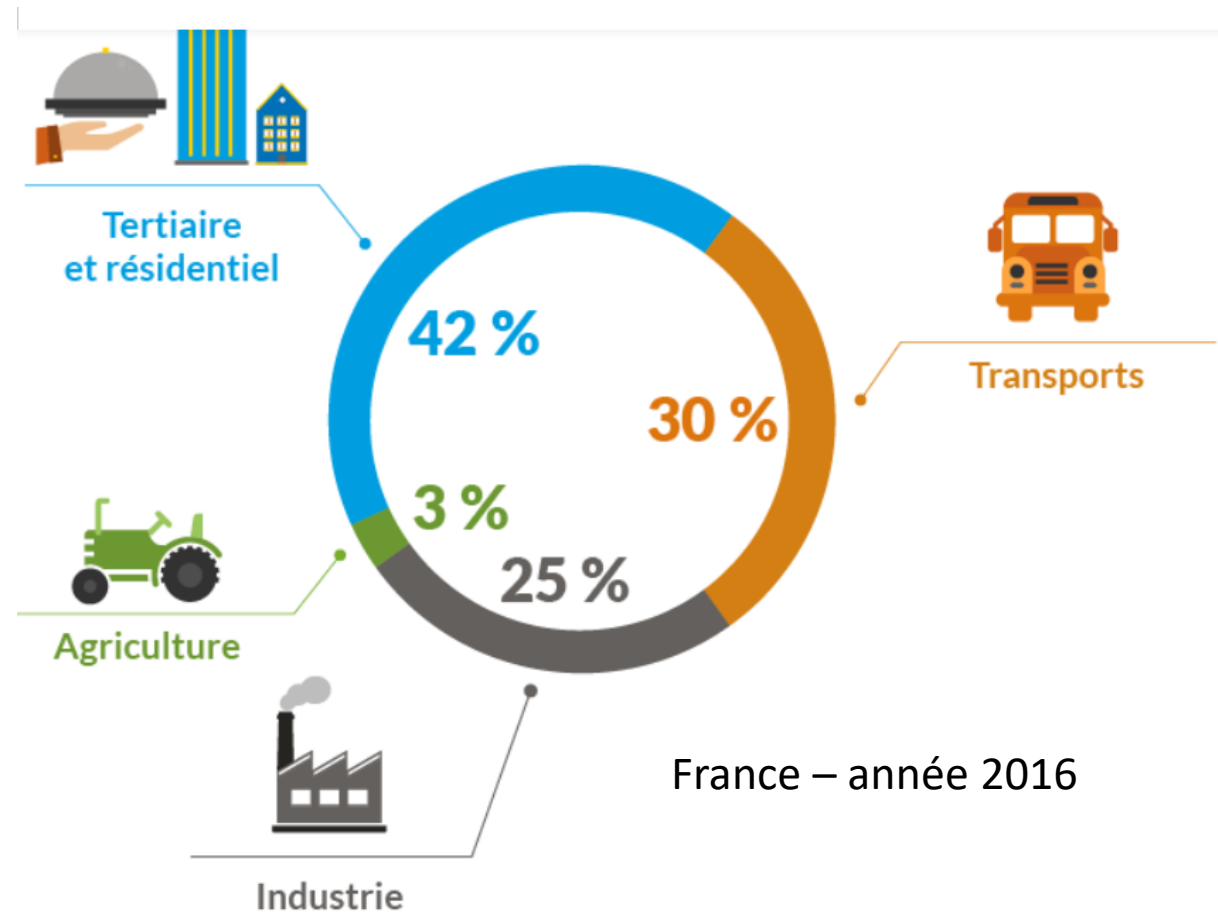


1. Excludes electricity generation from pumped storage.
2. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, biofuels, waste, heat and other.
3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.

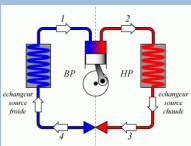
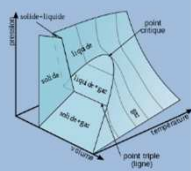
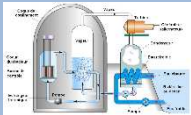


Energies utiles

Énergie utile = procure le service énergétique recherché



Source : <https://www.gazprom-energy.fr/gazmagazine/2017/09/consommation-energetique-secteur-activite/>



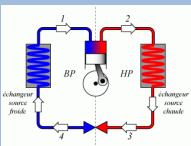
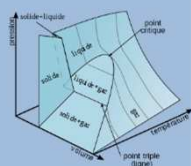
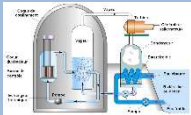
Energies utiles

Énergie utile = procure le service énergétique recherché



- ❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :
 - Besoins de chaleur à basse et moyenne température





Energies utiles

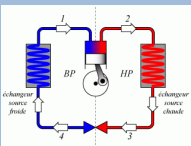
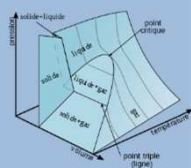
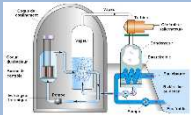
Énergie utile = procure le service énergétique recherché



❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :

- Besoins de chaleur à basse et moyenne température
- Besoins de cuisson





Energies utiles

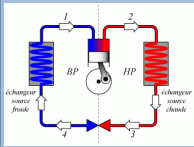
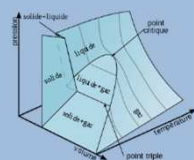
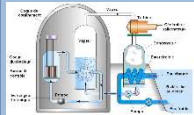
Énergie utile = procure le service énergétique recherché



❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :

- Besoins de chaleur à basse et moyenne température
- Besoins de cuisson
- Besoins en électricité





Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

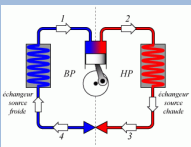
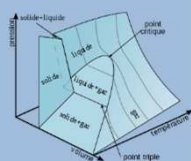
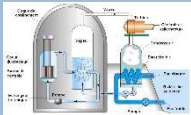
❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :

- Besoins de chaleur à basse et moyenne température
- Besoins de cuisson
- Besoins en électricité

❖ Secteur agricole (3%) :

- Énergie mécanique
- Chauffage des locaux d'élevage
- Séchage
- Engrais et pesticides (dérivés pétrole)





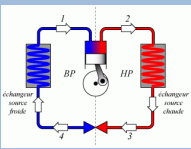
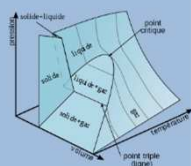
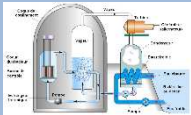
Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :
 - Besoins de chaleur à basse et moyenne température
 - Besoins de cuisson
 - Besoins en électricité
- ❖ Secteur agricole (3%) :
 - Énergie mécanique
 - Chauffage des locaux d'élevage
 - Séchage
 - Engrais et pesticides (dérivés pétrole)
- ❖ Secteur industriel (25%) :
 - Part de l'énergie dans les coûts industriels 5 à 15%
 - Électrolyse (ex : aluminium)
 - Sidérurgie (acier et fonte)



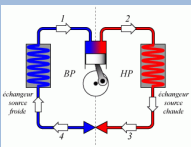
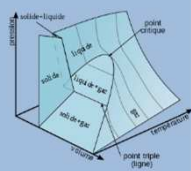
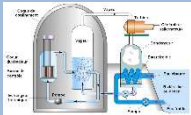


Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur résidentiel et tertiaire (42%) :
 - Besoins de chaleur à basse et moyenne température
 - Besoins de cuisson
 - Besoins en électricité
- ❖ Secteur agricole (3%) :
 - Énergie mécanique
 - Chauffage des locaux d'élevage
 - Séchage
 - Engrais et pesticides (dérivés pétrole)
- ❖ Secteur industriel (25%) :
 - Part de l'énergie dans les coûts industriels 5 à 15%
 - Électrolyse (ex : aluminium)
 - Sidérurgie (acier et fonte)
 - Chimie (hydrocarbures)
 - Métallurgie (chaleur à température élevée)
 - Cimenteries (pétrole remplacé par charbon)

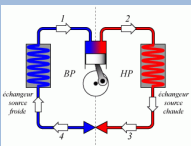
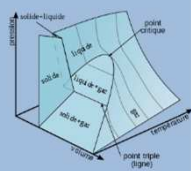
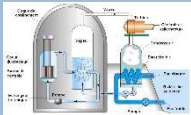


Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur des transports (30%) :
 - Marché captif pour le pétrole (sauf ferroviaire)
 - Maritime : fioul lourd
 - Routier : essence et gazole
 - Aérien : kérosène



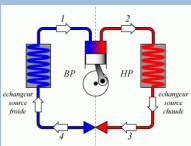
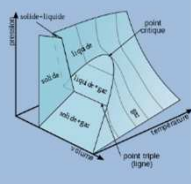
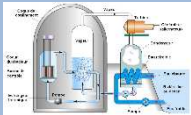
Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur des transports (30%) :
 - Marché captif pour le pétrole (sauf ferroviaire)
 - Maritime : fioul lourd
 - Routier : essence et gazole
 - Aérien : kérosène

Energie distribuée par des réseaux commerciaux formalisés



Energies utiles



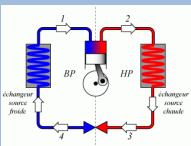
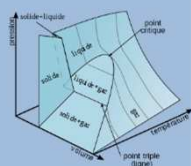
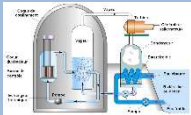
Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur des transports (30%) :
 - Marché captif pour le pétrole (sauf ferroviaire)
 - Maritime : fioul lourd
 - Routier : essence et gazole
 - Aérien : kérosène

Energie distribuée par des réseaux commerciaux formalisés

- ❖ Cas des sociétés rurales :
 - Besoins en énergie prélevés sur la nature environnante





Energies utiles



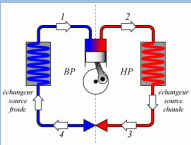
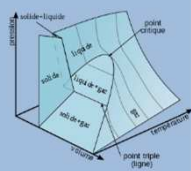
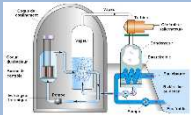
Énergie utile = procure le service énergétique recherché

- ❖ Secteur des transports (30%) :
 - Marché captif pour le pétrole (sauf ferroviaire)
 - Maritime : fioul lourd
 - Routier : essence et gazole
 - Aérien : kérosène

Energie distribuée par des réseaux commerciaux formalisés

- ❖ Cas des sociétés rurales :
 - Besoins en énergie prélevés sur la nature environnante
 - Surexploitation du couvert végétal : désertification et déforestation





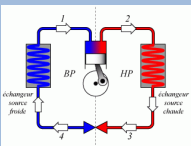
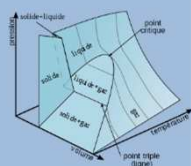
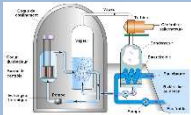
Energies utiles



Énergie utile = procure le service énergétique recherché

L'être humain consomme de l'énergie sous différentes formes :

- ❖ $W_{\text{mécanique}}$: transport (+ machines mécaniques)
- ❖ $W_{\text{électrique}}$: ordinateurs (toutes machines sans mouvement)
- ❖ Q_{chaleur} : chauffage, cuisson
- ❖ $Q_{\text{rayonnement}}$: éclairage



Energies utiles

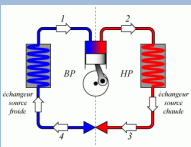
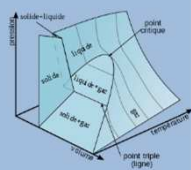
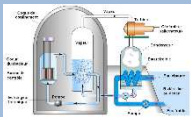


Énergie utile = procure le service énergétique recherché

L'être humain consomme de l'énergie sous différentes formes :

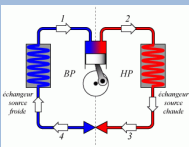
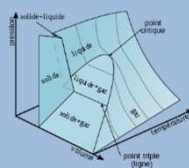
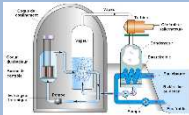
- ❖ $W_{\text{mécanique}}$: transport (+ machines mécaniques)
- ❖ $W_{\text{électrique}}$: ordinateurs (toutes machines sans mouvement)
- ❖ Q_{chaleur} : chauffage, cuisson
- ❖ $Q_{\text{rayonnement}}$: éclairage

travail W et chaleur Q



*30'

Conversion et stockage de l'énergie

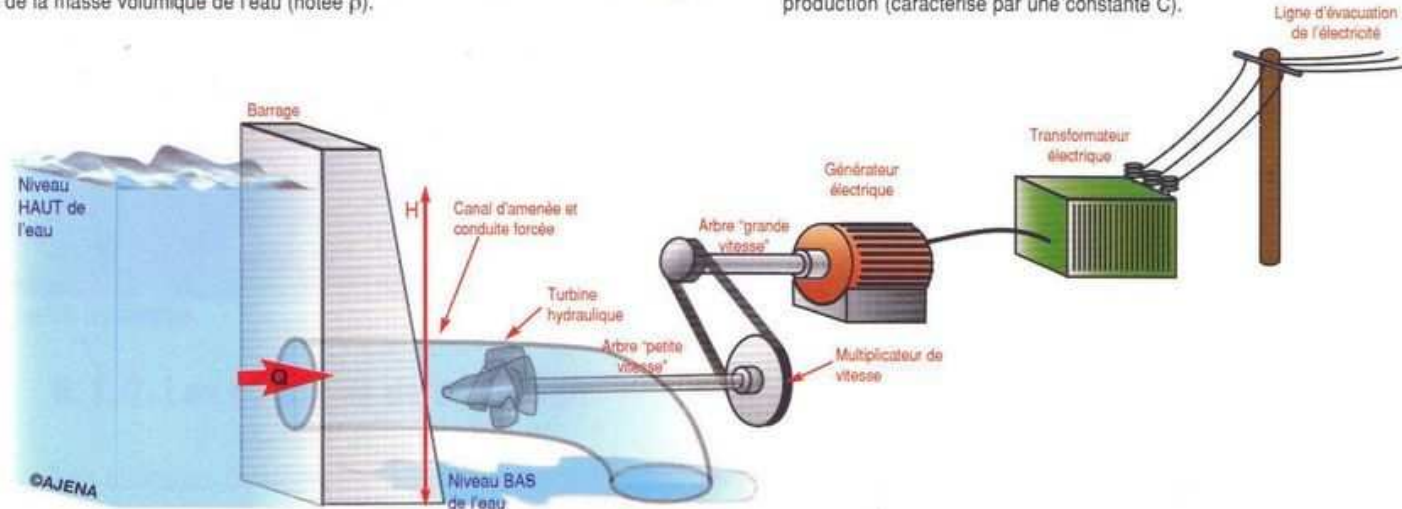


Transformation de l'énergie – notion de rendements

Les étapes de transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique

La puissance nette (notée P_{nette}) d'une centrale dépend du débit d'équipement (noté Q), de la hauteur de chute nette (notée H), de la constante de gravité (notée g) et de la masse volumique de l'eau (notée ρ).

En passant par différentes étapes de transformation, cette puissance nette va être diminuée à cause des rendements de chacun des composants du groupe de production (caractérisé par une constante C).



En chutant, l'eau libère sa puissance nette.

$$P_{\text{nette}} = \rho \times g \times Q \times H$$

pour l'eau $\rho = 1$ donc
 $P_{\text{nette}} = g \times Q \times H$

1

La turbine transforme la puissance nette en puissance mécanique de rotation.

$$P = C_1 \times Q \times H$$

$$= g \times \text{rendement de la turbine}$$

2

La vitesse de rotation en sortie de la turbine est trop faible pour le générateur électrique. Donc il faut intercaler un multiplicateur de vitesse.

$$P = C_2 \times Q \times H$$

$$= C_1 \times \text{rendement du multiplicateur}$$

3

Le générateur électrique transforme la puissance mécanique de rotation en électricité.

$$P = C_3 \times Q \times H$$

$$= C_2 \times \text{rendement du générateur}$$

4

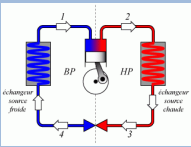
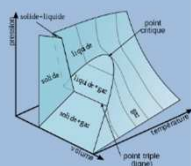
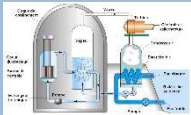
Pour des installations d'une certaine puissance, il faut élever la tension fournie par le générateur.

$$P = C \times Q \times H$$

$$= C_3 \times \text{rendement du transformateur}$$

5

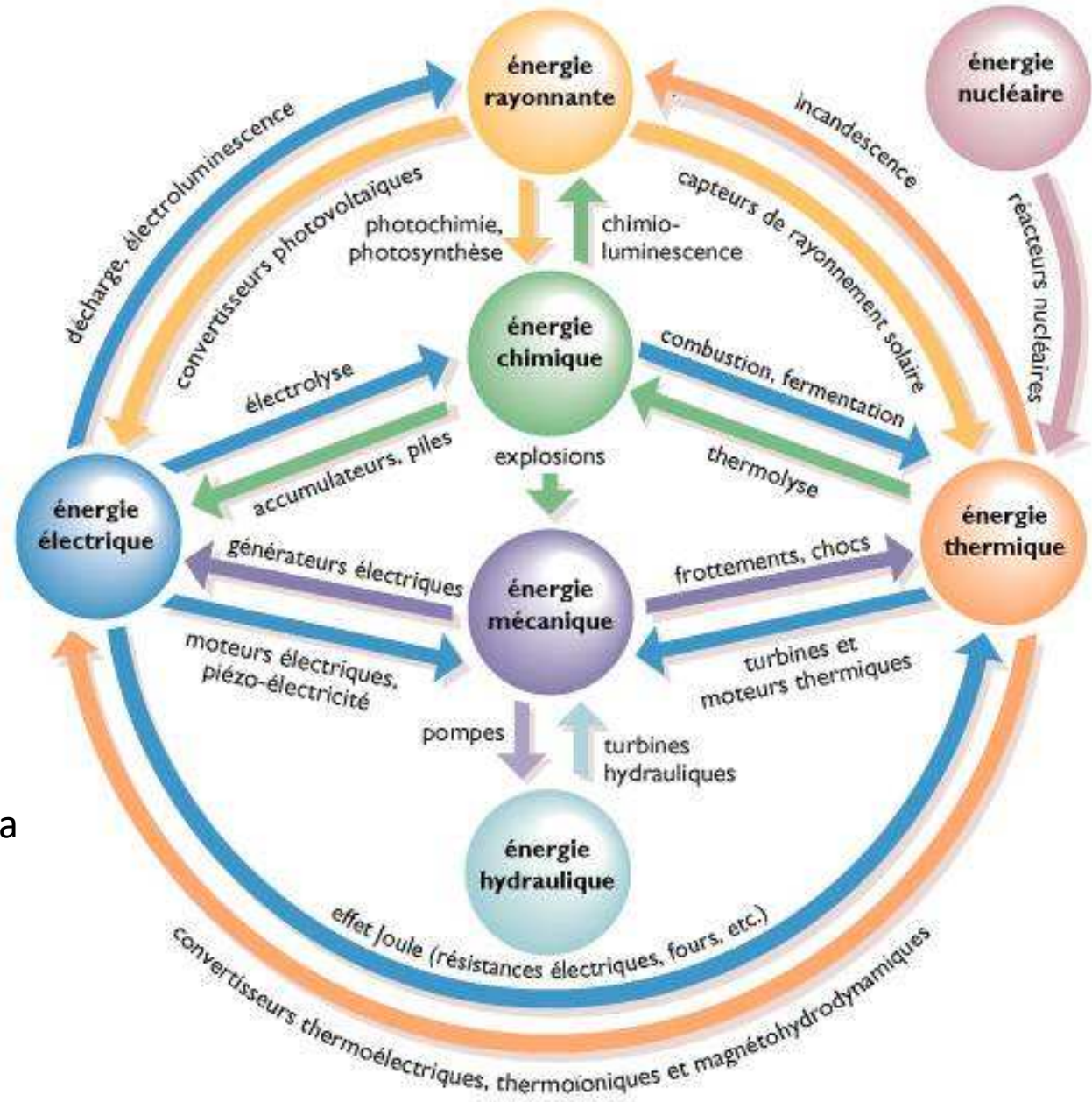
$$E_{\text{finale}} = E_{\text{primaire}} \times \text{rendement de conversion} \times \text{rendement de transport}$$

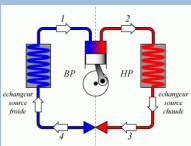
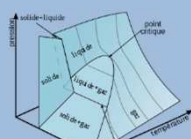
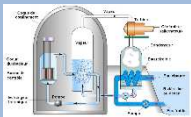


Transformations de l'énergie

1^{er} principe de la thermodynamique :

L'énergie contenue dans un **système isolé (pas d'échange avec l'extérieur)** soumis à un processus de transformation se retrouve intégralement sous d'autres formes lorsque le processus a pris fin



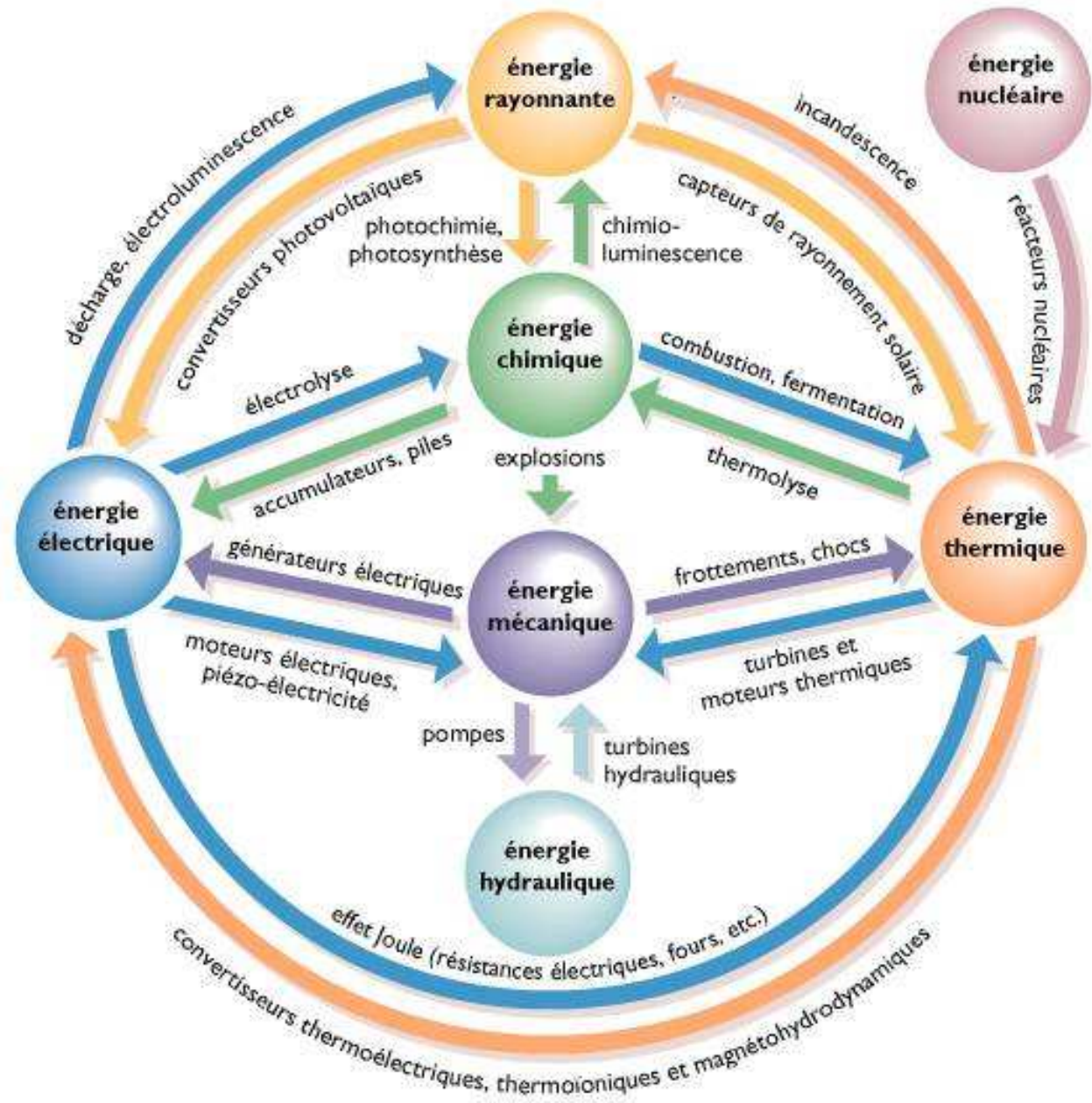


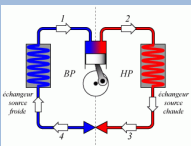
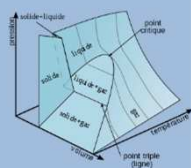
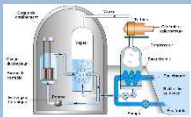
Transformations de l'énergie

Limites du 1^{er} principe :

Absence de prise en compte de la **qualité de l'énergie**

Formes d'énergie équivalentes mais possibilités de conversion inégales



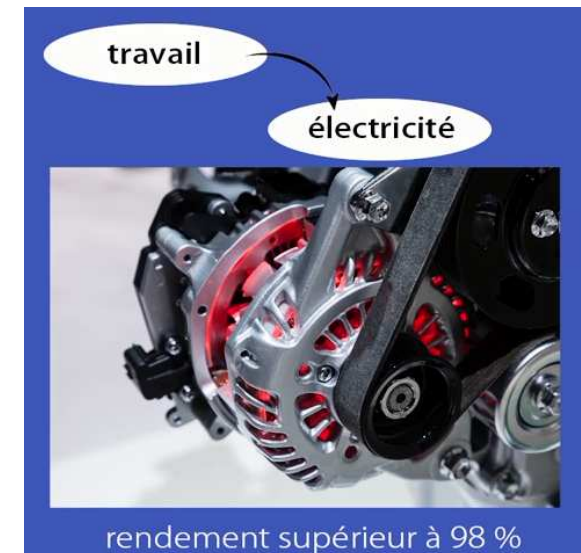
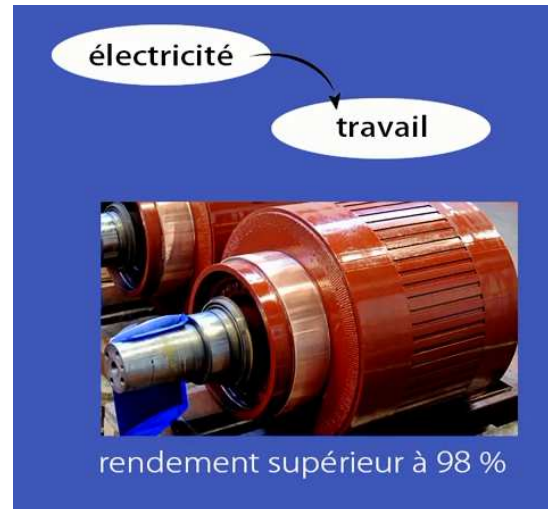


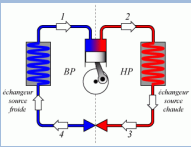
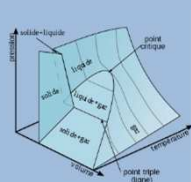
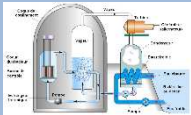
Transformations de l'énergie

Limites du 1^{er} principe :

Absence de prise en compte de la **qualité de l'énergie**

Formes d'énergie équivalentes mais possibilités de conversion inégales





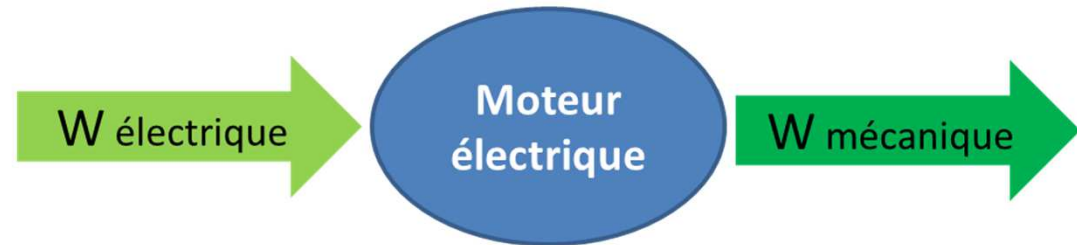
Transformations de l'énergie

Limites du 1^{er} principe :

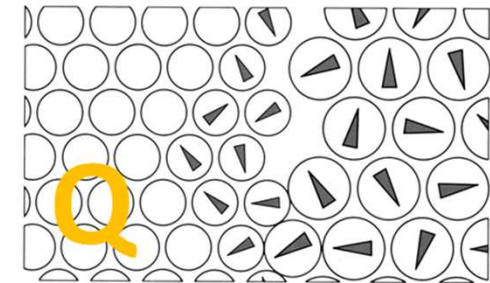
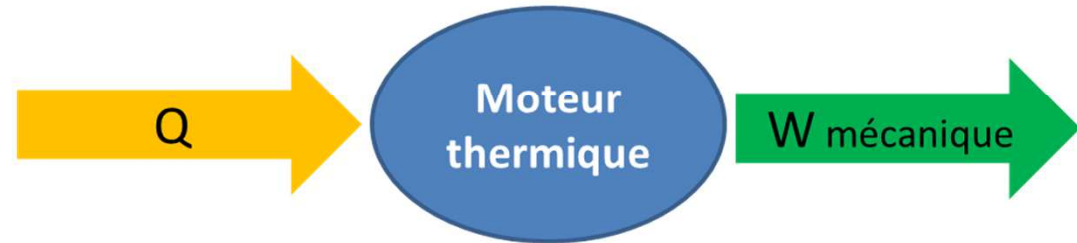
Absence de prise en compte de la **qualité de l'énergie**

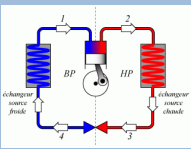
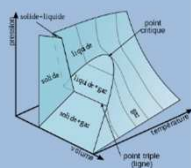
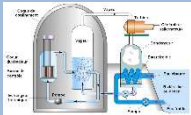
Formes d'énergie équivalentes mais possibilités de conversion inégales

Rendement $\sim 100\%$

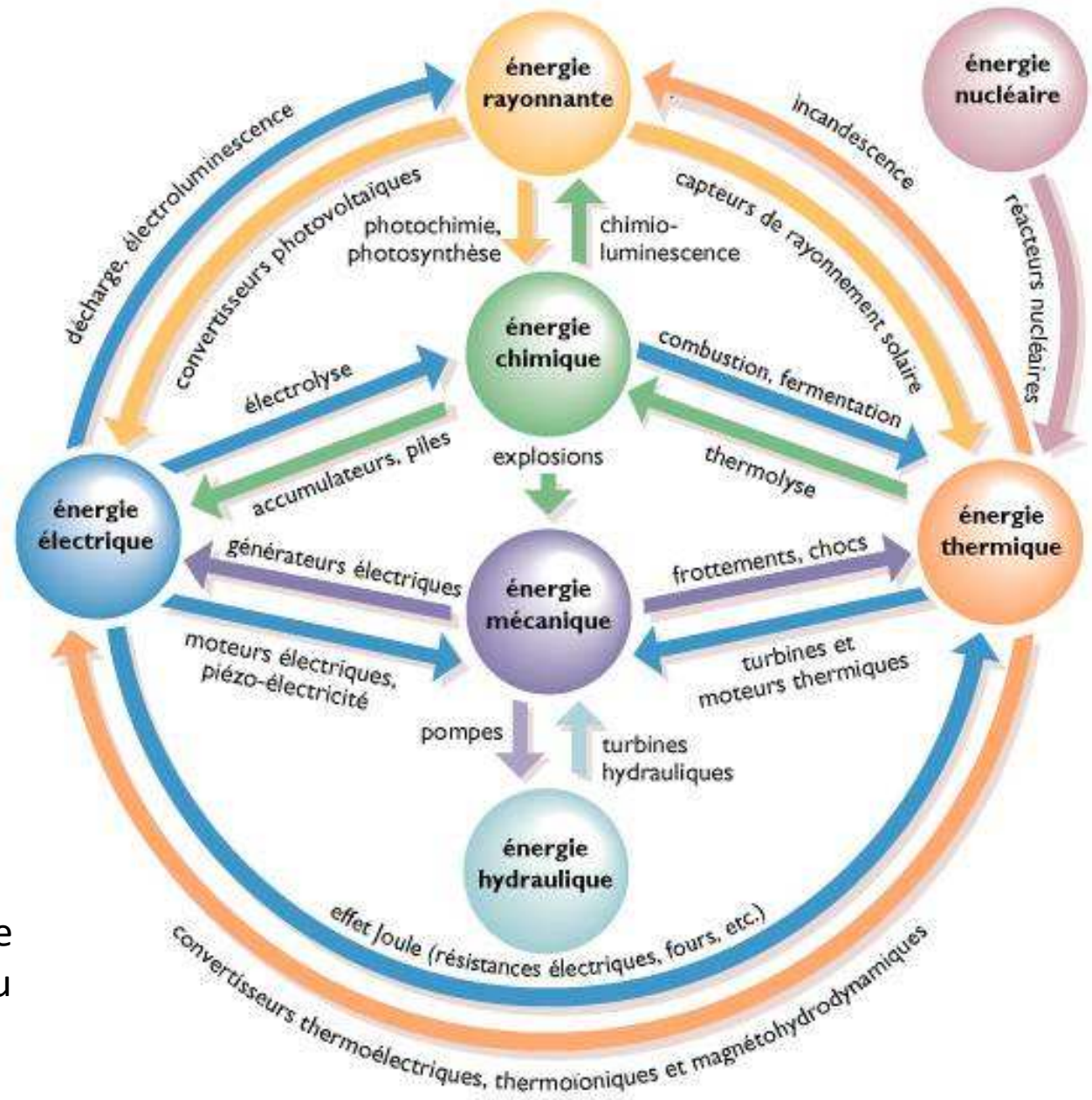


Rendement $\sim 30\%$





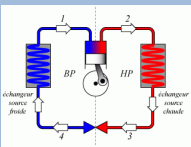
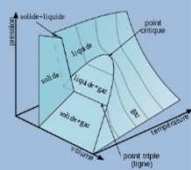
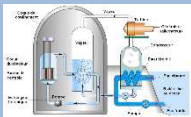
Transformations de l'énergie

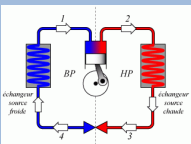
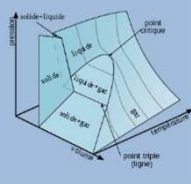
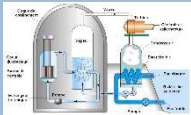


2nd principe de la thermodynamique :

La conversion de l'énergie dégrade sa qualité

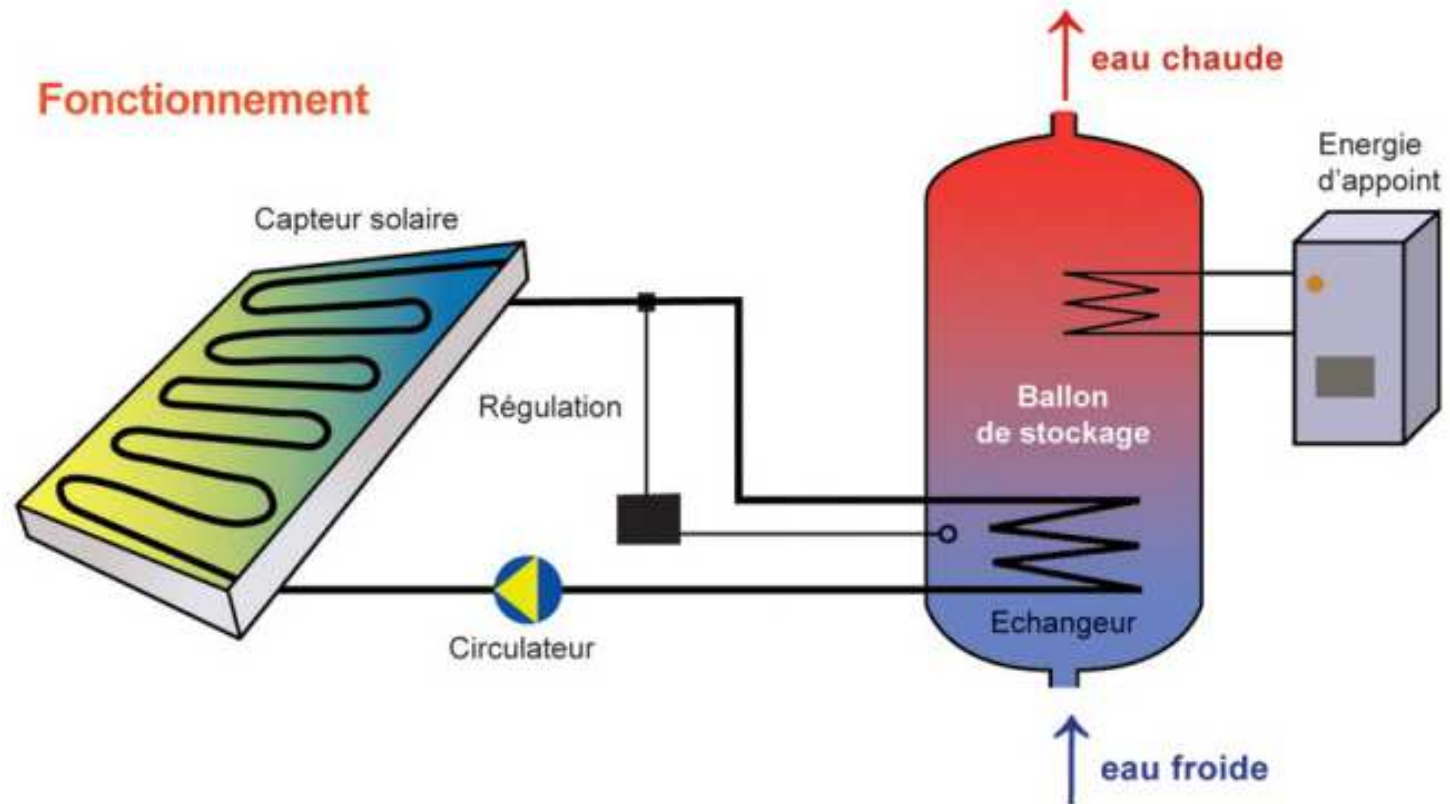
La quantité d'énergie utilisable diminue du fait de l'existence d'irrégularités





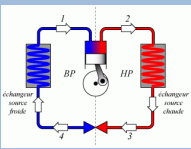
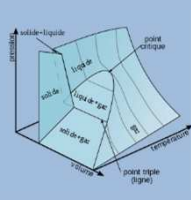
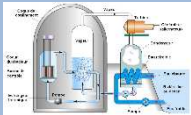
Chaîne énergétique

Fonctionnement

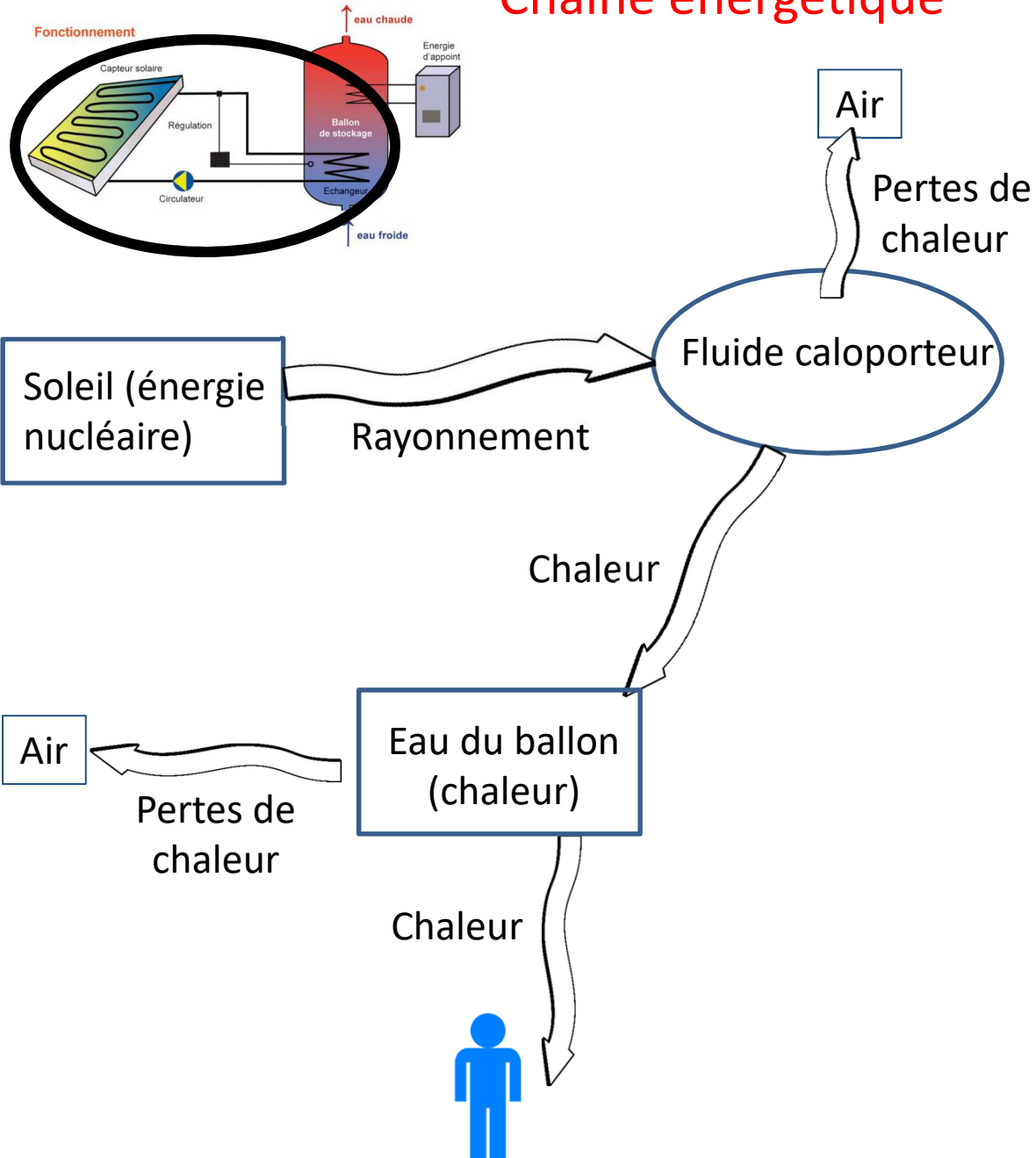


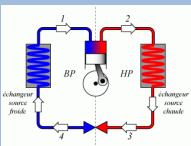
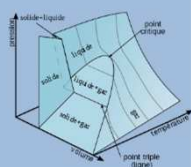
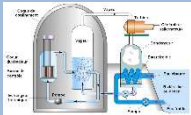
Poly – Fiche RM1

<http://www.cotentin-energies.fr/les-chauffe-eaux/>

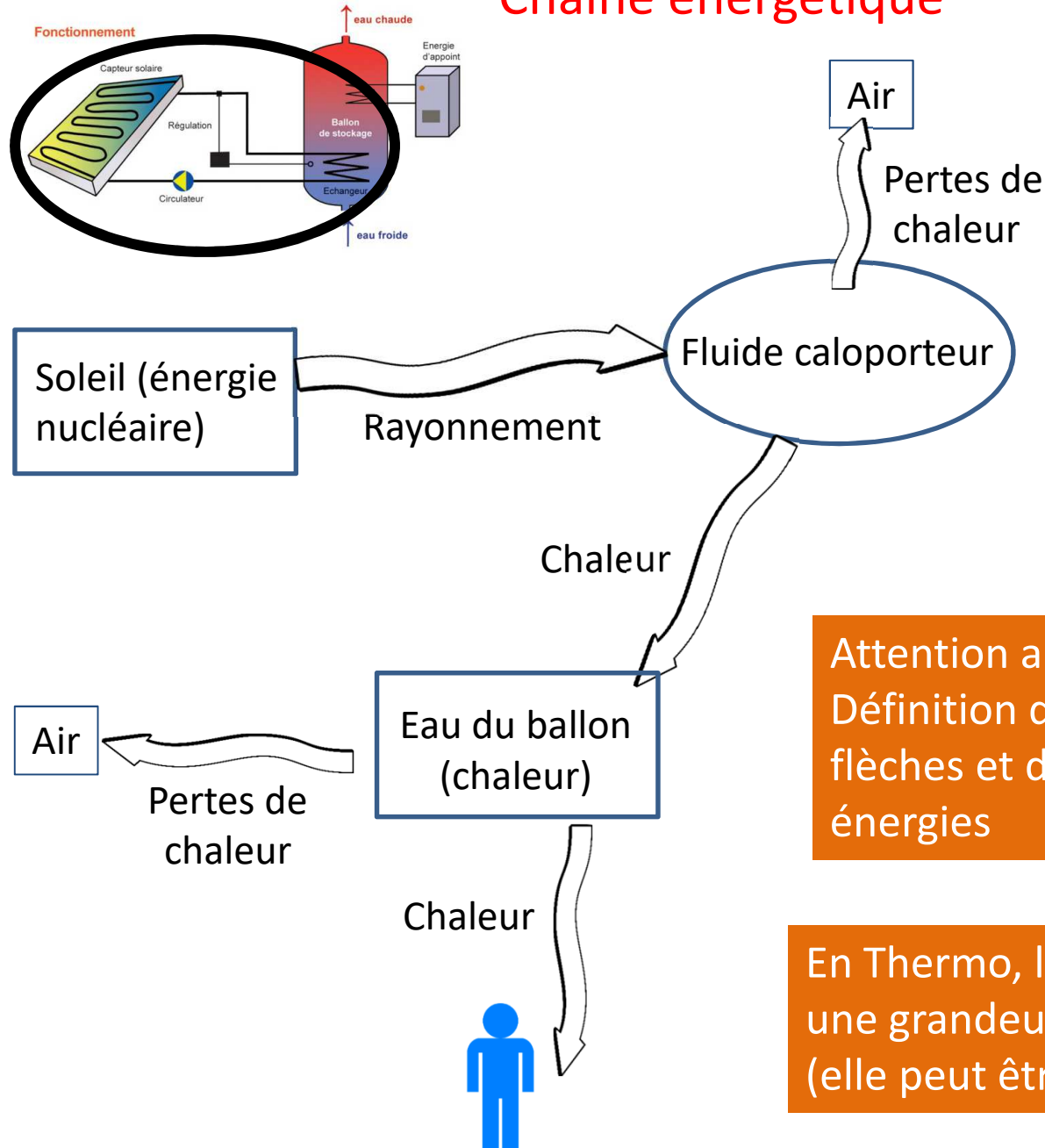


Chaine énergétique



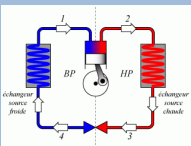
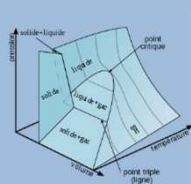
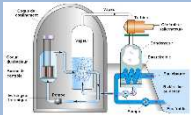


Chaine énergétique

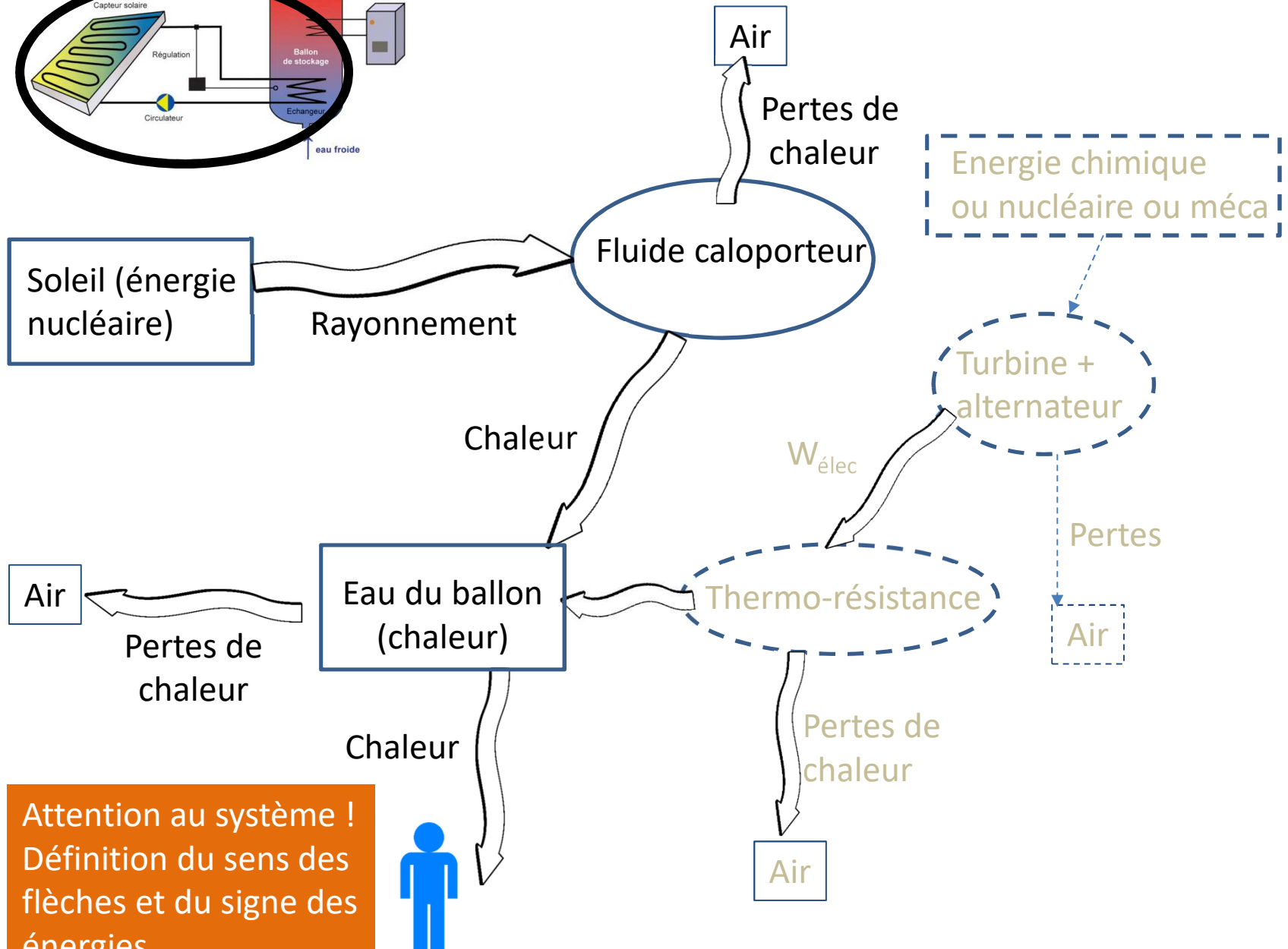
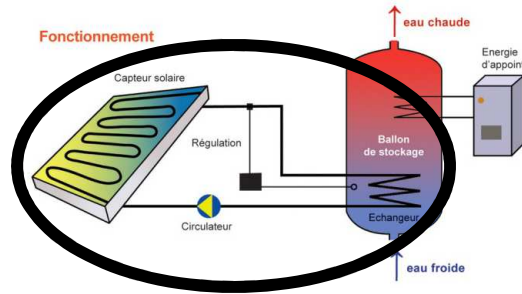


Attention au système !
Définition du sens des
flèches et du signe des
énergies

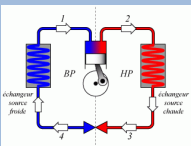
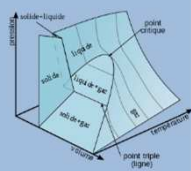
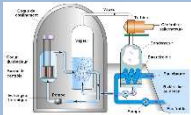
En Thermo, l'énergie est
une grandeur algébrique
(elle peut être négative)



Chaine énergétique



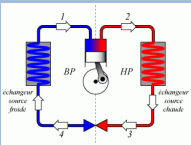
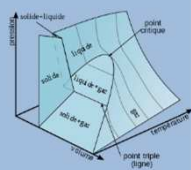
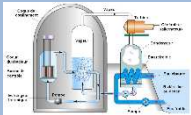
Attention au système !
Définition du sens des
flèches et du signe des
énergies



Stockage de l'énergie

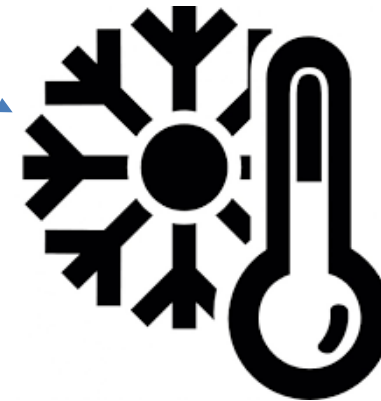
Vidéo disponible sur Moodle

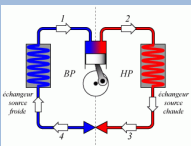
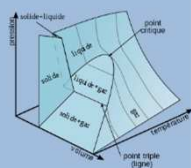
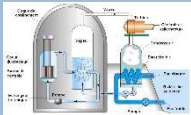
Poly – Fiche E4



*70'

Exemples :
Machine à vapeur
Machine frigorifique



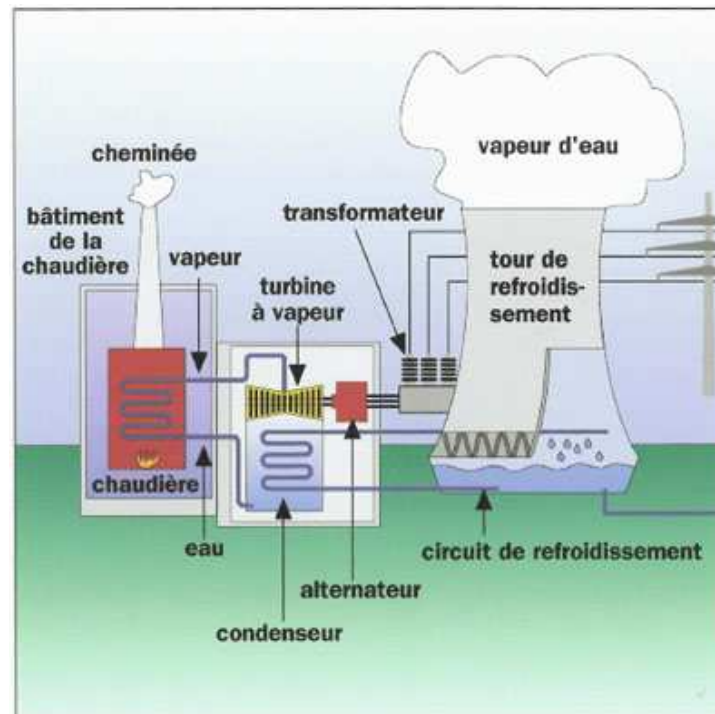
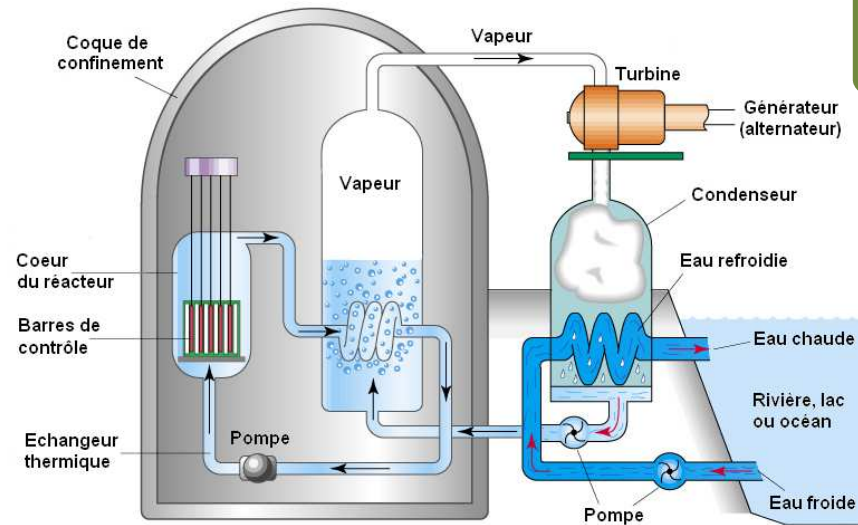


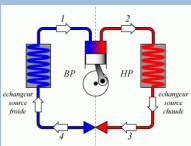
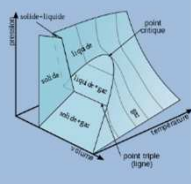
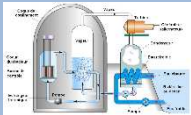
Centrale
nucléaire

Centrale
thermique

Centrale à vapeur

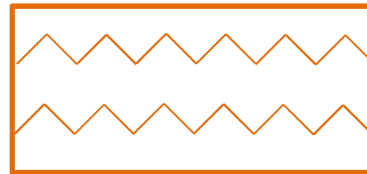
Poly – Fiche E3



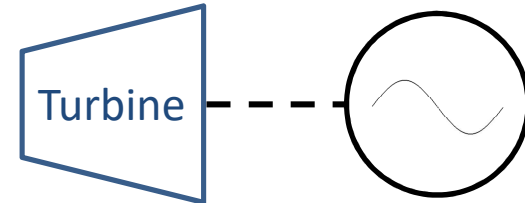


Centrale à vapeur

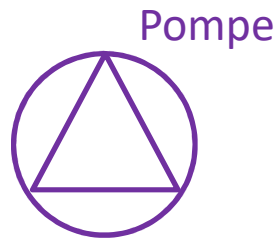
4 composants



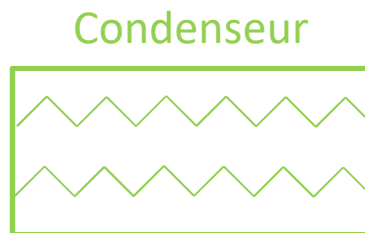
Chaudière



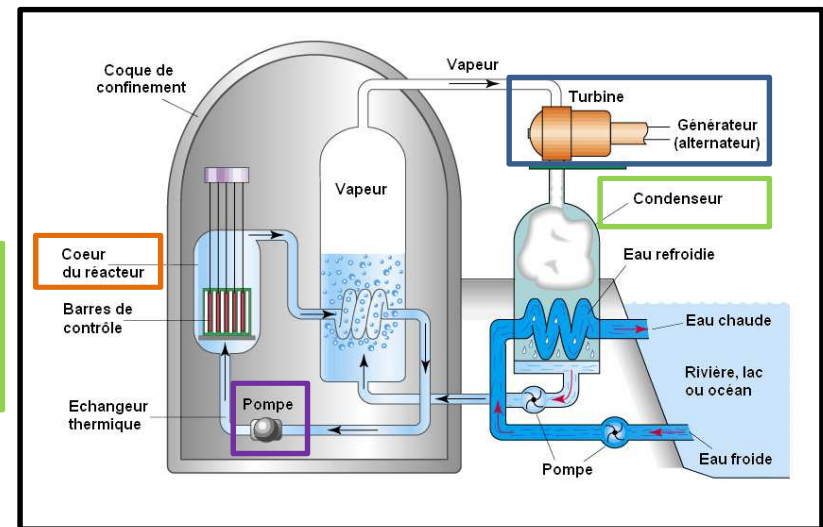
Générateur
électrique

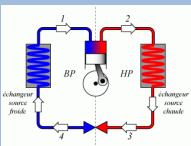
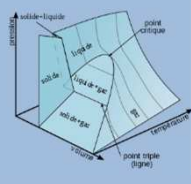
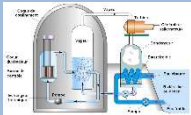


Pompe



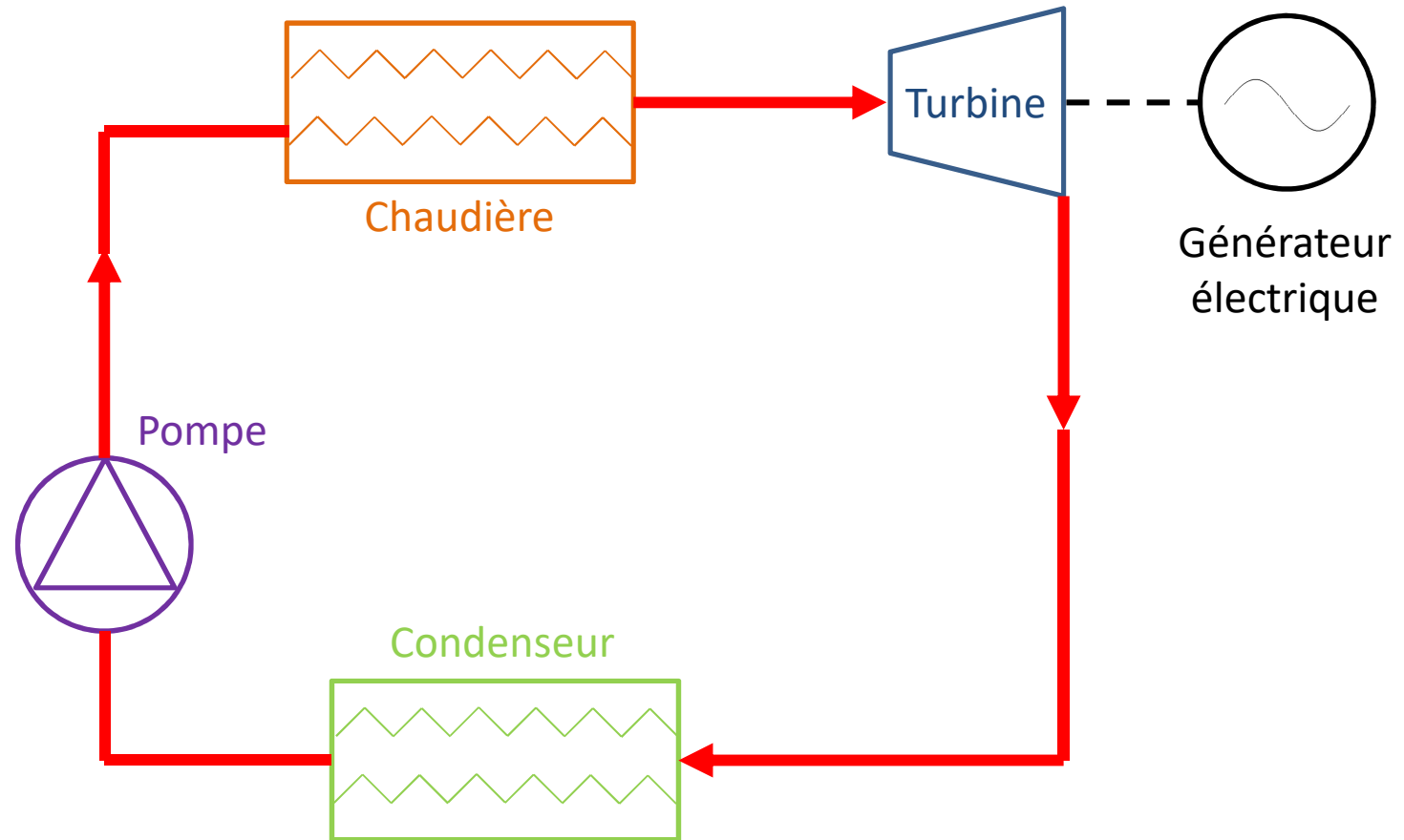
Condenseur

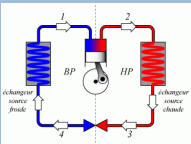
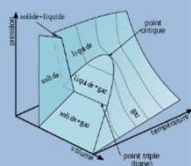
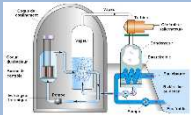




Centrale à vapeur

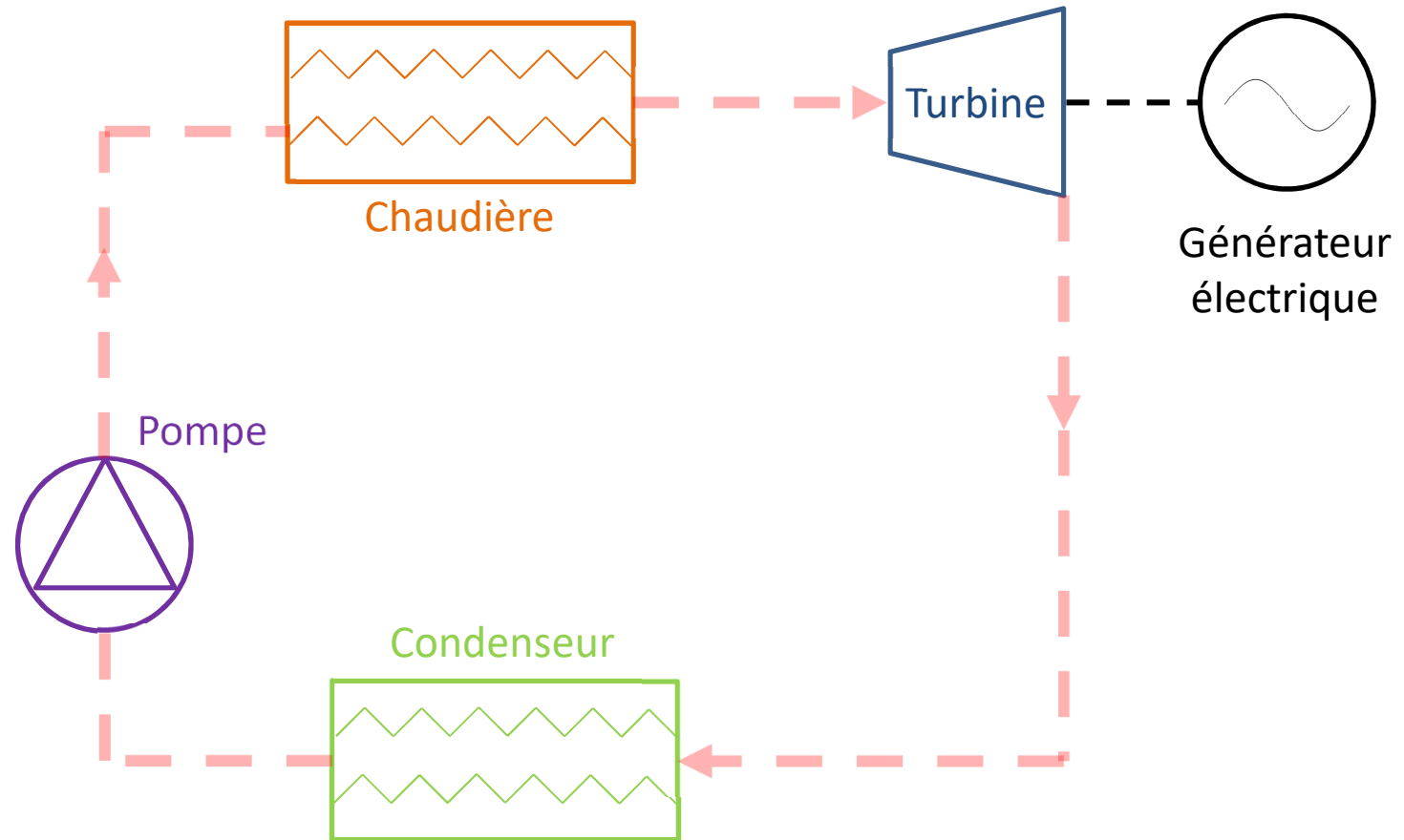
Fluide de travail = eau = **SYSTÈME σ**

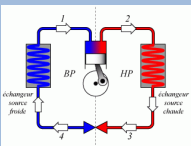
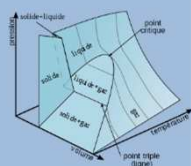
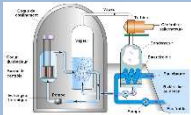




Centrale à vapeur

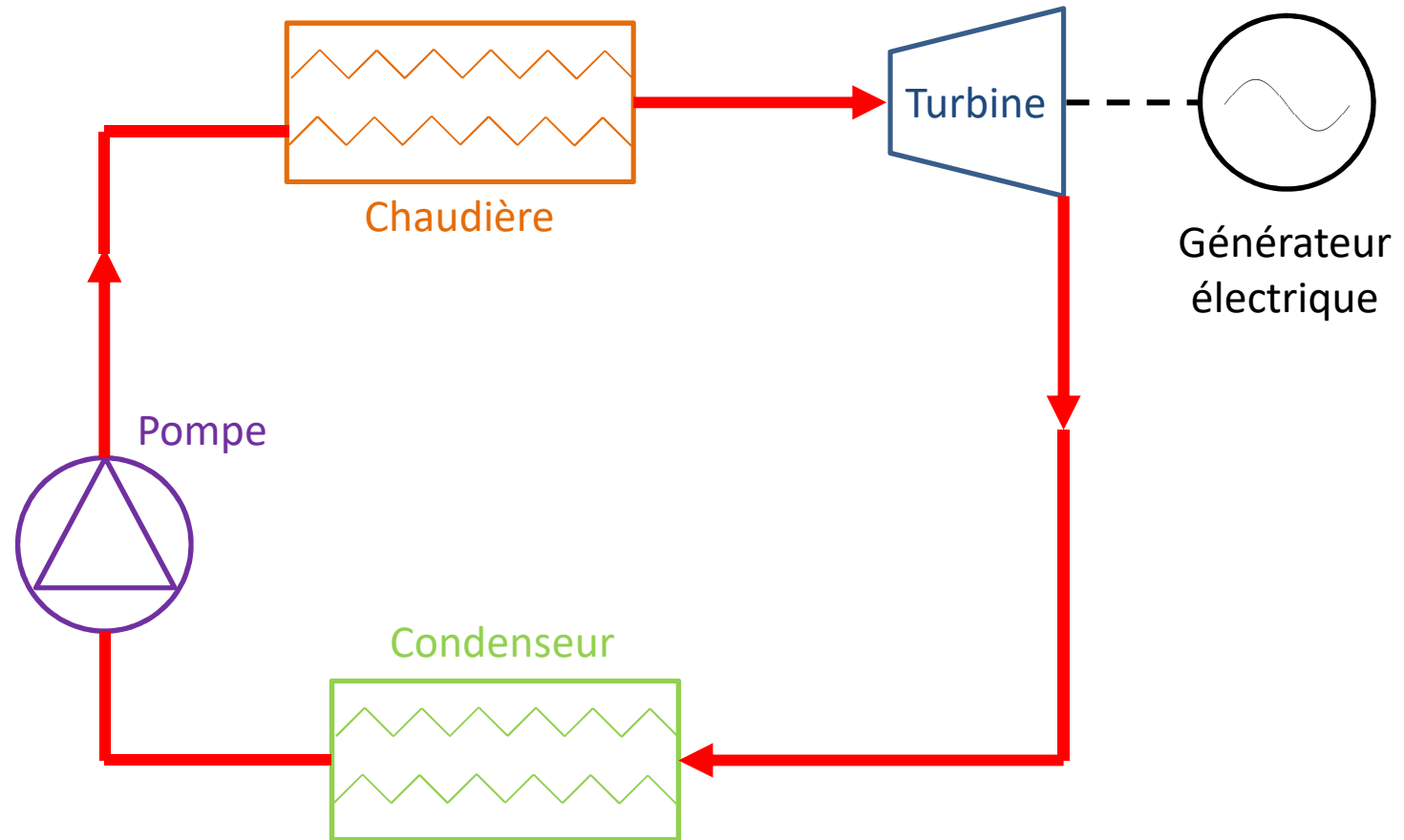
Tout ce qui n'est pas le système = **milieu extérieur σ_1**

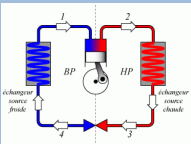
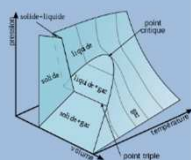
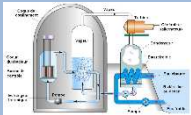




Centrale à vapeur

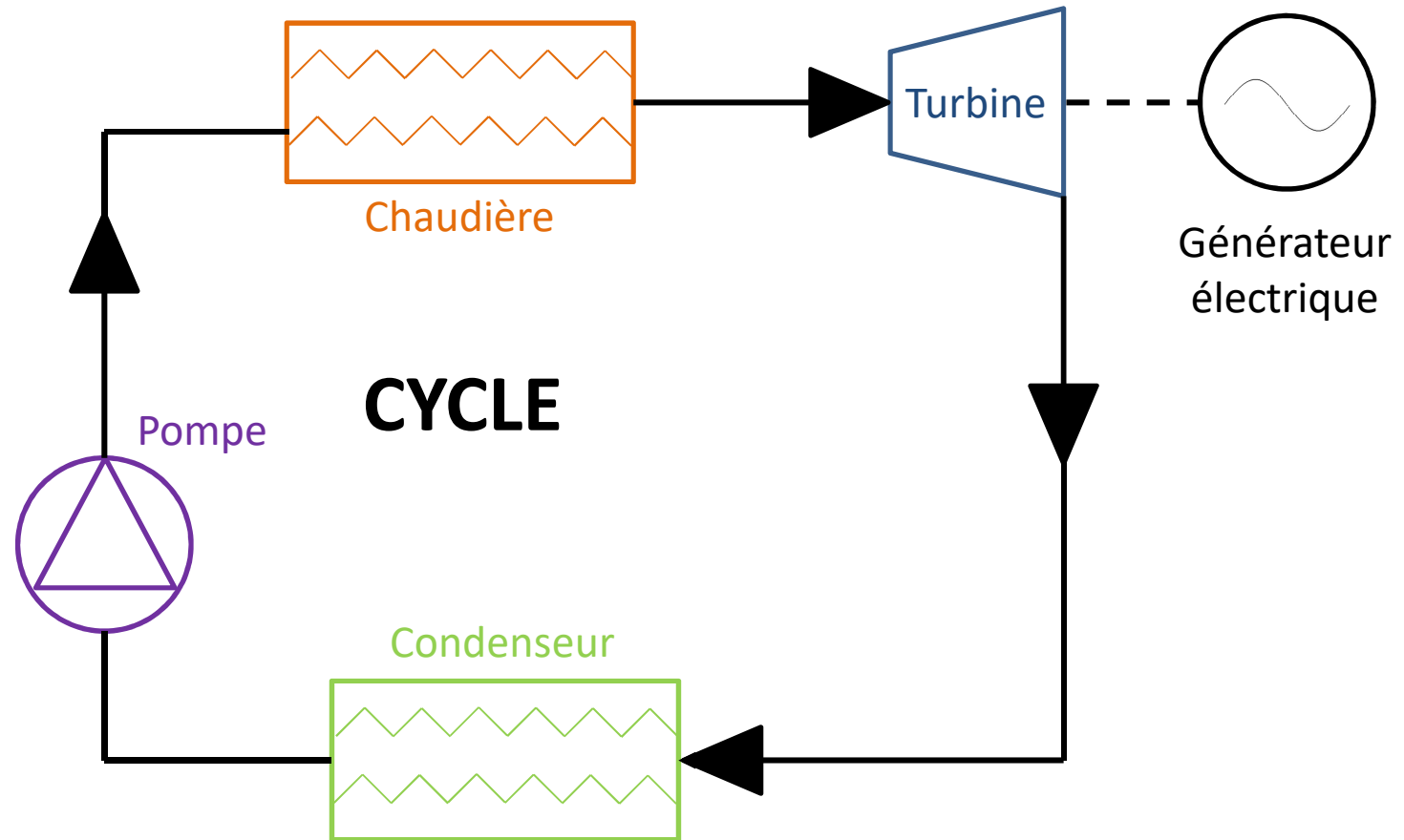
SYSTÈME σ + milieu extérieur $\sigma_1 = \text{UNIVERS}$

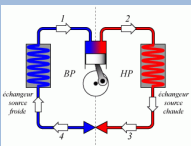
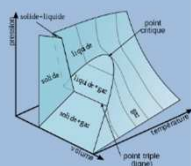
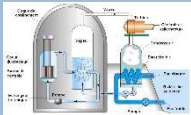




Centrale à vapeur

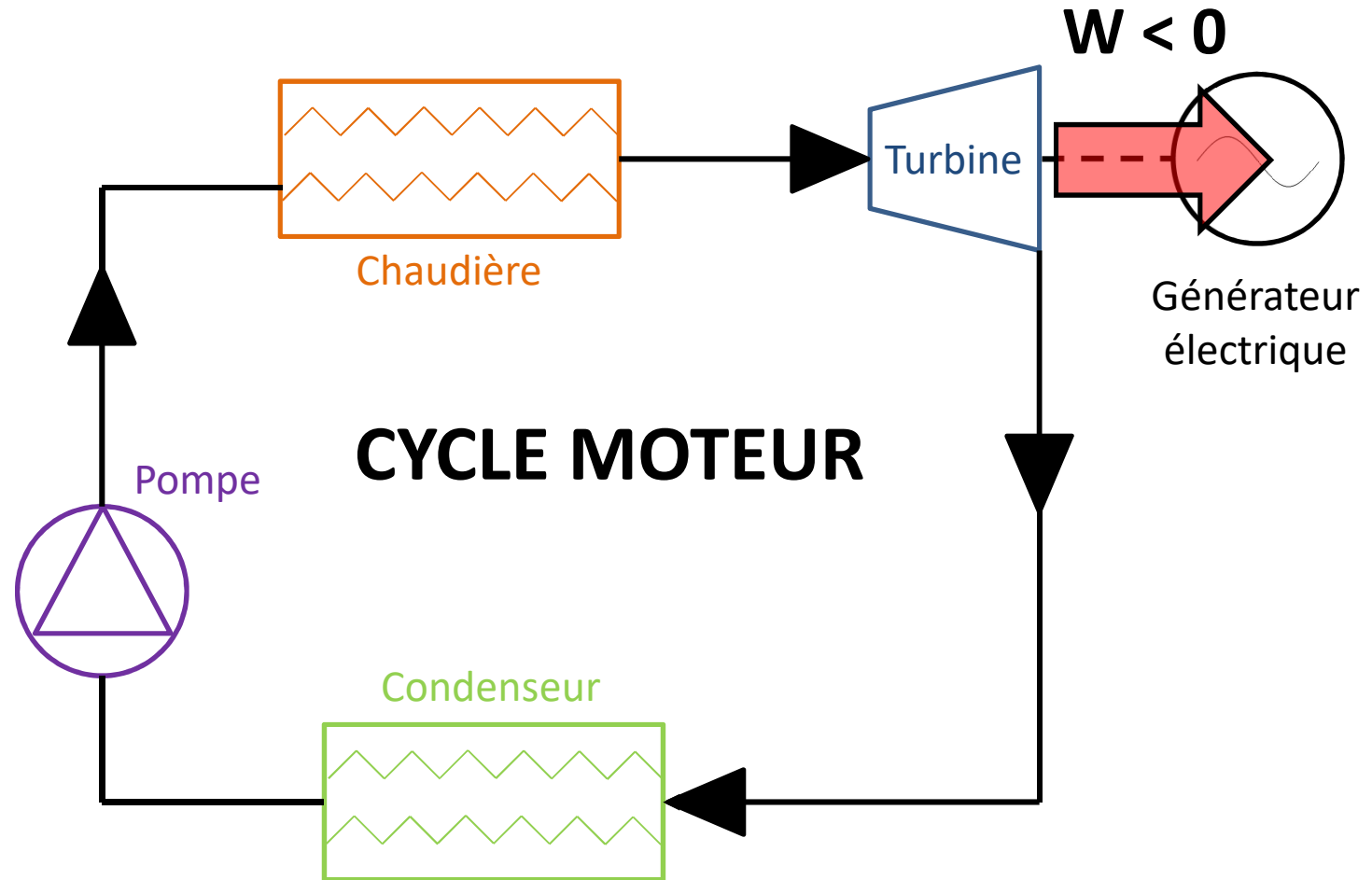
Fluide de travail = eau = SYSTEME

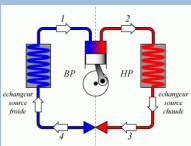
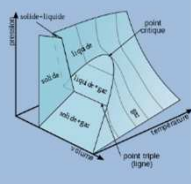
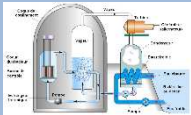




Centrale à vapeur

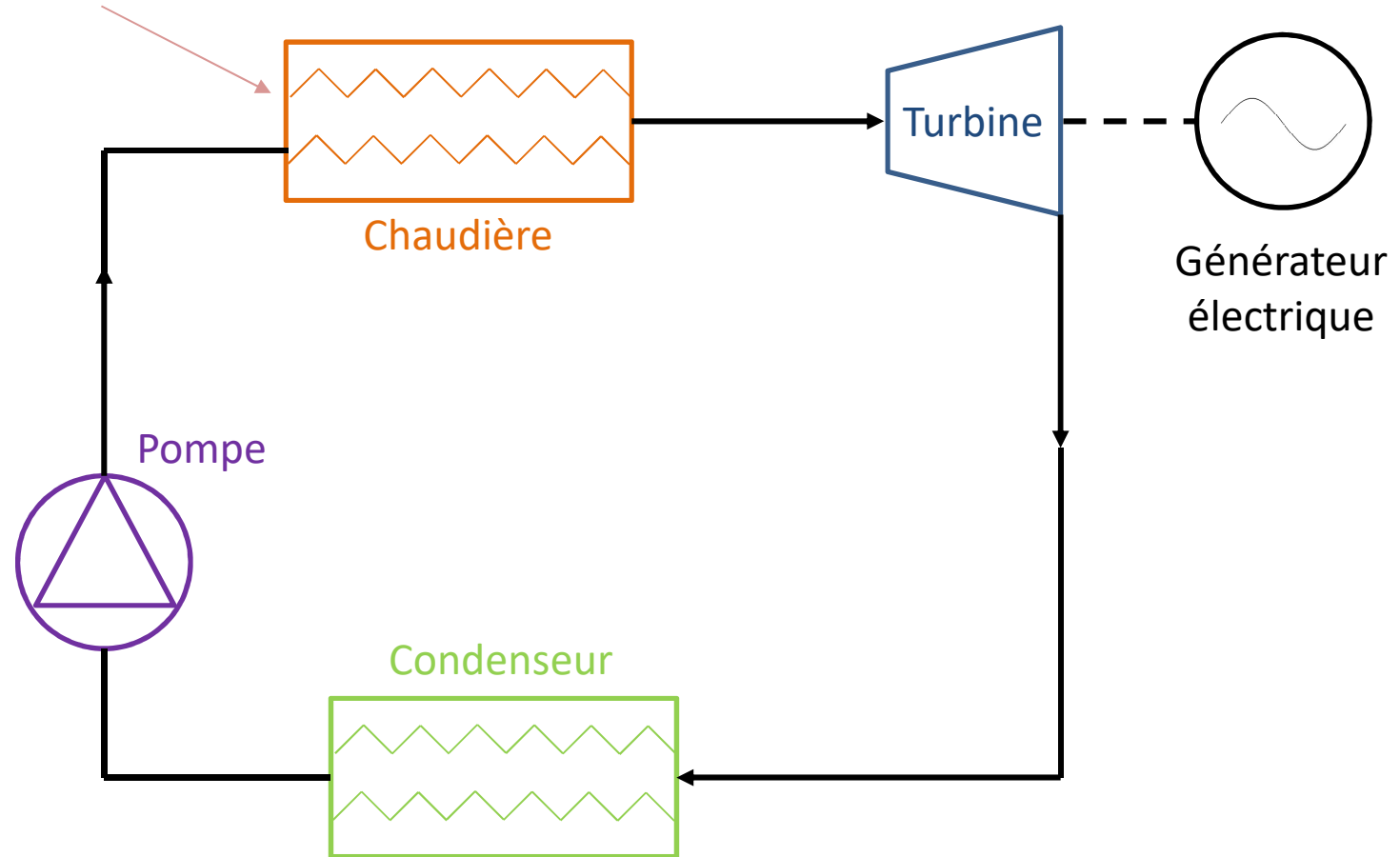
Fluide de travail = eau

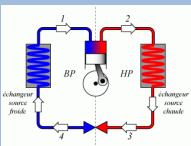
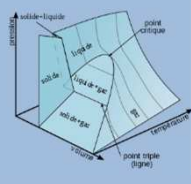
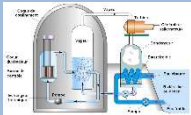




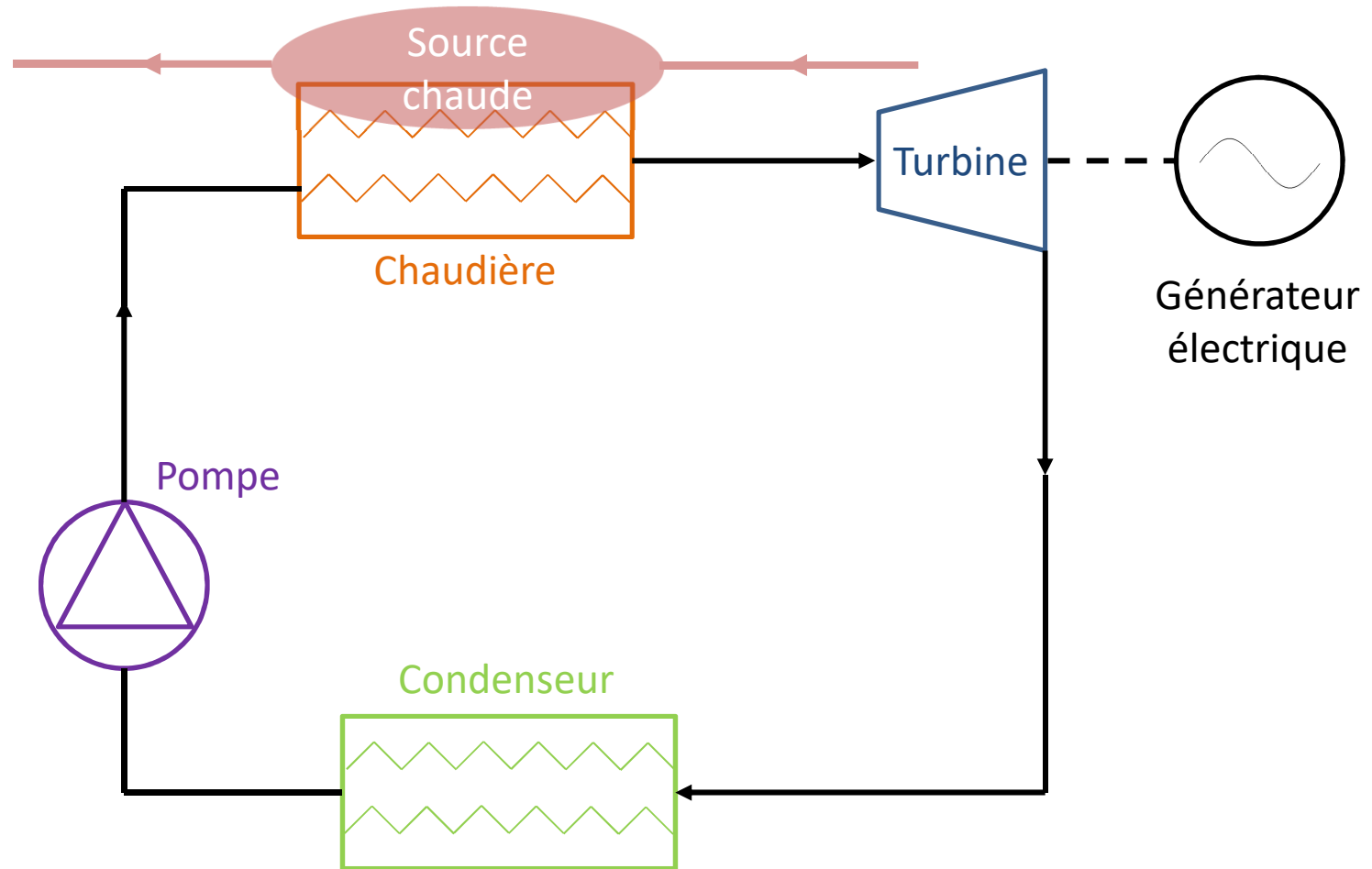
Centrale à vapeur

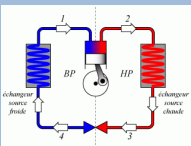
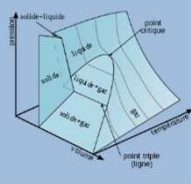
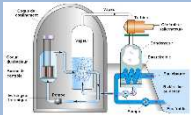
Énergie primaire :
nucléaire, fossile, biomasse, déchets ménagers, géothermie...



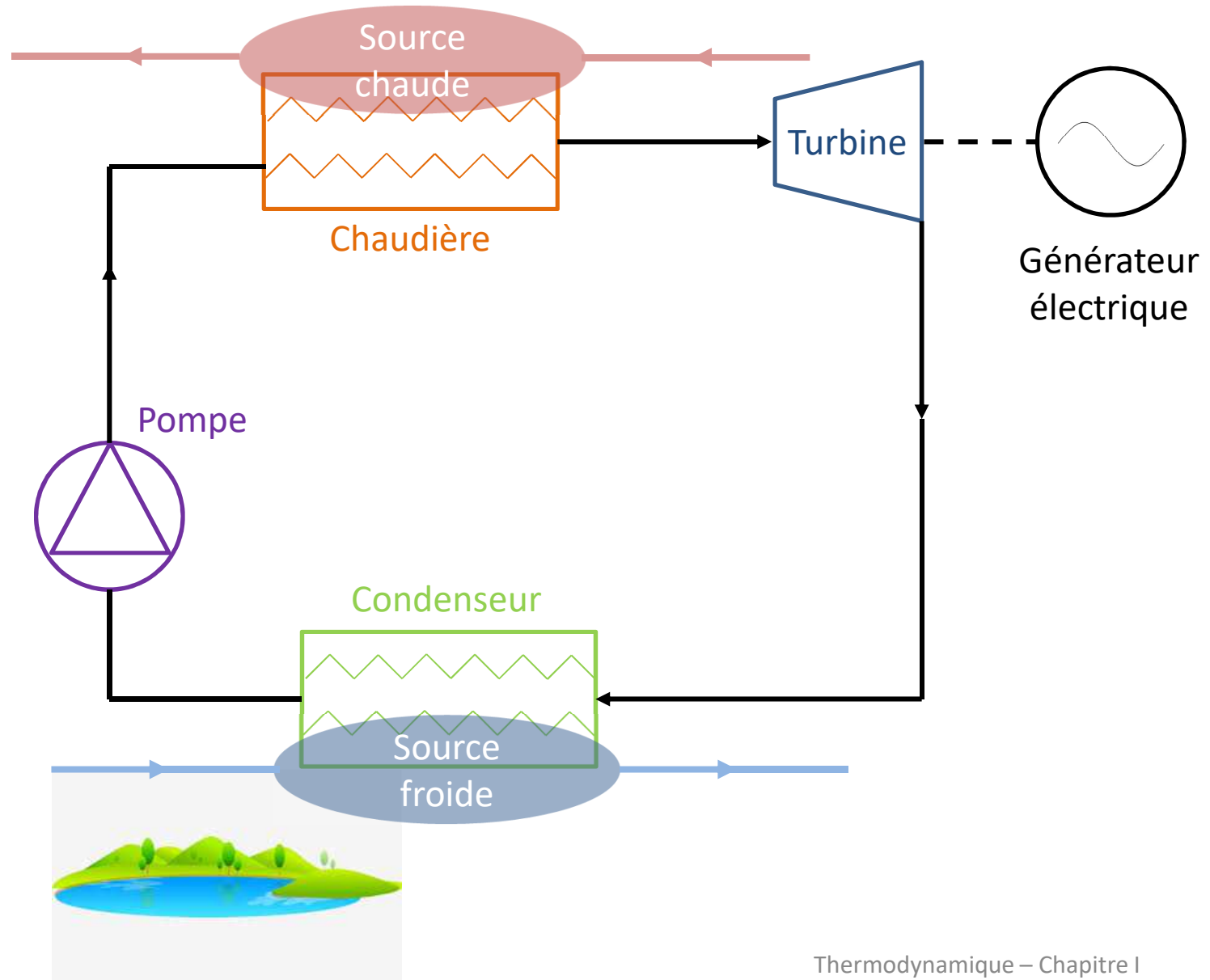


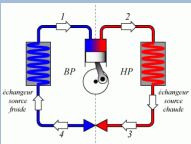
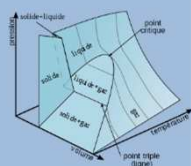
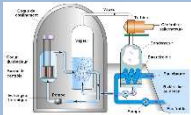
Centrale à vapeur



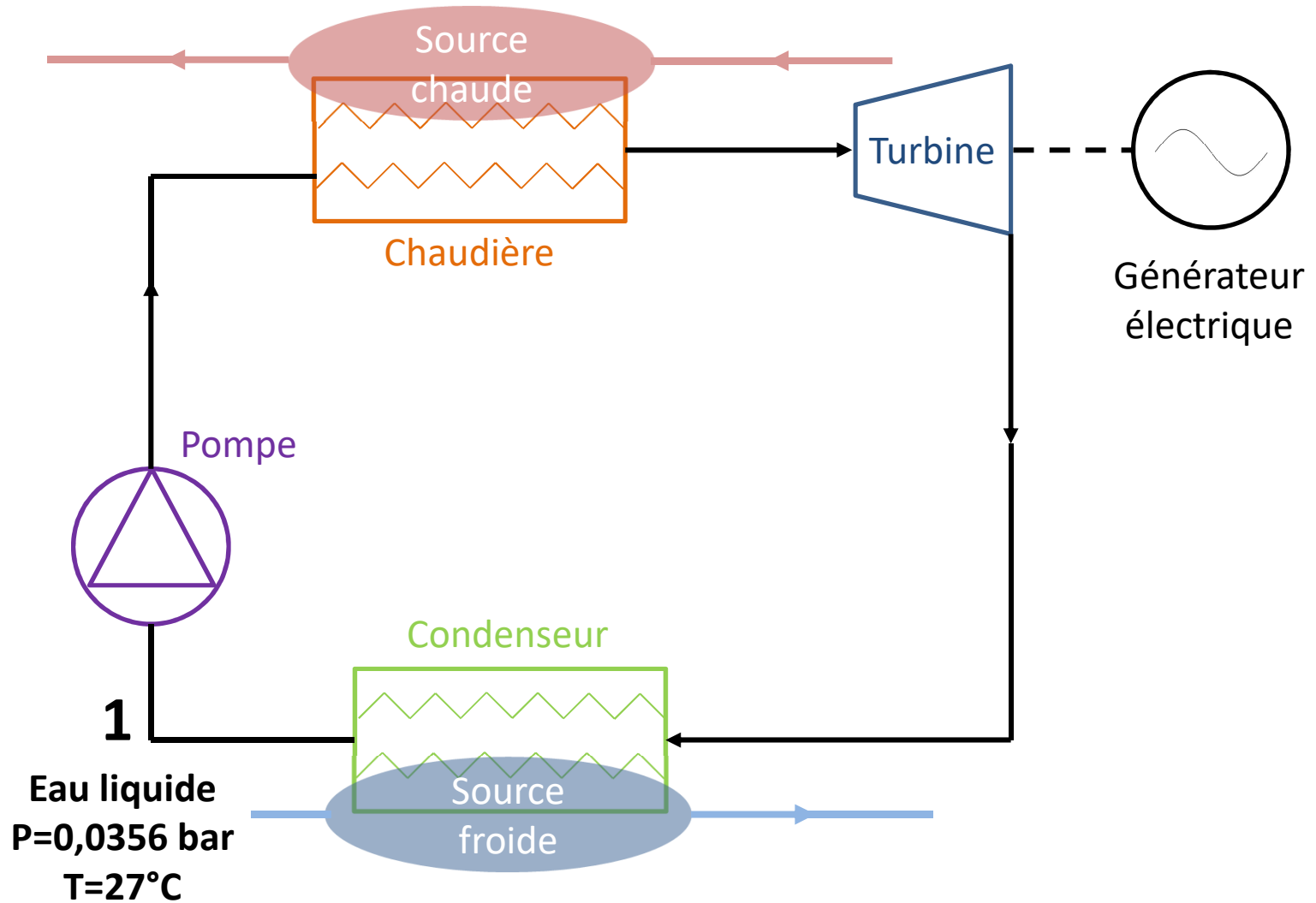


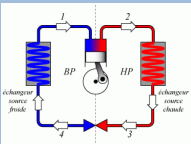
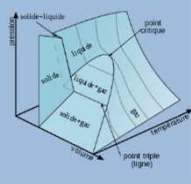
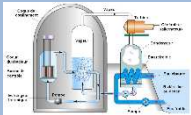
Centrale à vapeur



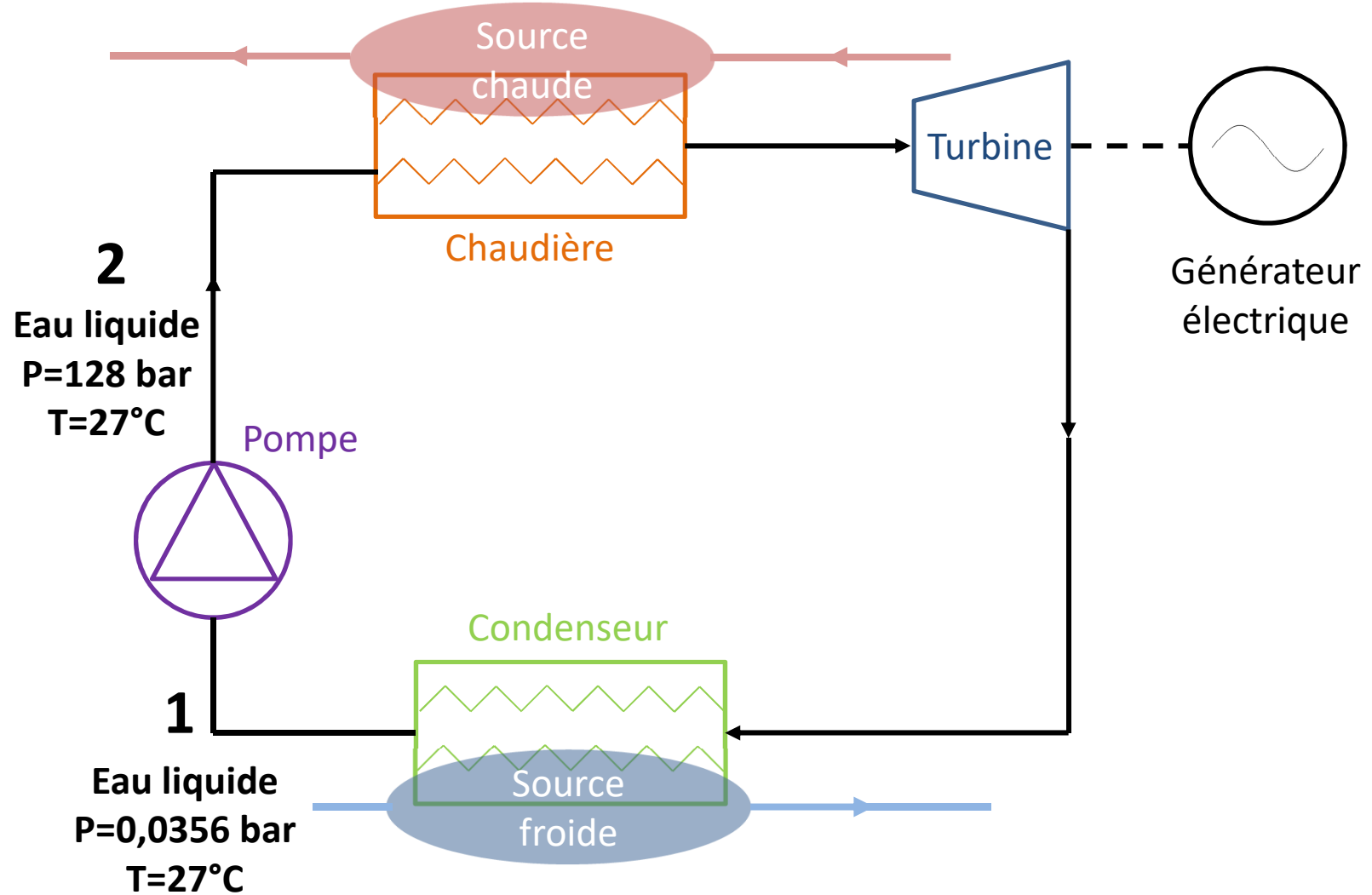


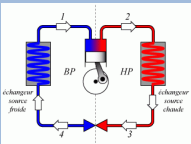
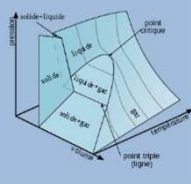
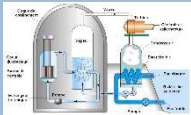
Centrale à vapeur



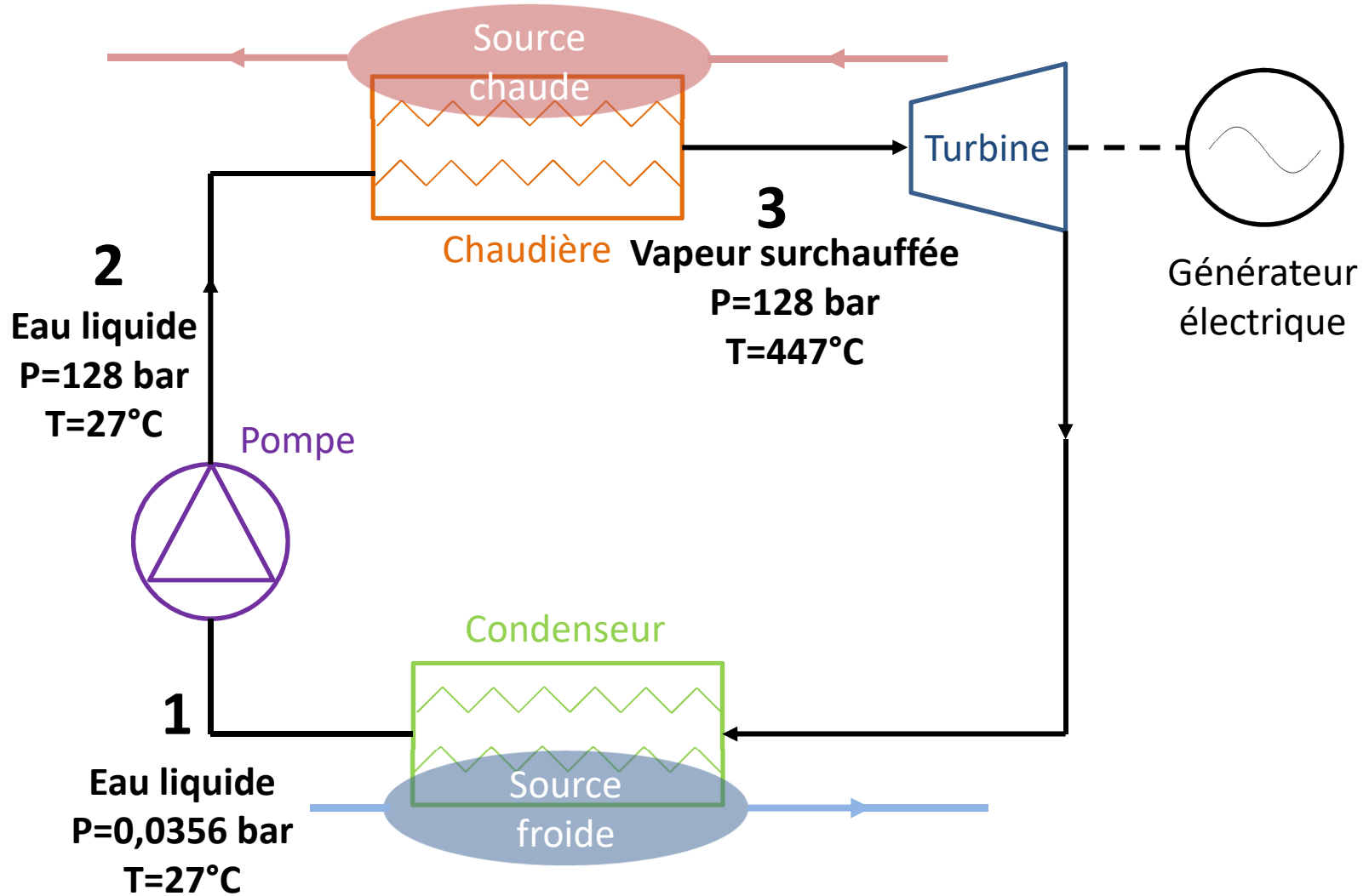


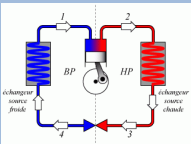
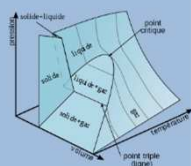
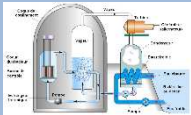
Centrale à vapeur



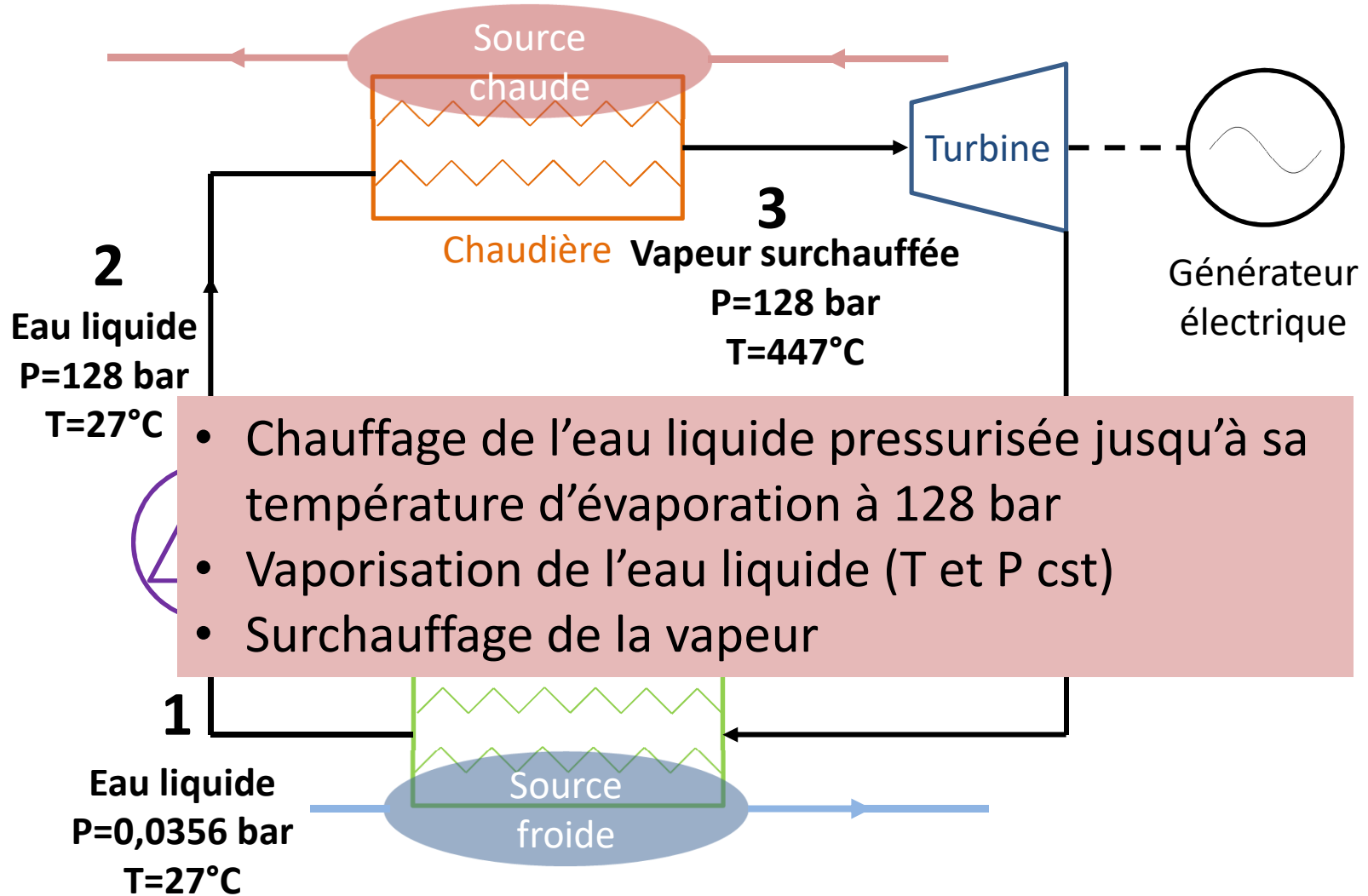


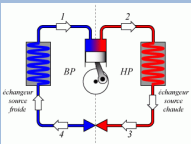
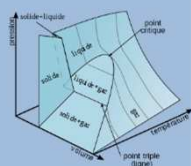
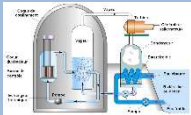
Centrale à vapeur



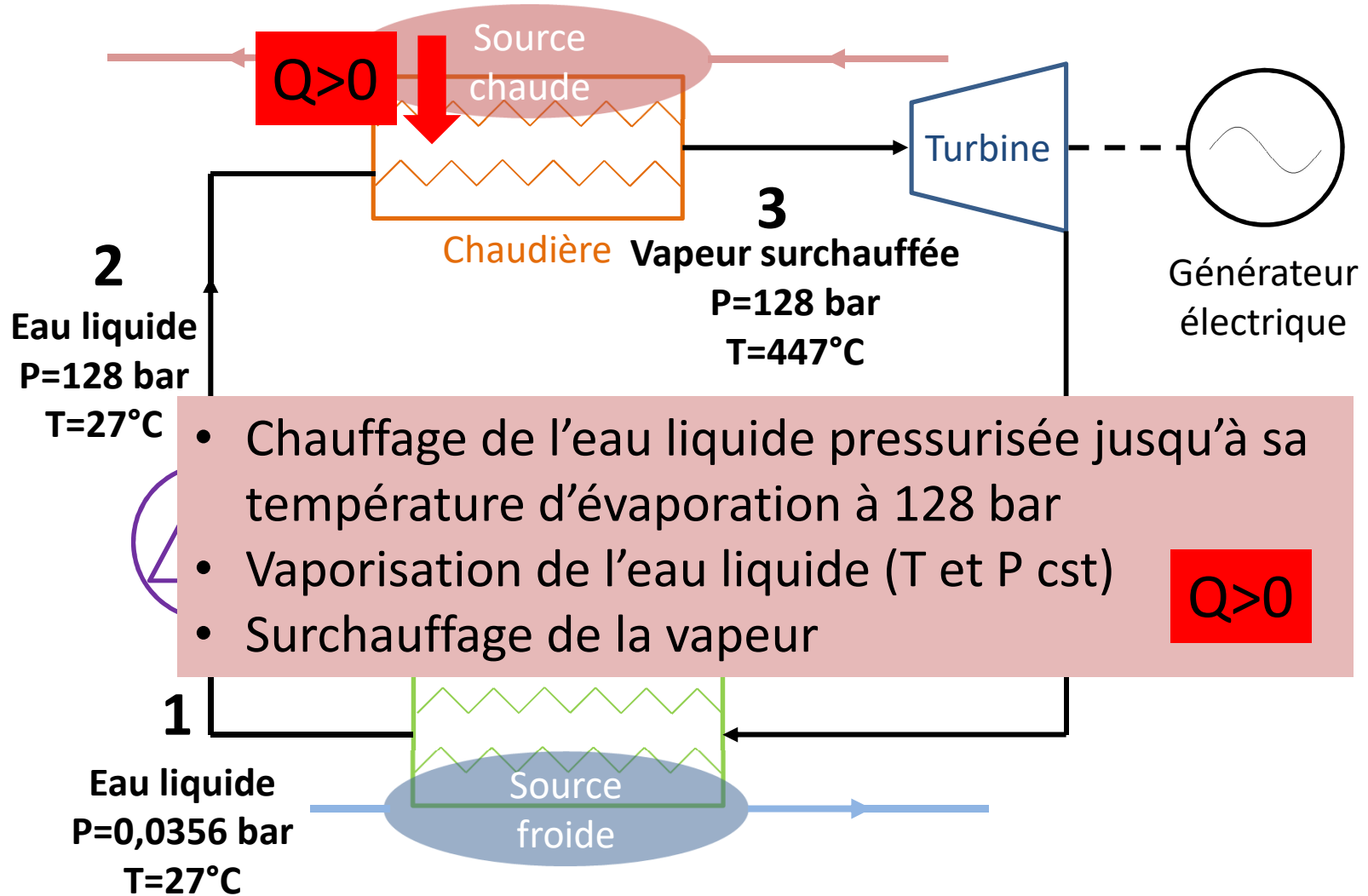


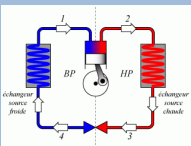
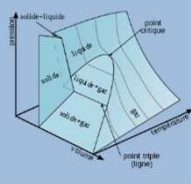
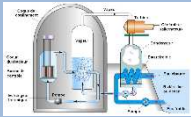
Centrale à vapeur



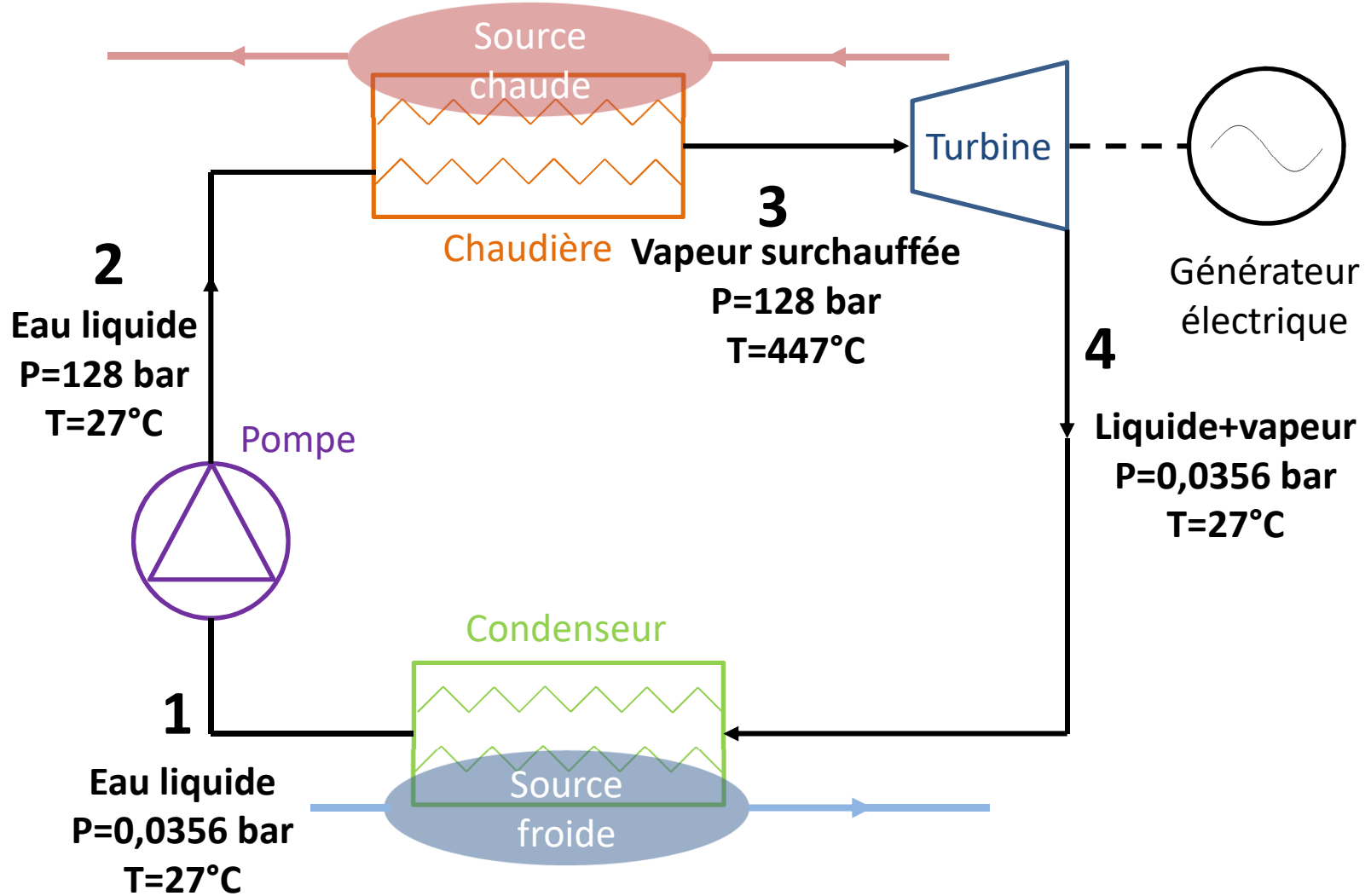


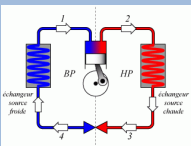
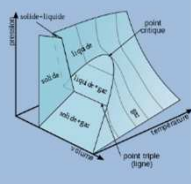
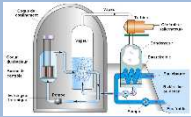
Centrale à vapeur



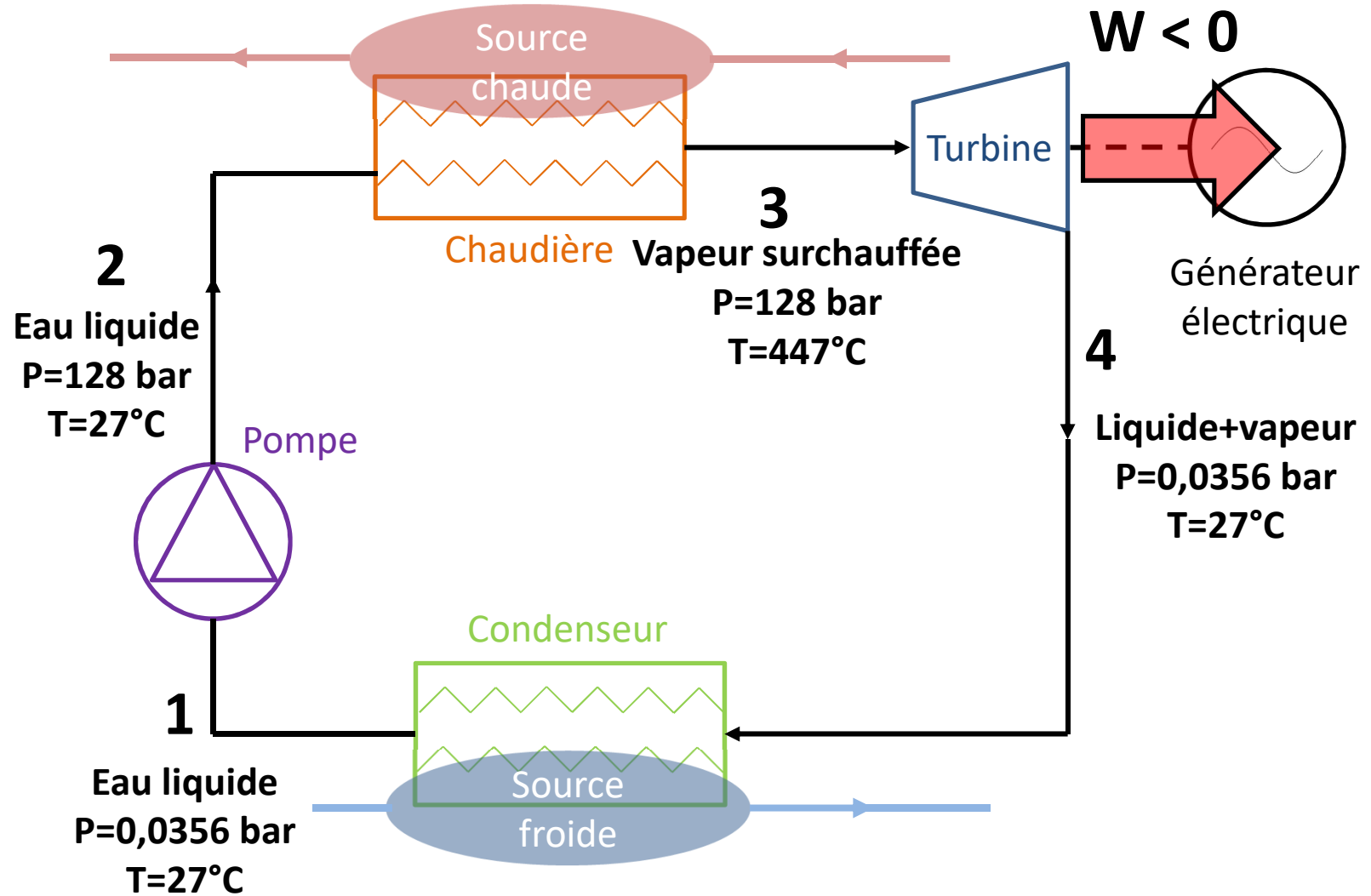


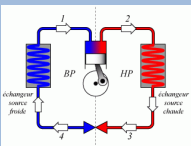
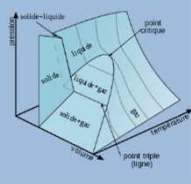
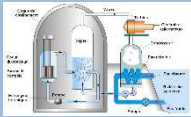
Centrale à vapeur



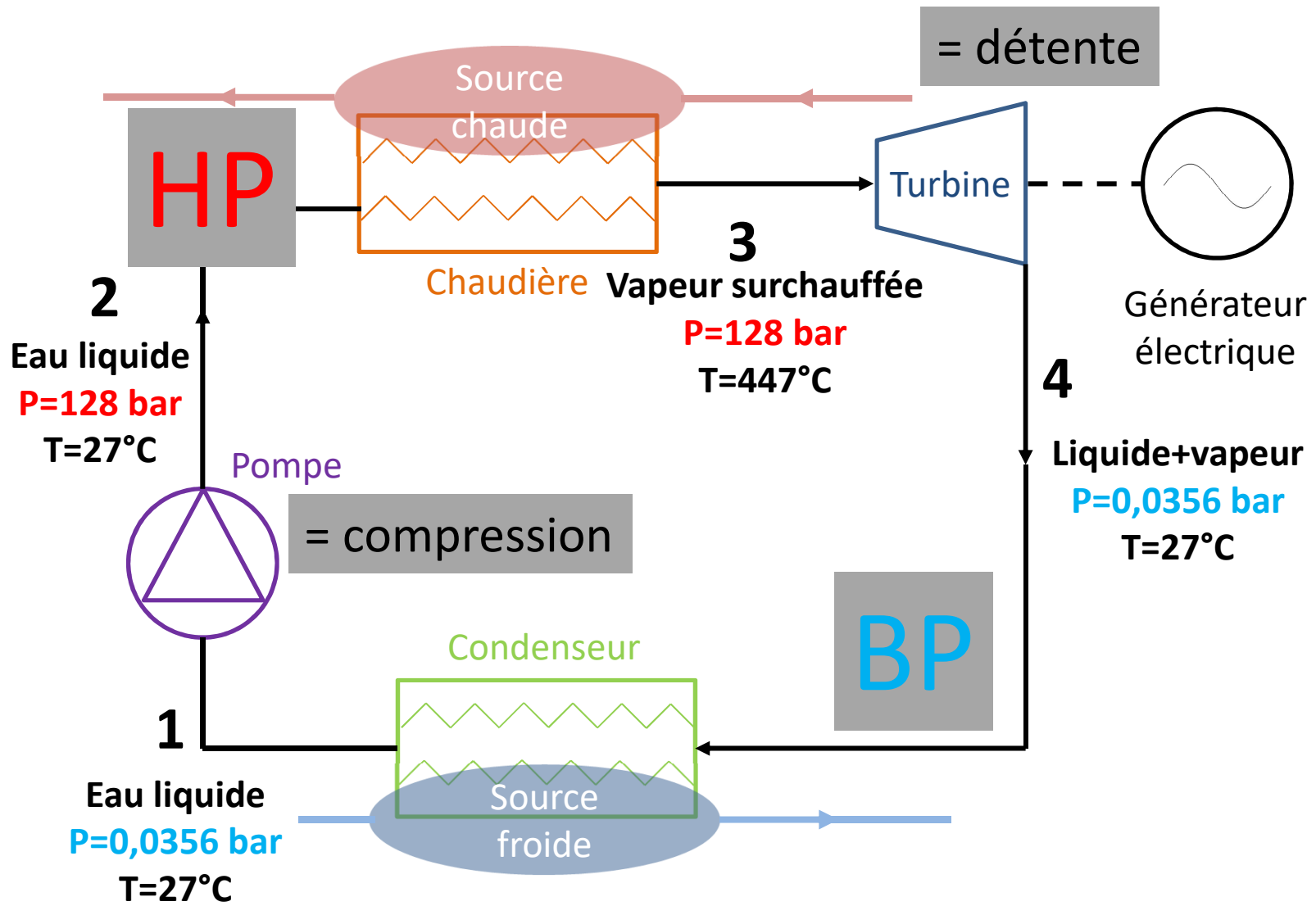


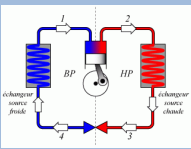
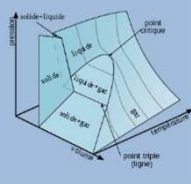
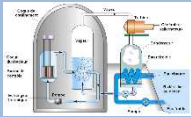
Centrale à vapeur



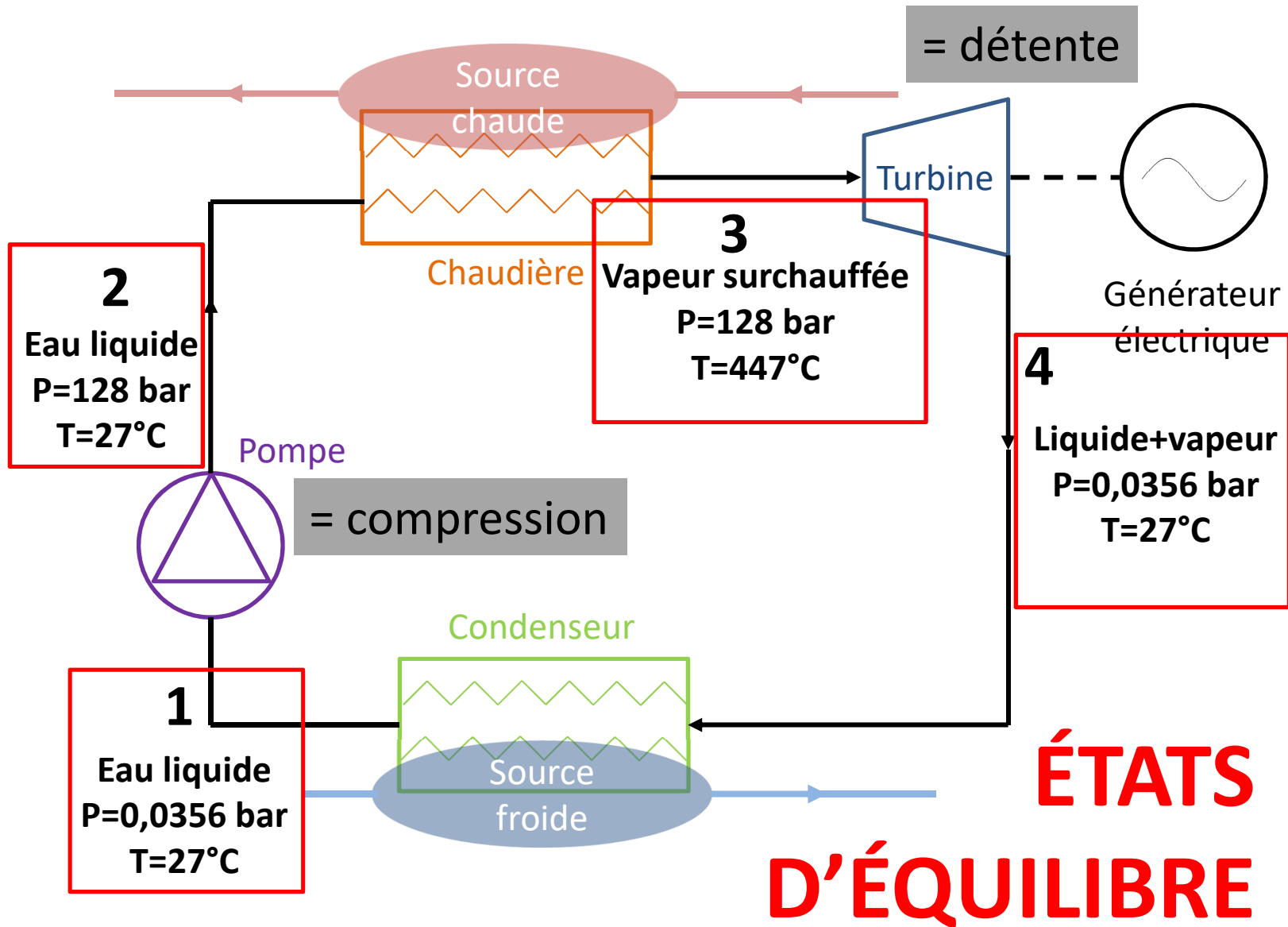


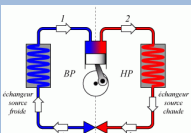
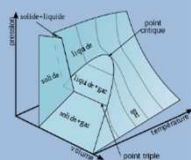
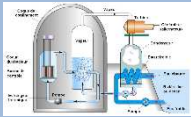
Centrale à vapeur



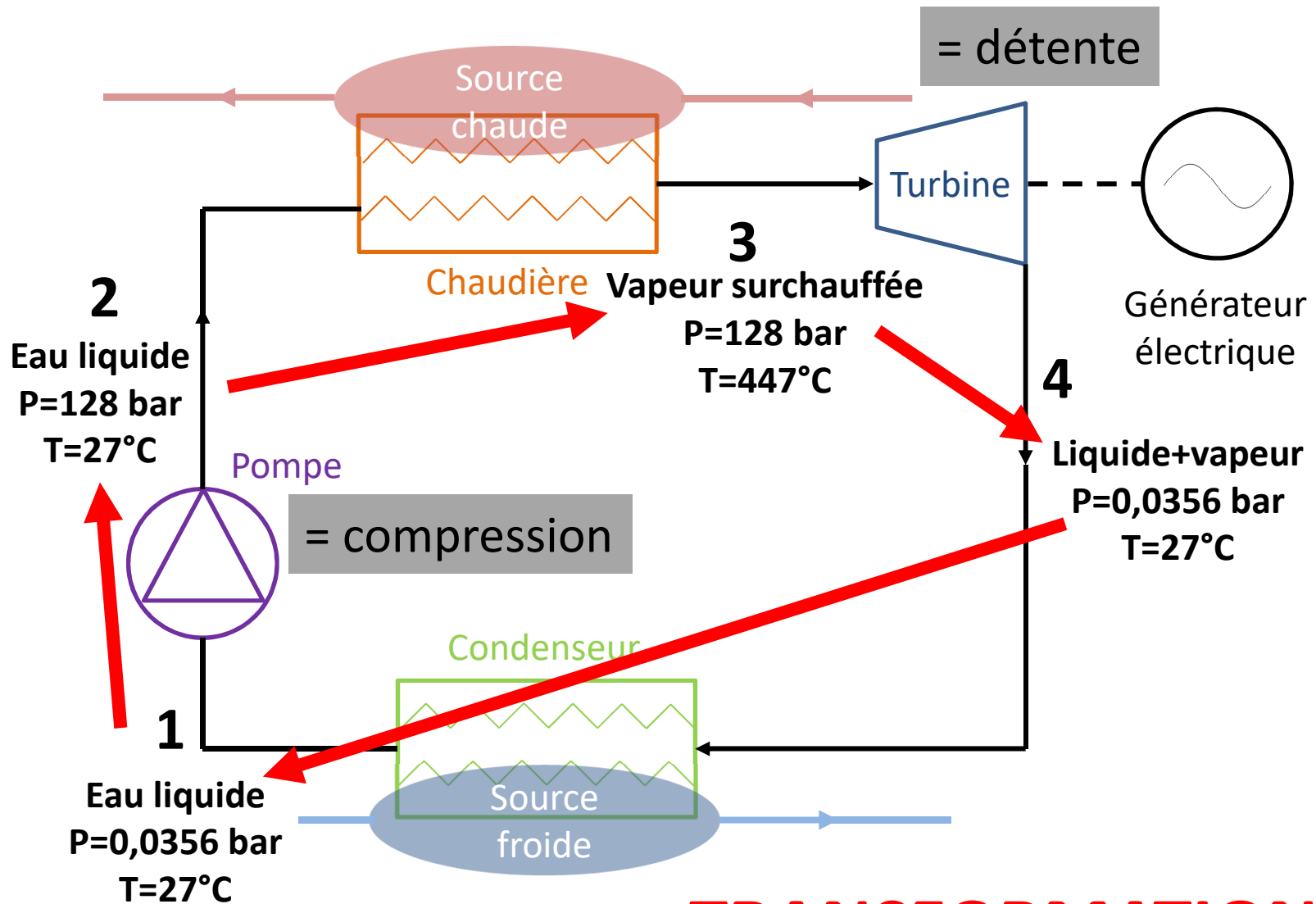


Centrale à vapeur

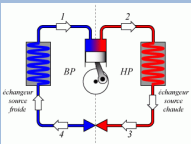
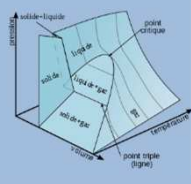
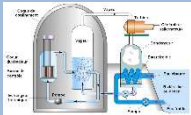




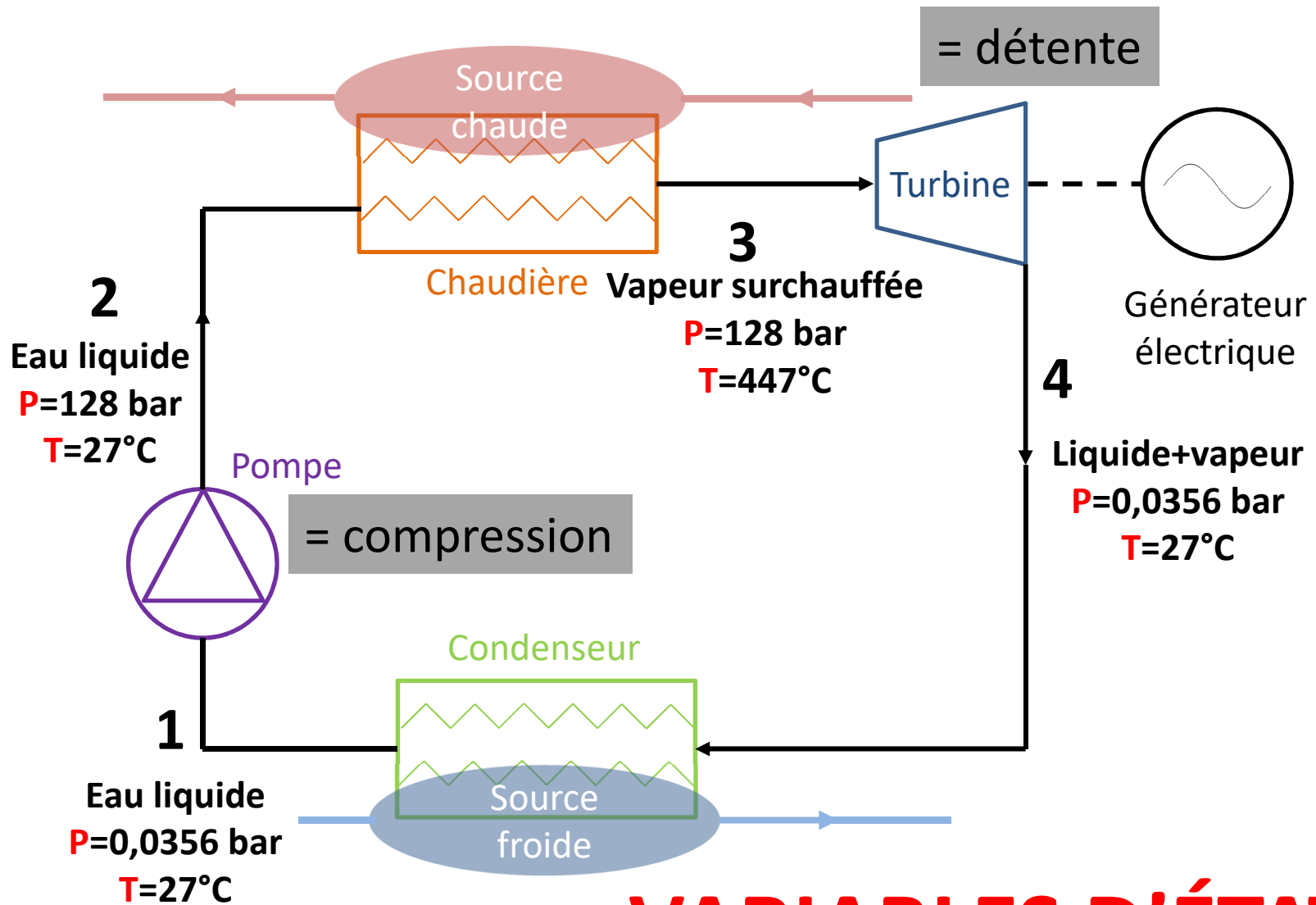
Centrale à vapeur



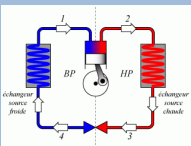
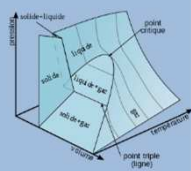
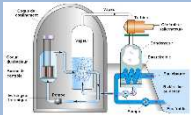
TRANSFORMATIONS



Centrale à vapeur

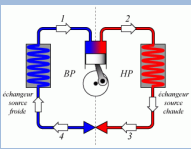
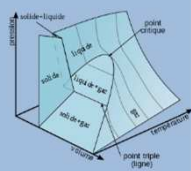
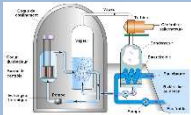


VARIABLES D'ÉTAT



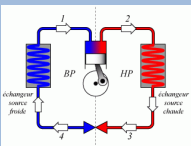
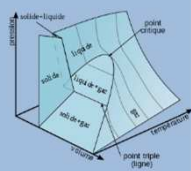
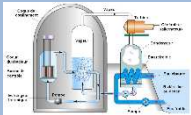
Machine frigorifique

Vidéo disponible sur Moodle



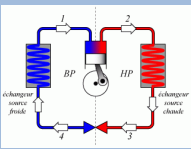
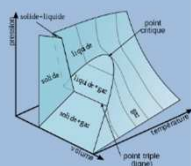
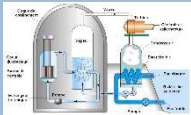
Généralisation Définitions

Poly – Fiches O2 O3



Bilan des notions introduites

- ❖ Énergie primaire vs. énergie finale, notion de rendement
- ❖ Énergie utile = chaleur et travail
- ❖ Énoncés du 1^{er} et du 2nd principes de la thermodynamique
- ❖ Différents états physique, changements d'état physique, chaleurs associées
- ❖ P et T constants lors d'un changement d'état
- ❖ Notion de source
- ❖ Système, milieu extérieur, univers
- ❖ États du système, variables d'état

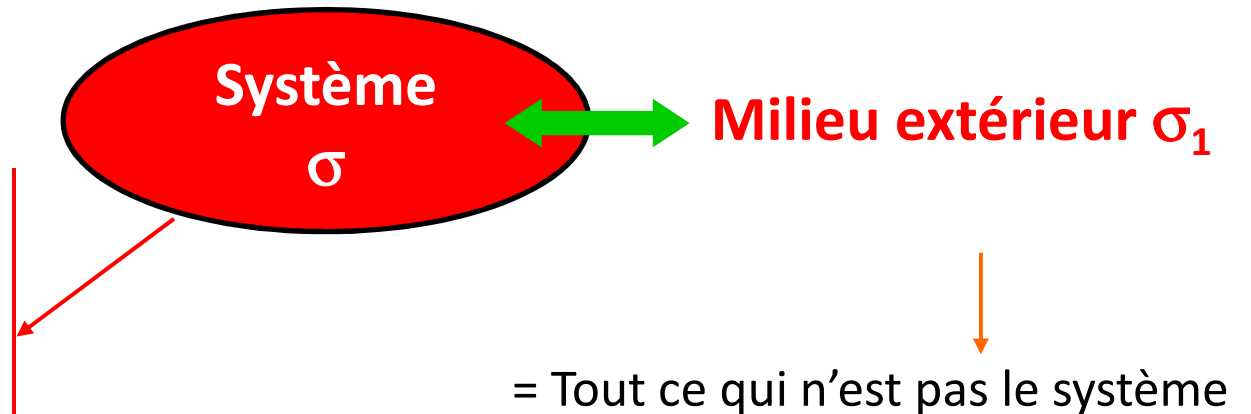


Généralisation Système, milieu extérieur

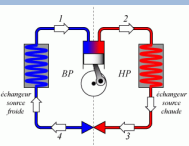
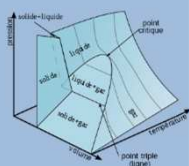
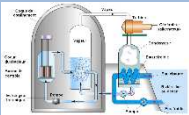
- ❖ La Thermodynamique « classique » est la science qui étudie :
 - {quoi ?} les transferts d'énergie et de matière entre
 - {qui ?} des systèmes macroscopiques et le milieu extérieur (environnement)

Système = ensemble de choses que l'on choisit de séparer du reste par la pensée

- Défini par :
 - des constituants
 - une frontière
- Soumis à des conditions : T, P



Système σ + milieu extérieur σ_1 = **univers**



Généralisation

Echanges σ/σ_1 , conventions de signe

➔ Le système σ et le milieu extérieur σ_1 échangent :

- de la matière ➔
- de l'énergie ➔ travail (W)
➔ chaleur (Q)

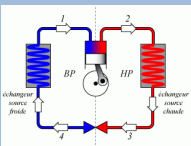
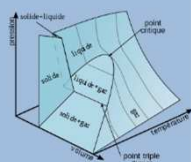
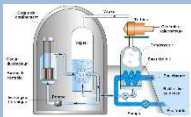


➔ Convention du banquier

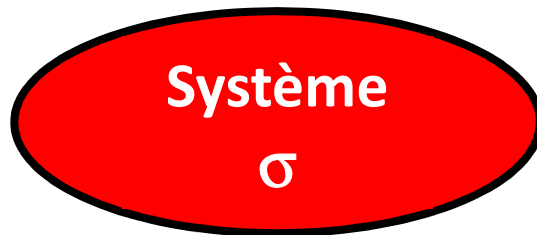
- Ce qui entre dans le système est compté positivement
- Ce qui sort du le système est compté négativement



Chaleur reçue par σ : $Q > 0$, travail reçu par σ : $W > 0$
 Chaleur cédée par σ : $Q < 0$, travail fourni par σ : $W < 0$

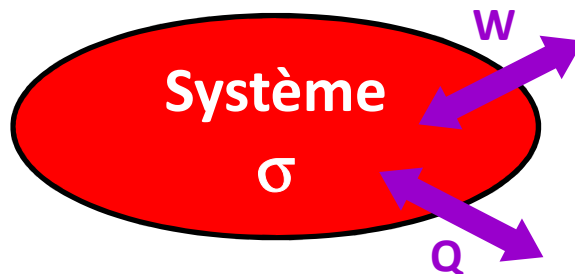


Echanges σ/σ_1 , type de système



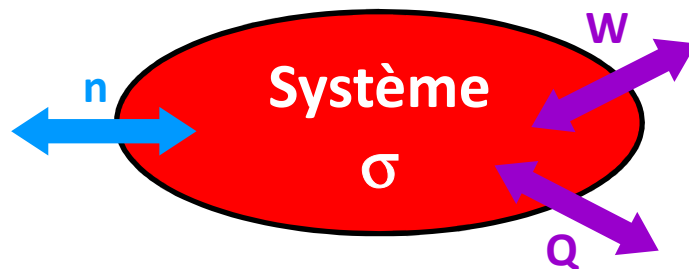
Aucun échange
avec l'extérieur

➔ **Système isolé**



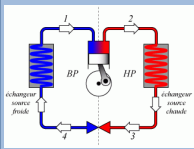
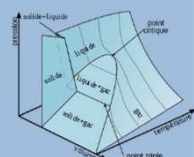
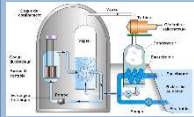
Échange d'énergie
avec l'extérieur

➔ **Système fermé**
(pas d'échange de
matière)

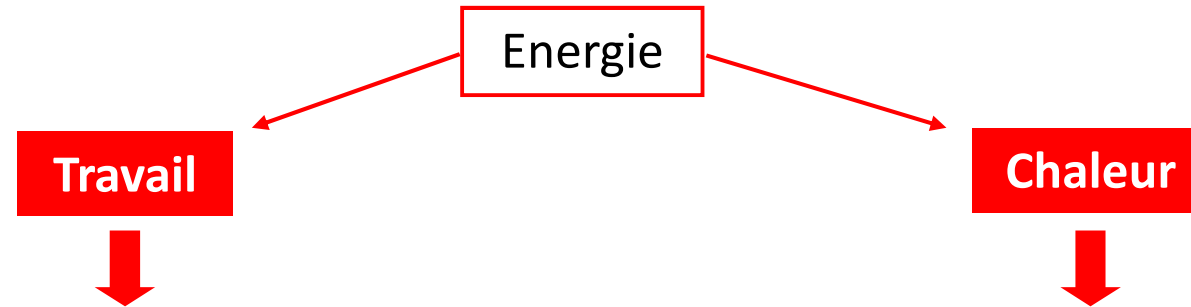


Échange d'énergie et
de matière
avec l'extérieur

➔ **Système ouvert**



Echanges σ/σ_1 , W et Q



On considère uniquement les **forces extérieures** au système

- **Travail mécanique** : forces mécaniques et de pression
- Autres travaux : forces électriques, magnétiques...

Seul à intervenir dans les systèmes thermoélastiques

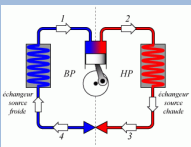
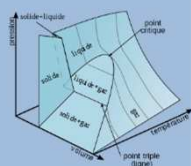
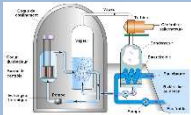
A condition que le système ne soit pas isolé thermiquement

Ou que la transformation ne soit pas trop rapide pour que des échanges de chaleur ne se fassent

- Système isolé thermiquement : conditions **adiabatiques**, $Q_{\sigma/\sigma_1} = 0$

Transformation trop rapide:

$$Q_{\sigma/\sigma_1} = 0$$



Variables d'état

➔ La thermodynamique s'intéresse aux échanges d'énergie entre le système et le milieu extérieur lors de son évolution entre deux états d'équilibre

↓
description

↓
= transformation

➔ **Décrire** l'état d'un système, c'est préciser la valeur d'un minimum de grandeurs macroscopiques aisément mesurables : **les variables d'état**
Nombre minimum ➔ variables d'états indépendantes

➔ Un système est en équilibre (interne) lorsque les valeurs des variables d'état qui le caractérisent sont uniformes et constantes.

