

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

C. Voyant

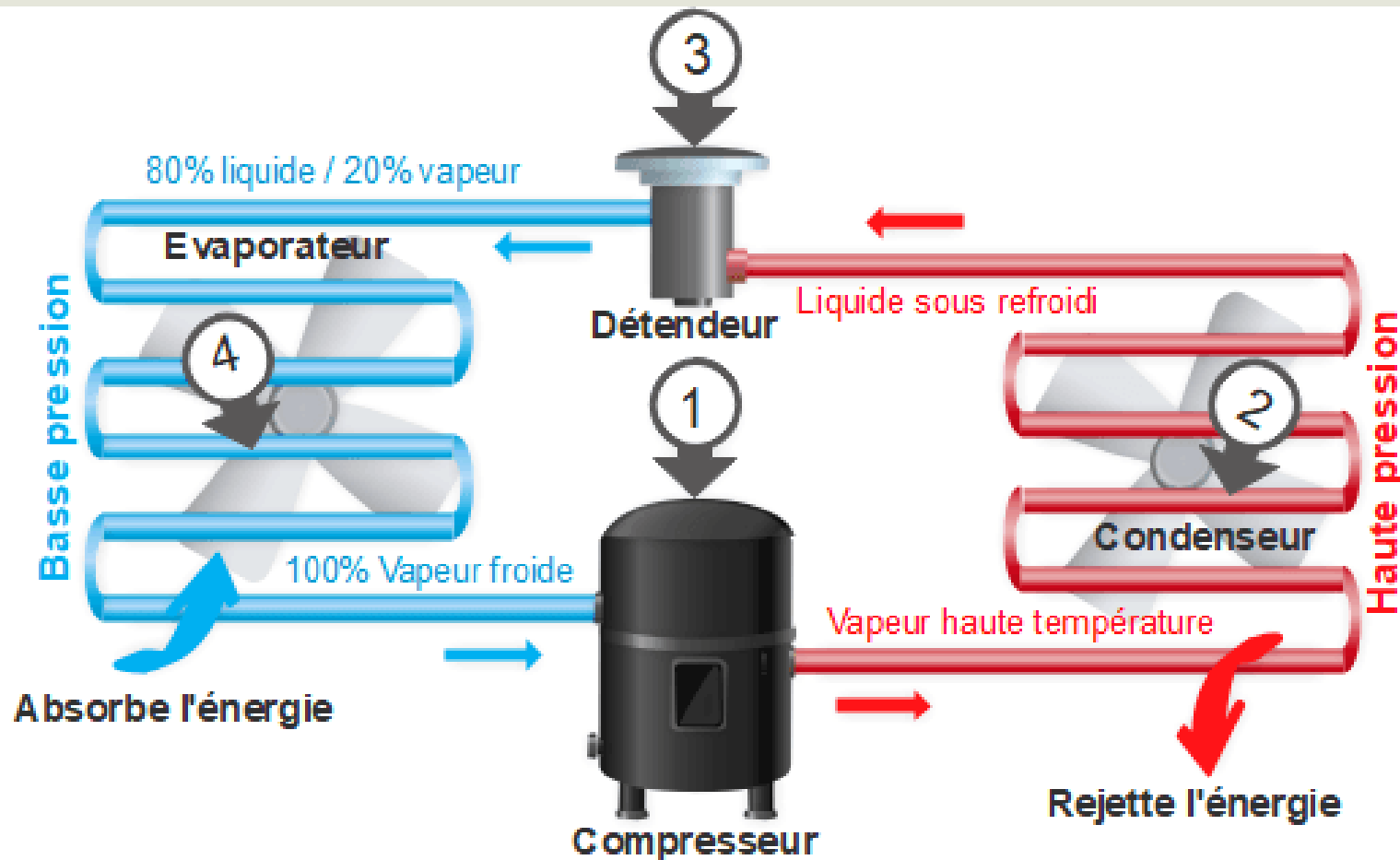
2023/2024



5 LES CYCLES FRIGORIFIQUES

1. Principe de fonctionnement

1. Fonctionnement en 4 étapes

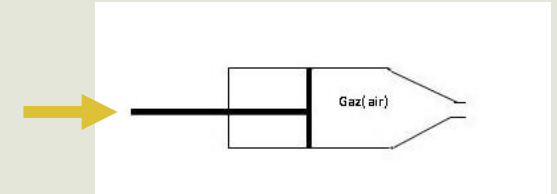


- 1 Compression
- 2 Condensation
- 3 Détente
- 4 Evaporation

1.Fonctionnement en 4 étapes

1:Compression:

Le compresseur aspire le fluide à basse pression et à basse température, l'énergie mécanique de la compression va permettre une élévation de la pression et de la température. La différence de pression va permettre au fluide de circuler dans le circuit frigorifique. Ici le fluide est à l'état gazeux.



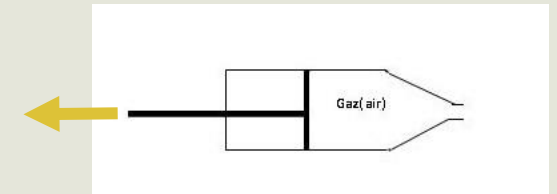
2:Condensation:

Les gaz chauds haute pression et haute température venant du compresseur se dirigent vers le condenseur, le condenseur est un échangeur qui va permettre au fluide de se condenser par échange avec un fluide extérieur (l'eau, l'air..) à température et pression constante, c'est la phase de condensation, la vapeur se transforme progressivement en liquide.



3:Détente:

Le liquide sous refroidi est vaporisé partiellement par abaissement brusque de la pression au passage de l'orifice calibrée du détendeur. Il assure la modulation du débit du fluide dans l'évaporateur.



4:Évaporation:

L'évaporateur est lui aussi un échangeur de chaleur, le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition ou évaporation dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur, (l'eau, l'air..) c'est la phase d'évaporation (changement d'état liquide /vapeur). Le fluide est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.



1. Les états du fluide frigorigère

8 - Sortie détenteur (État du fluide : Liquide BP)

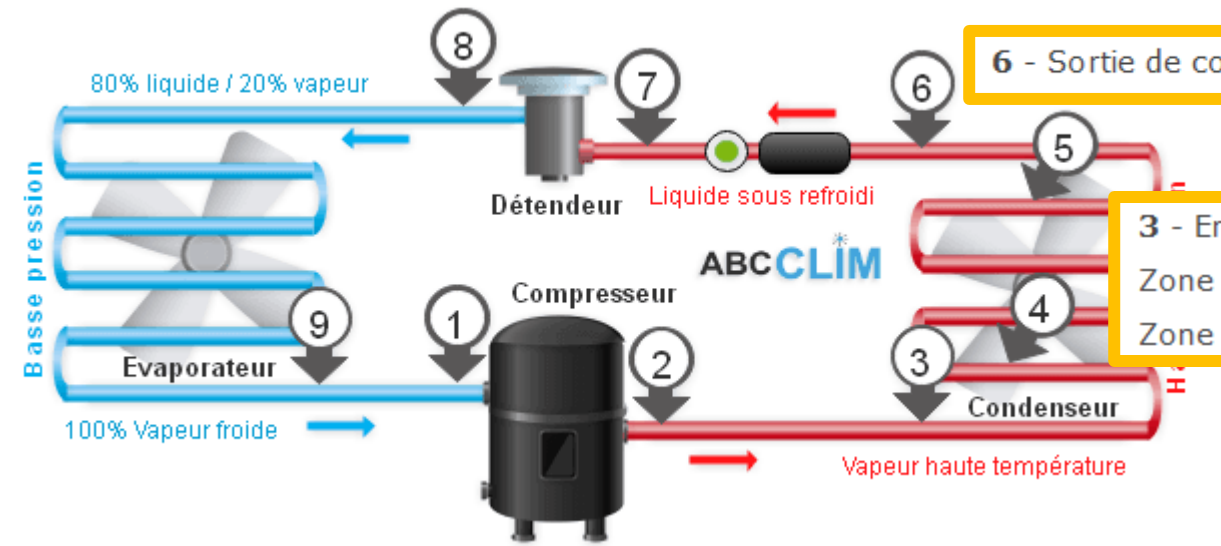
7 - Entrée détenteur (État du fluide : Liquide HP)

6 - Sortie de condenseur (État du fluide : Liquide HP)

3 - Entrée du condenseur (État du fluide : Vapeur HP)

Zone de désurchauffe de 3 - 4 (État du fluide : Vapeur HP)

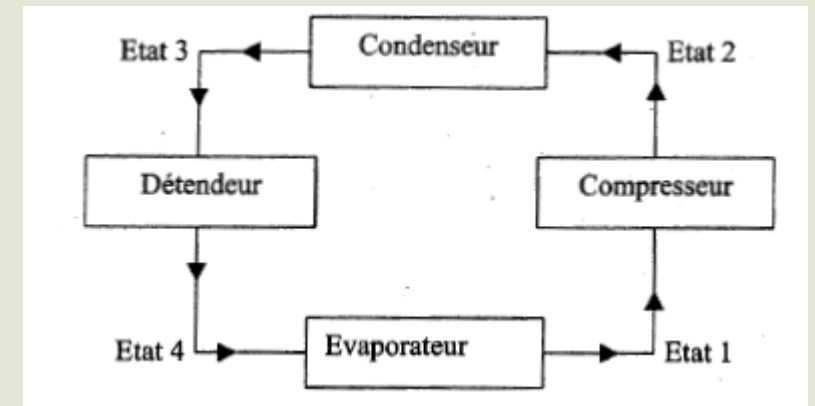
Zone de condensation de 4 - 5 (État du fluide : Passage de l'état vapeur à l'état liquide HP)

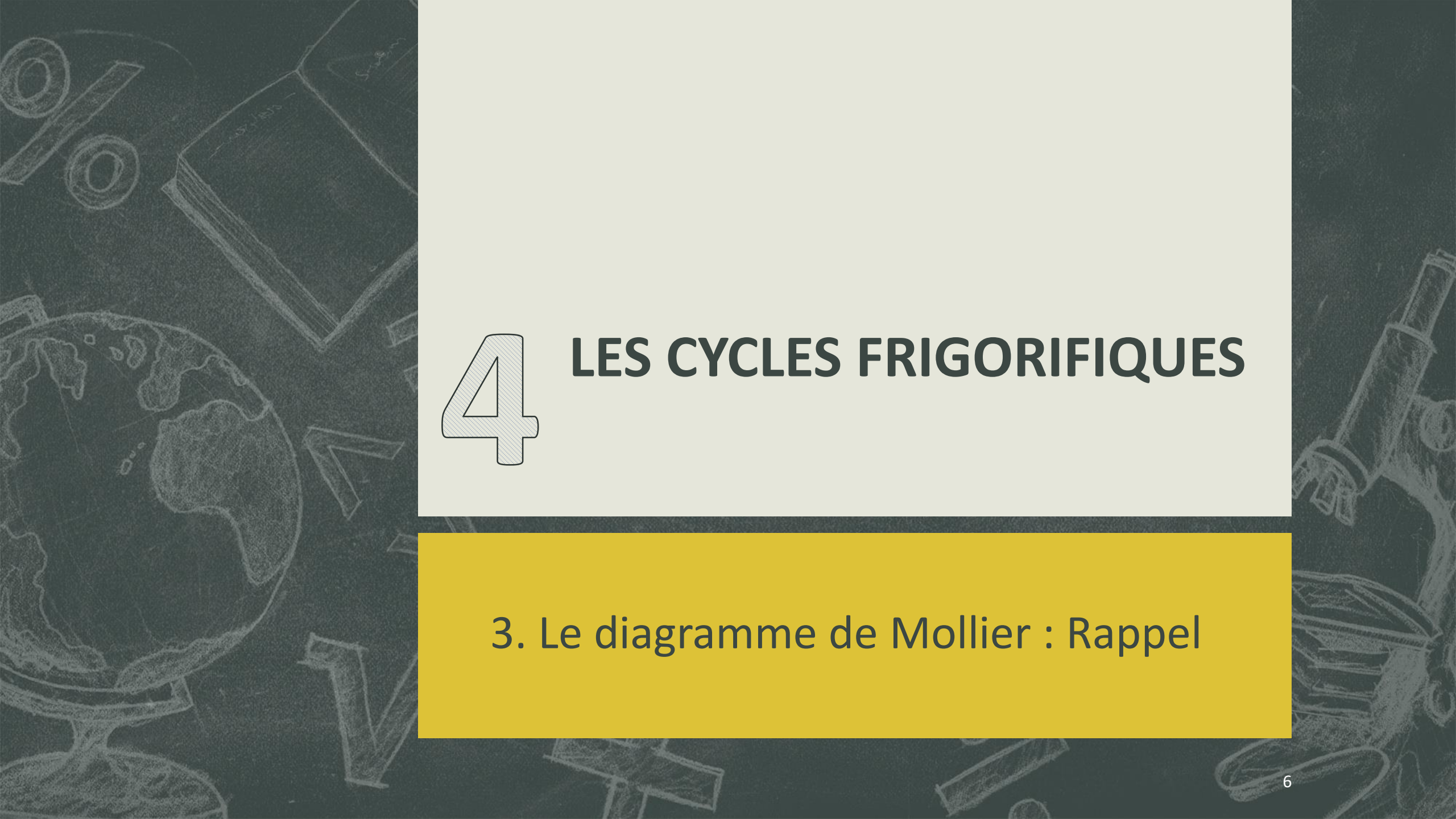


9 - Sortie évaporateur (État du fluide : Vapeur BP)

2 - Pression HP sortie du compresseur (État du fluide : Vapeur HP)

1 - Pression BP entrée du compresseur (État du fluide : Vapeur BP)





4

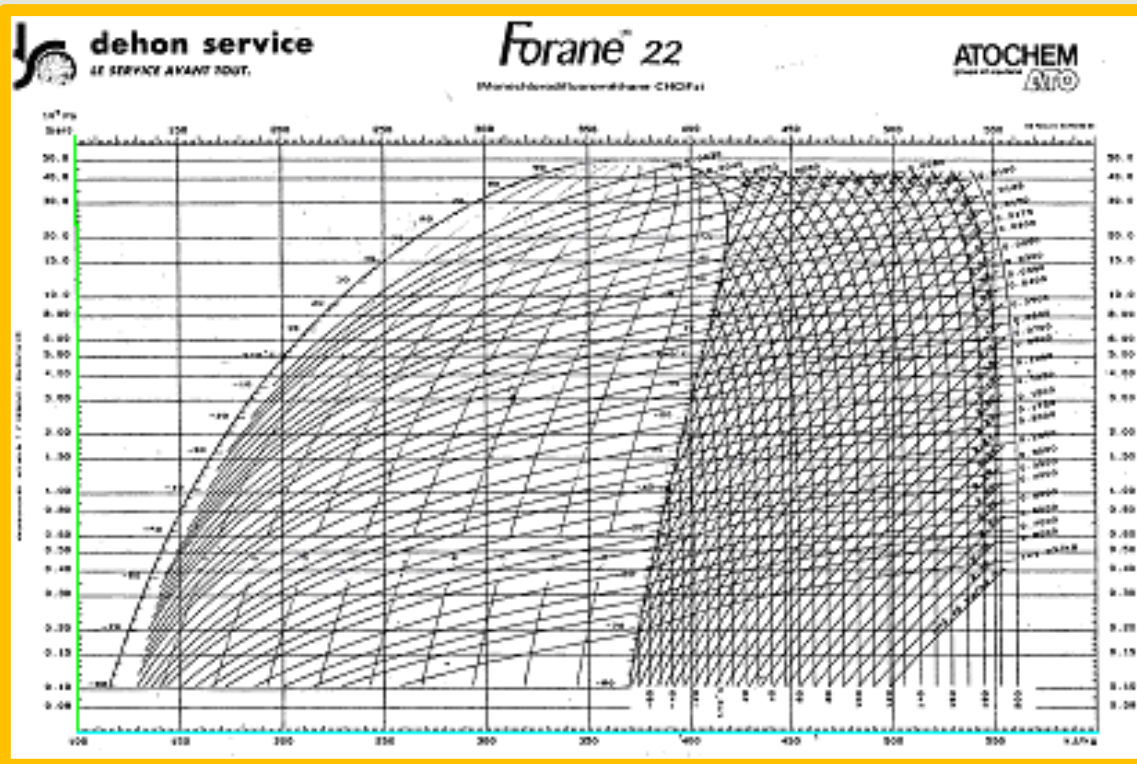
LES CYCLES FRIGORIFIQUES

3. Le diagramme de Mollier : Rappel

3. Introduction

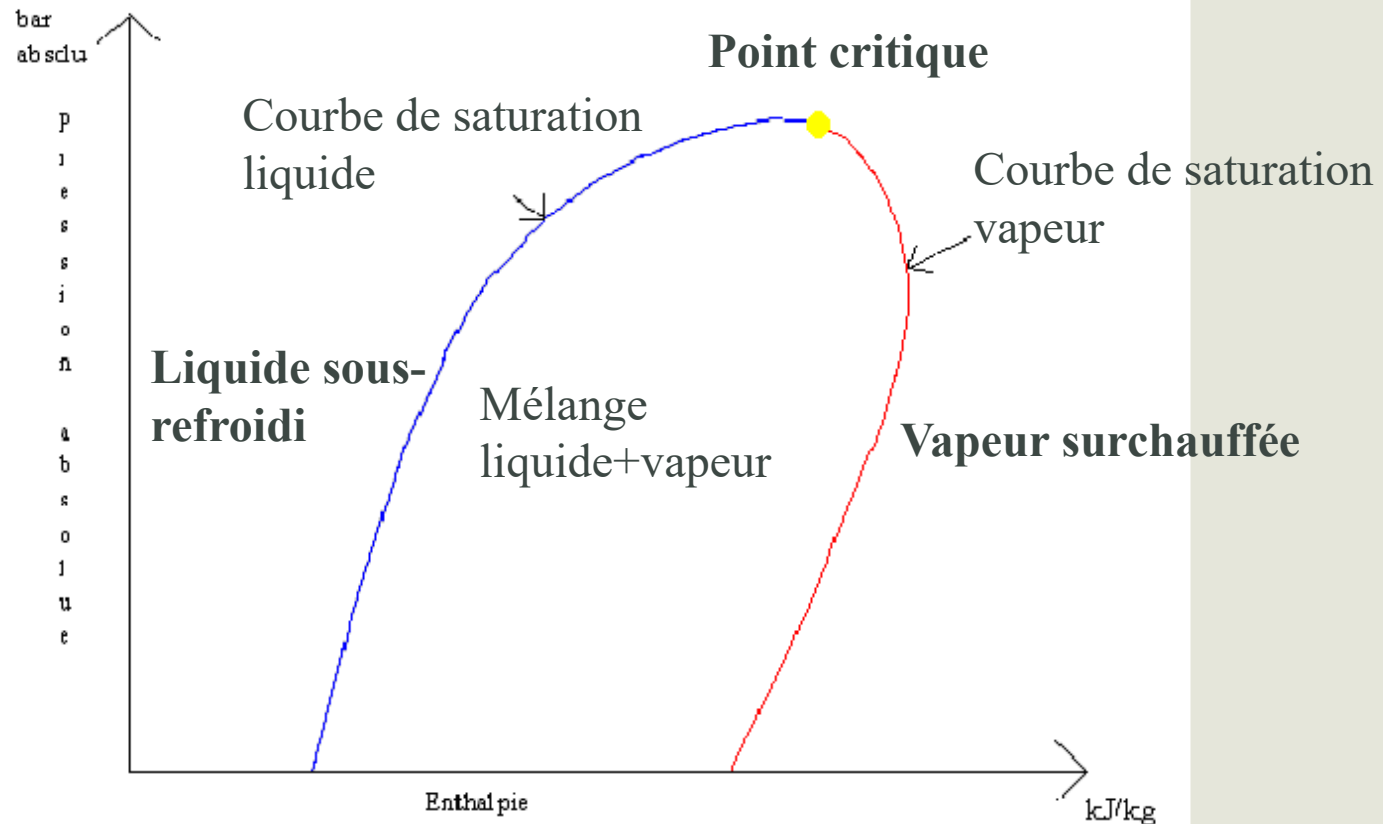
- Lors d'une mise en service ou d'un dépannage, il est important de visualiser les évolutions du fluide frigorigène dans l'installation.
- Cette visualisation facilite les différents réglages permettant un fonctionnement optimal.
- Ceci est possible à l'aide d'un diagramme enthalpique. Chaque fluide possède son propre diagramme, sur lequel on peut suivre ses différents changements d'état.

3. Introduction



Le diagramme est délimité en abscisse par l'échelle des enthalpies et en ordonnées par l'échelle des pressions en valeur absolue.

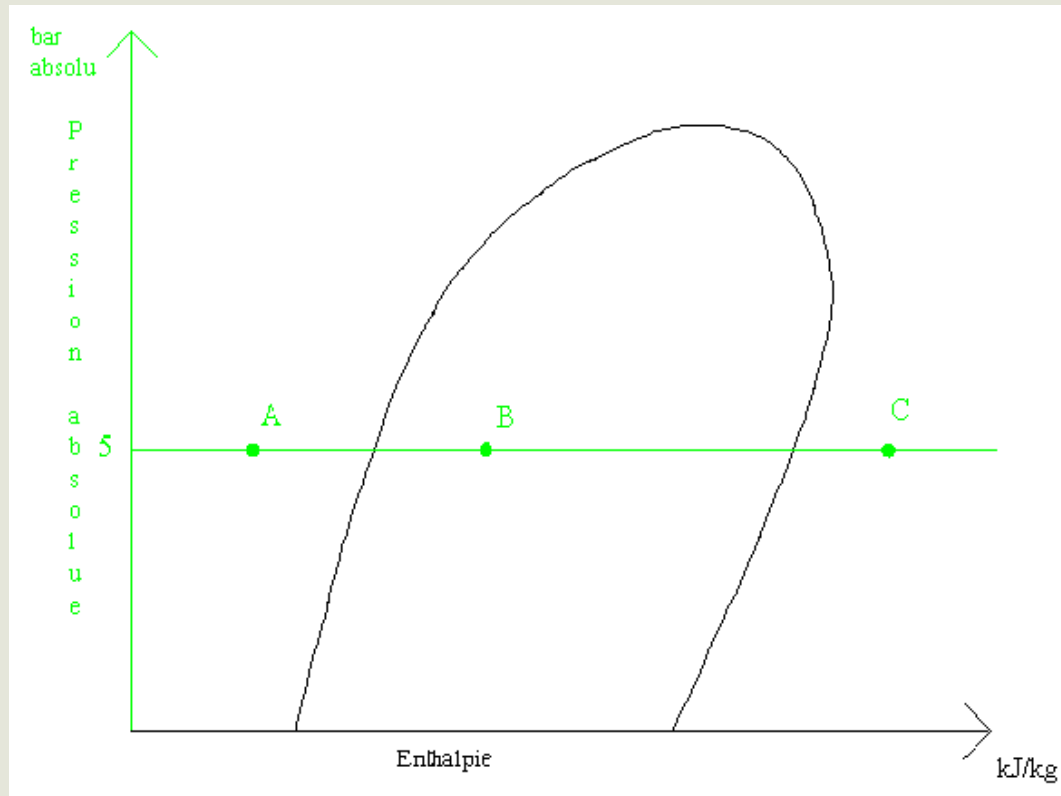
3. Les états



Les courbes de saturation se rejoignent au ...**point critique**... et divise le diagramme en trois parties :

- ❖ zone de...**liquide sous-refroidi**...
- ❖ zone de ...**mélange liquide + vapeur**...
- ❖ zone de**vapeur surchauffée**...

3. La pression



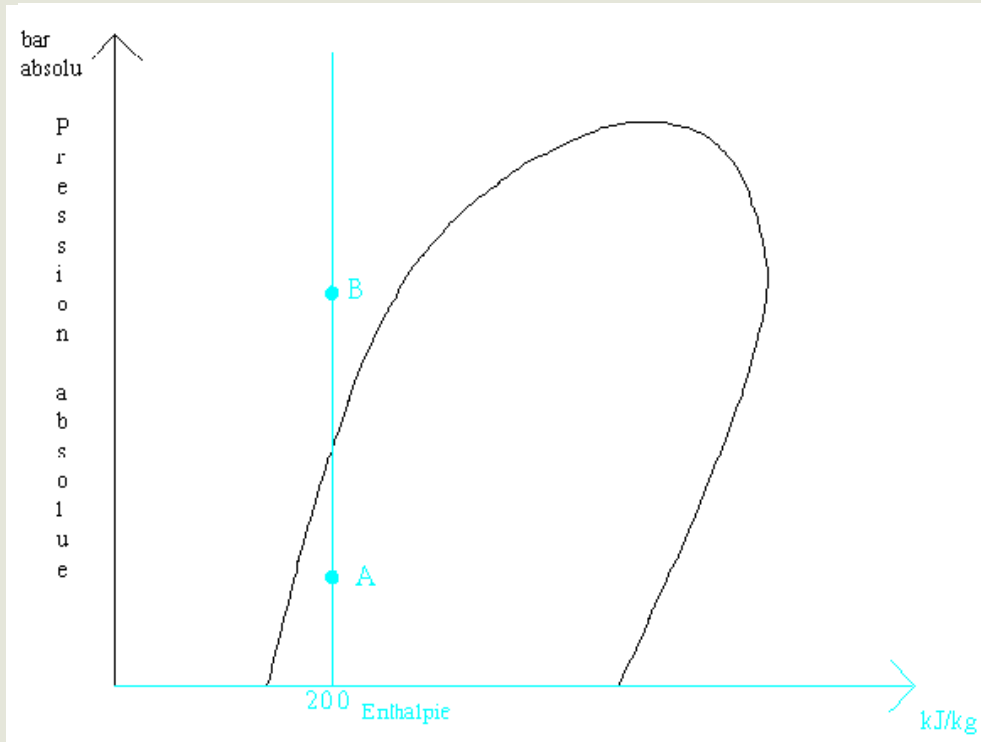
Pression en A = pression en B = pression en C = 5 bar

Symbole de la pression :**p**.....

Unité de pression :**bar**.....

L'échelle des pressions évolue perpendiculairement à l'axe des enthalpies. Une transformation qui s'effectue à pressions constante est une transformation isobare

3. L'enthalpie



Enthalpie en A = enthalpie en B = 200 kJ/kg

Symbole de l'enthalpie massique:**h**...

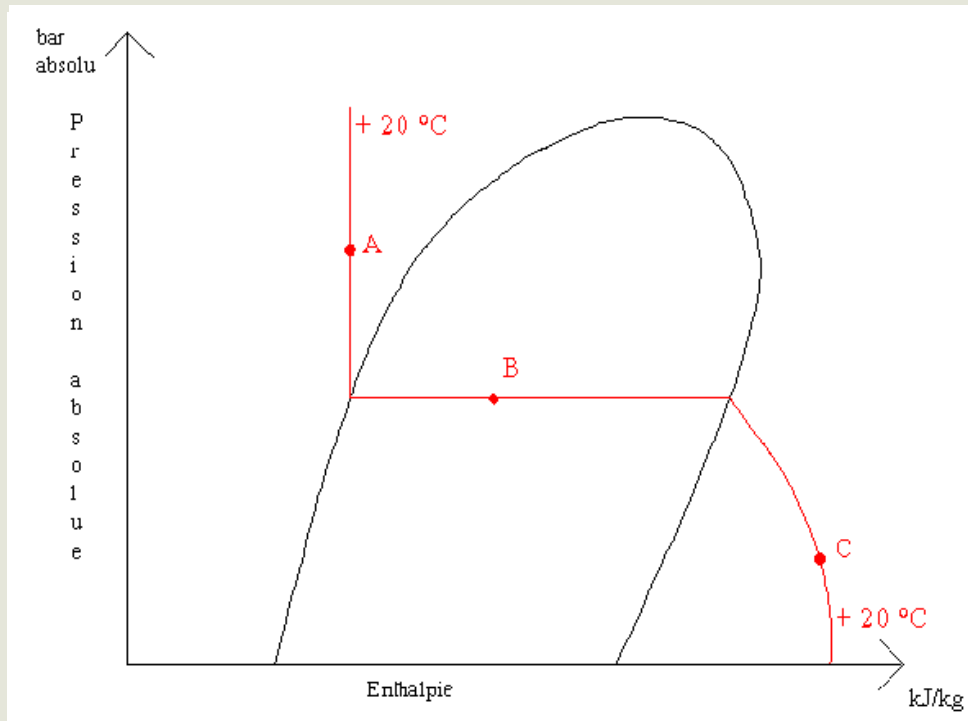
Unité de l'enthalpie massique**kJ/kg**...

L'échelle des enthalpies évolue perpendiculairement à l'axe des pressions.

L'enthalpie représente l'énergie totale emmagasinée par 1Kg de fluide frigorigène pour une pression et une température données.

Une transformation qui s'effectue à enthalpie constante est une transformation isenthalpe

3. La température



Température en A = température en B = température en C = +20°C

Symbole de la température :**T**.....

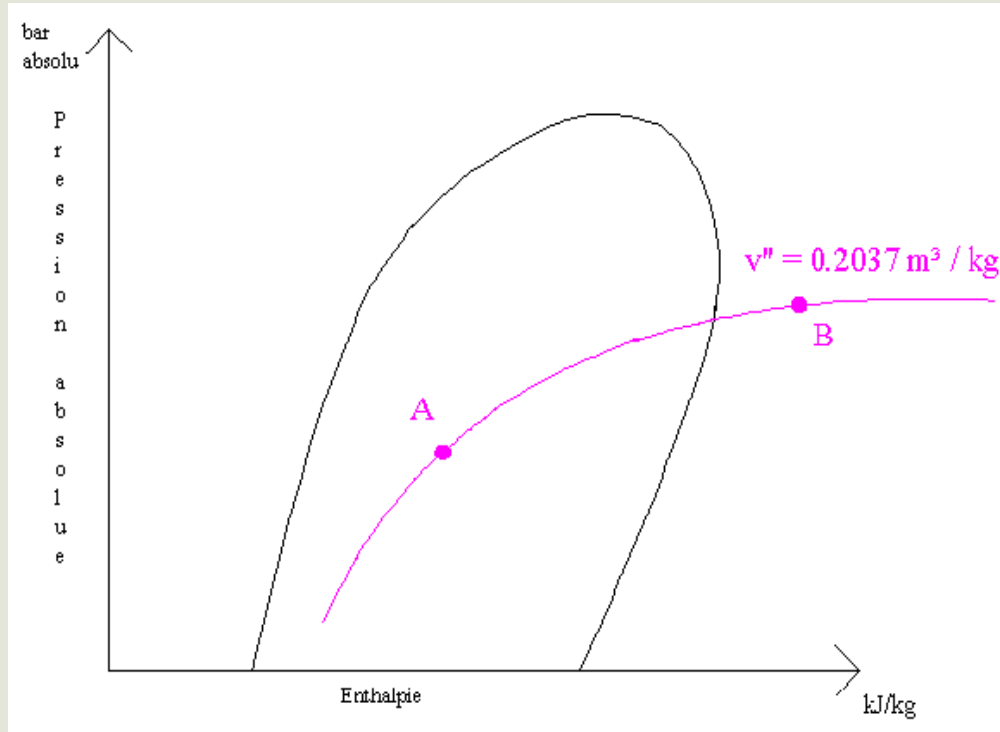
Unité de la température :°**C**.....

Dans la zone de mélange liquide + vapeur, la température et la pression sont liées (relation pression / température).

Dans les autres zones la pression et la température ne sont pas liées.

Une transformation qui s'effectue à température constante est une transformation isotherme

3. Le volume massique



Volume **massique** en A = volume massique en B = $0.2037 \text{ m}^3/\text{kg}$

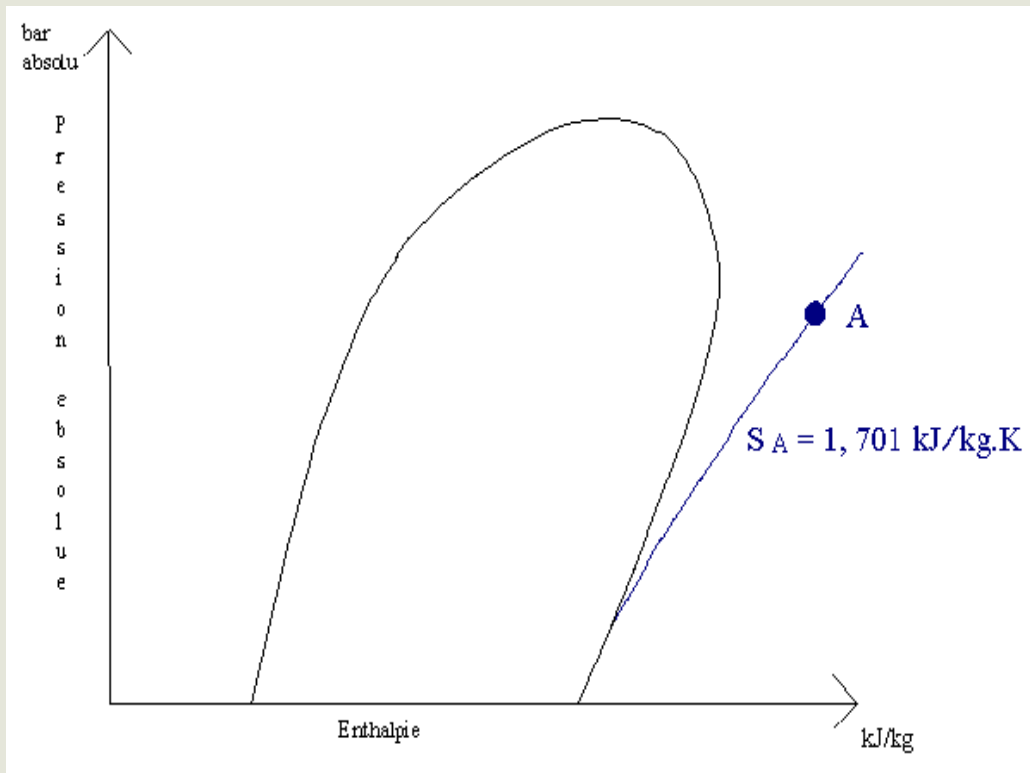
Symbole du volume massique : v

Unité du volume massique : m^3/kg

Le volume massique représente le volume occupé par 1kg de fluide frigorigène.

Une transformation qui s'effectue à volume massique constant est une transformation isochore

3. L'entropie



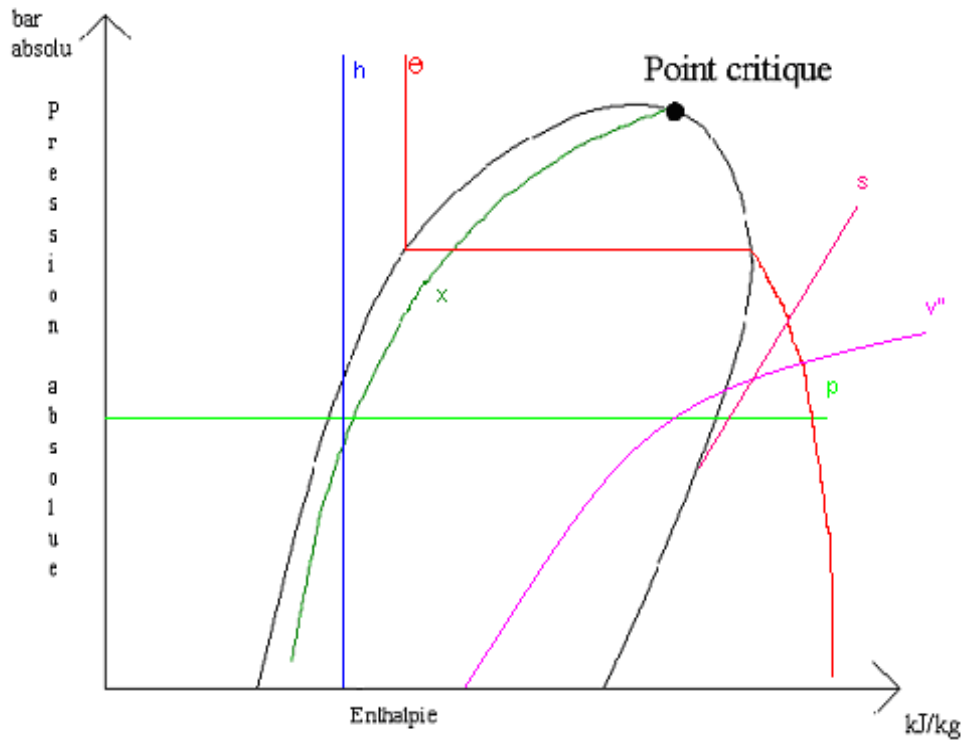
Entropie en A = 1.701 kJ/kg.K

Symbole de l'entropie massique :**S**.....

Unité de l'entropie massique :**kJ/kg.K**.....

L'entropie représente l'énergie emmagasinée par 1 kg de fluide frigorigène et par Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).
Une transformation qui s'effectue à entropie constante est une transformation isentrope

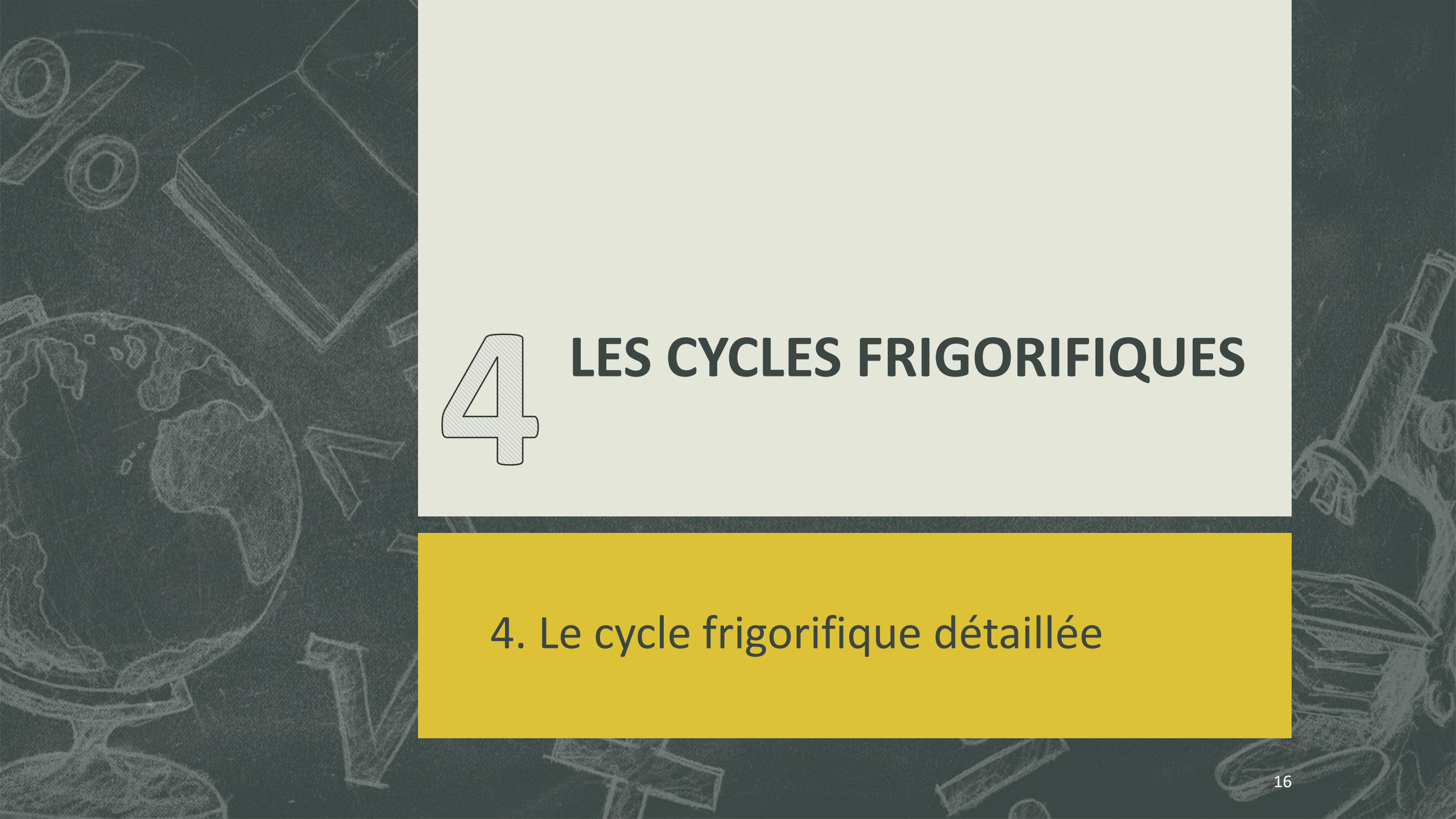
3. Application



Courbes	Symbole	Unité	Nom
Pression			
Température			
Enthalpie			
Entropie			
Volume massique			
Titre en vapeur			

On vous demande :

identifier les différentes courbes du diagramme et compléter le tableau ci-dessous.

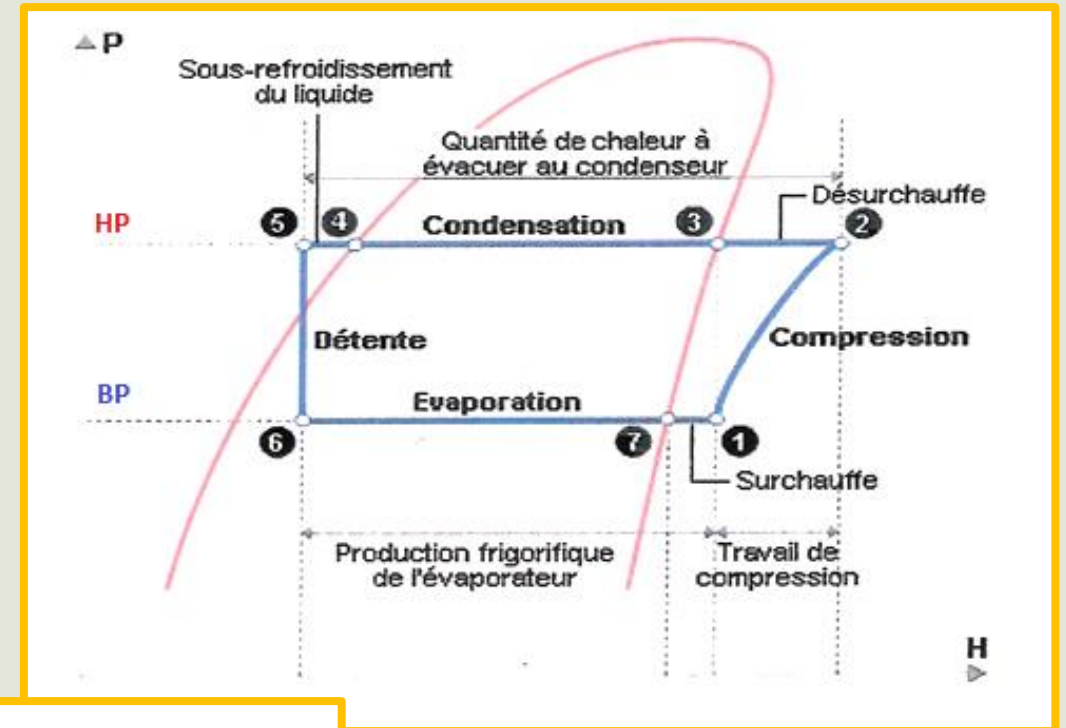
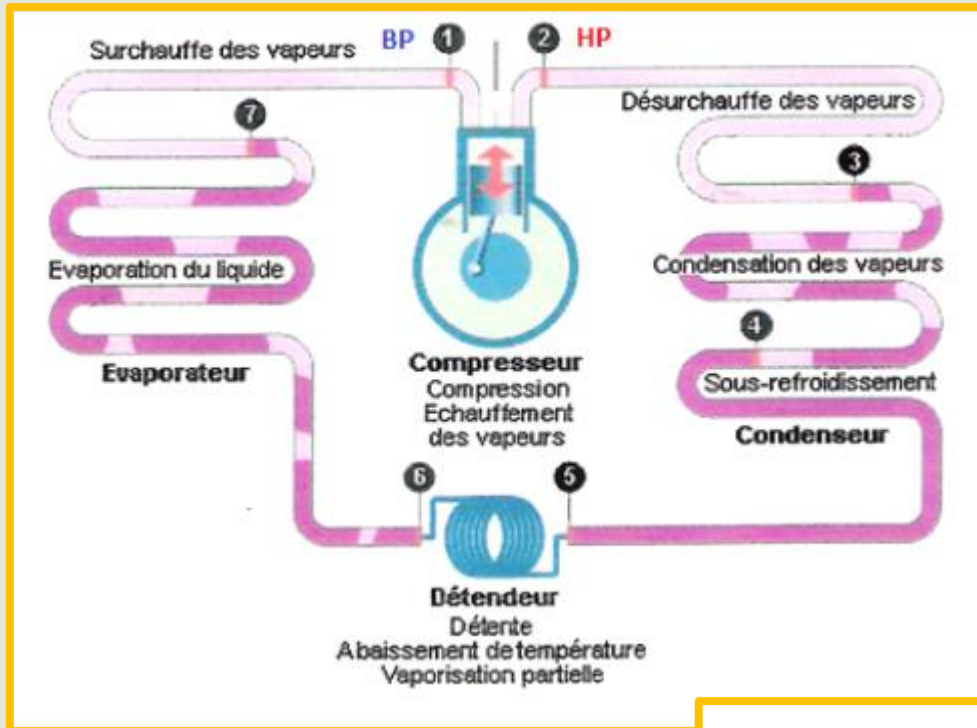


4

LES CYCLES FRIGORIFIQUES

4. Le cycle frigorifique détaillée

4. Le diagramme de Mollier : cycle frigorifique



Basse pression



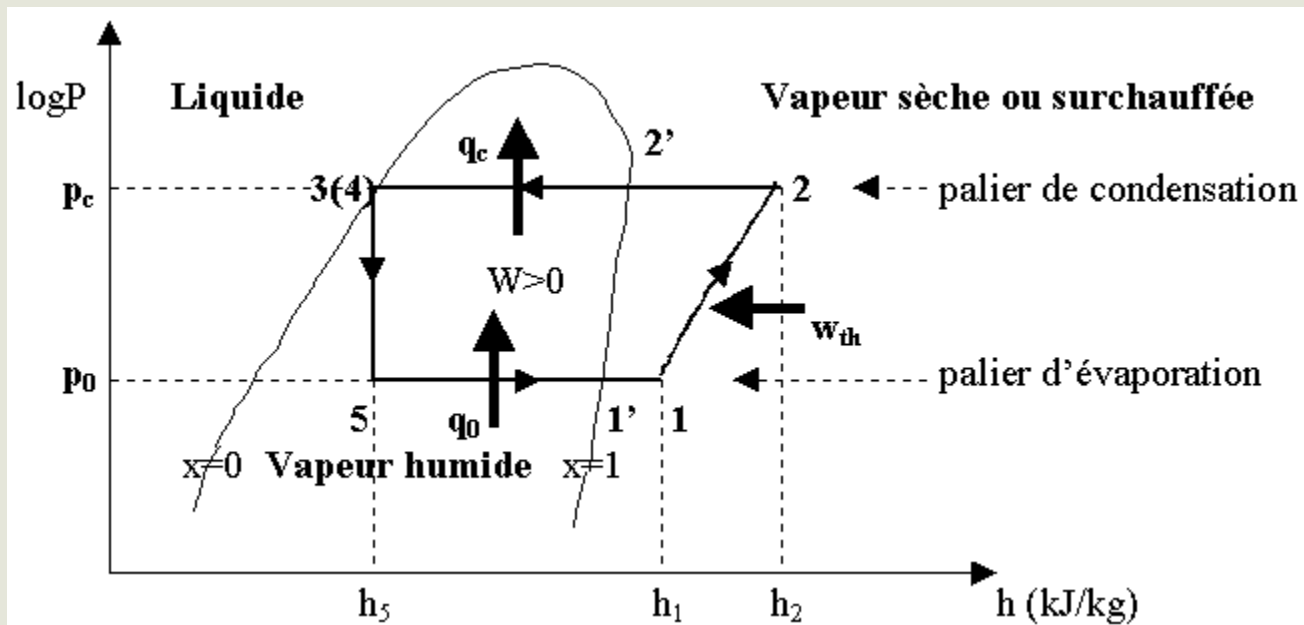
Evaporation

Haute pression



Condensation

4. Le diagramme de Mollier : aspect énergétique



Bilan énergétique ?

$$|q_c| = q_0 + W_{th}$$

Quantité de chaleur dégagée au condenseur ?

$$q_c = h_4 - h_2$$

Quantité de froid produite à l'évaporation ?

$$q_0 = h_1 - h_5$$

Travail du compresseur ?

$$W_{th} = h_2 - h_1$$

Hypothèses de la machine idéale

- Compression du fluide 1-2 isentropique (pas de perte de chaleur ; adiabatique)
- Pas de perte de charge dans la tuyauterie (2-3 et 5-1 isobars)
- La détente 4-5 est isenthalpe ($H = cte$)

Pourquoi n'y a t-il pas
de travail restitué
lors du passage 4-5 ?

4. Cycle frigorifique : COP et efficacité

$$COP_F = \frac{\text{froid produit}}{\text{travail fourni}} = \frac{q_0}{W_{th}} \stackrel{|q_c| = q_0 + W_{th}}{=} \frac{|q_c| - W_{th}}{W_{th}} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \in [1, 7]$$

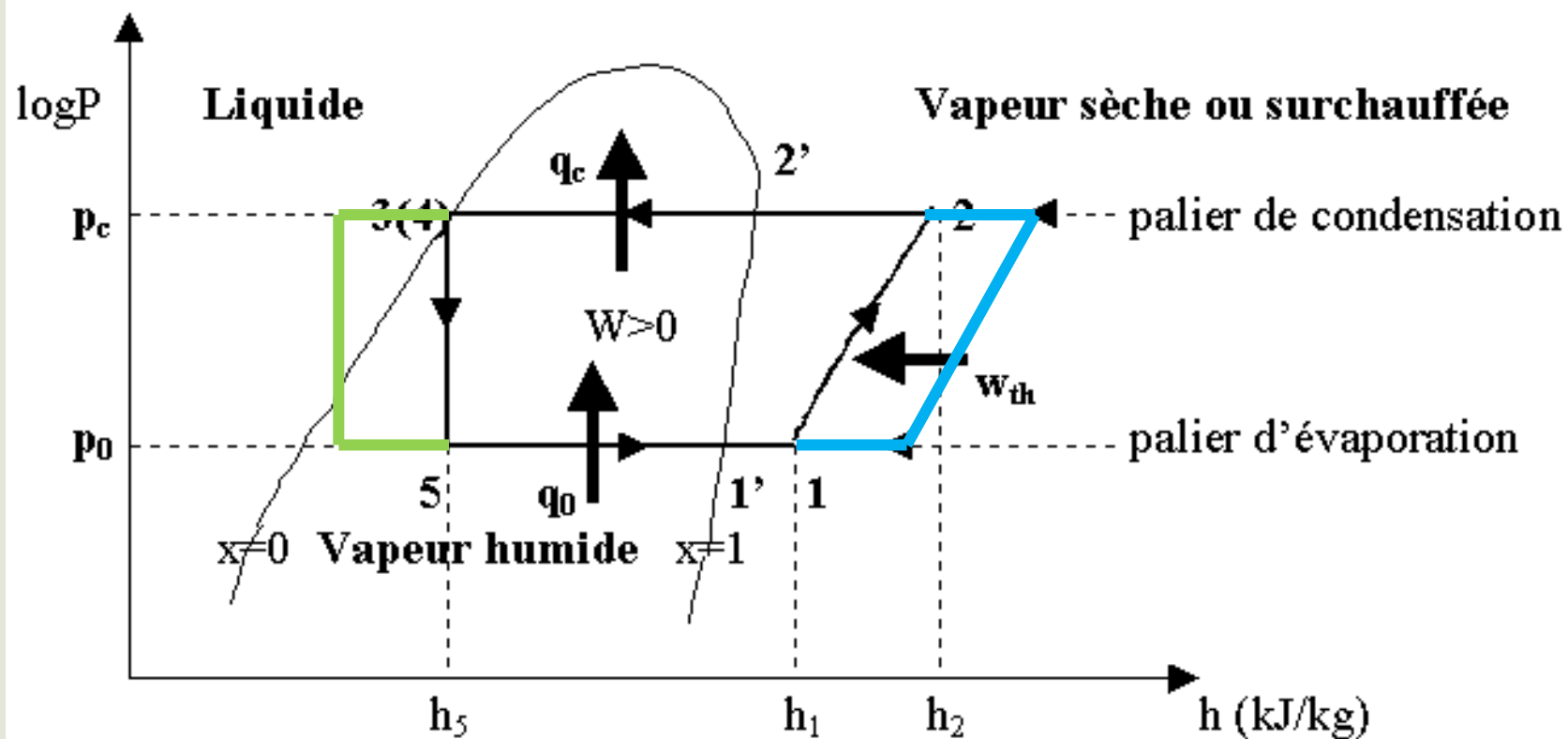
Cycle de Carnot
inverse



$$COP_C = \frac{T_0}{T_c - T_0}$$

$$\text{Efficacité} = \varepsilon = \frac{COP_F}{COP_C} = \frac{(h_1 - h_5)(T_c - T_0)}{(h_2 - h_1)T_0} = \in [0, 1]$$

4. Modification du cycle fonctionnel



La surchauffe

En augmentant la taille de l'évaporateur ou avec un échangeur interne

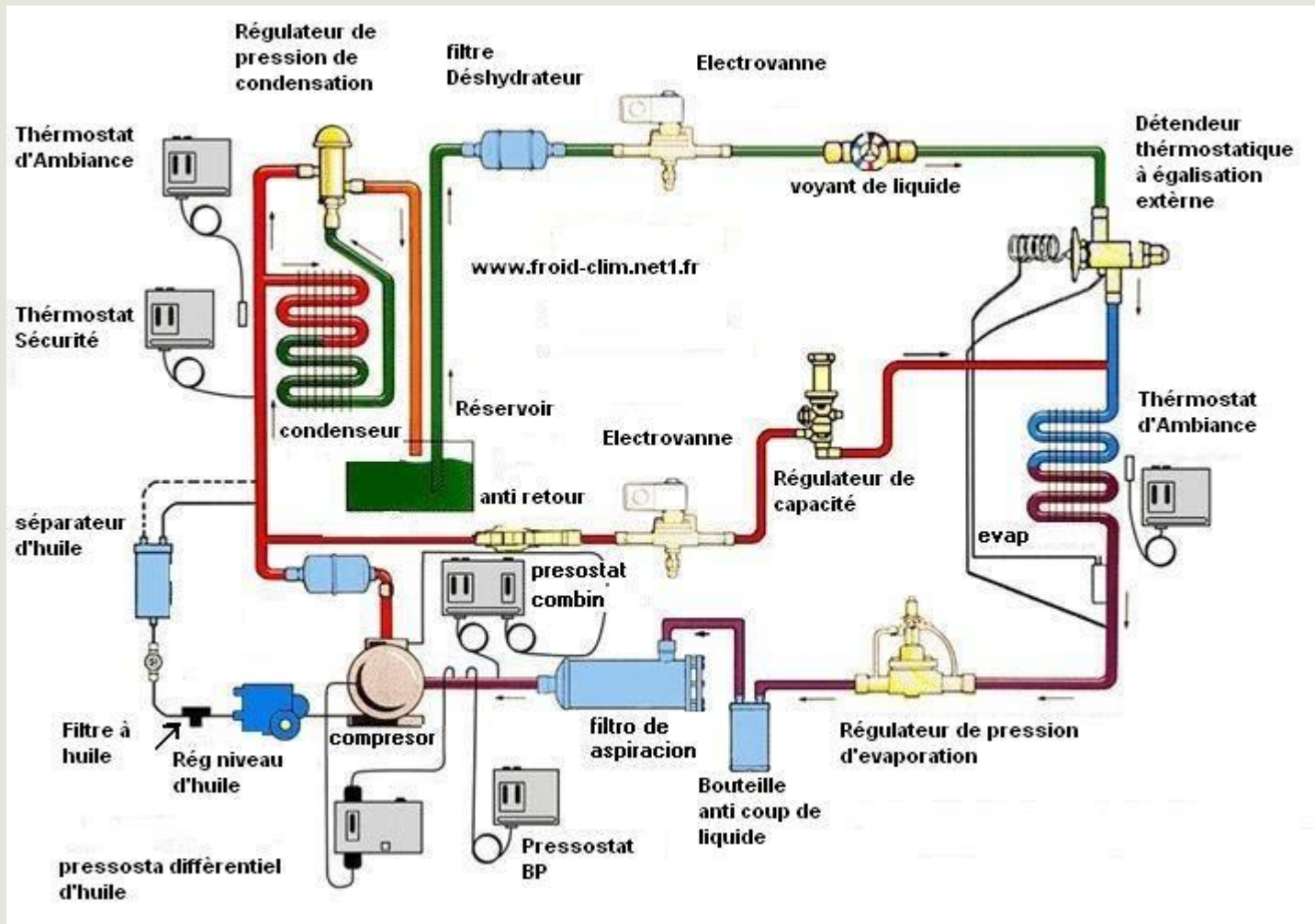
Le sous refroidissement

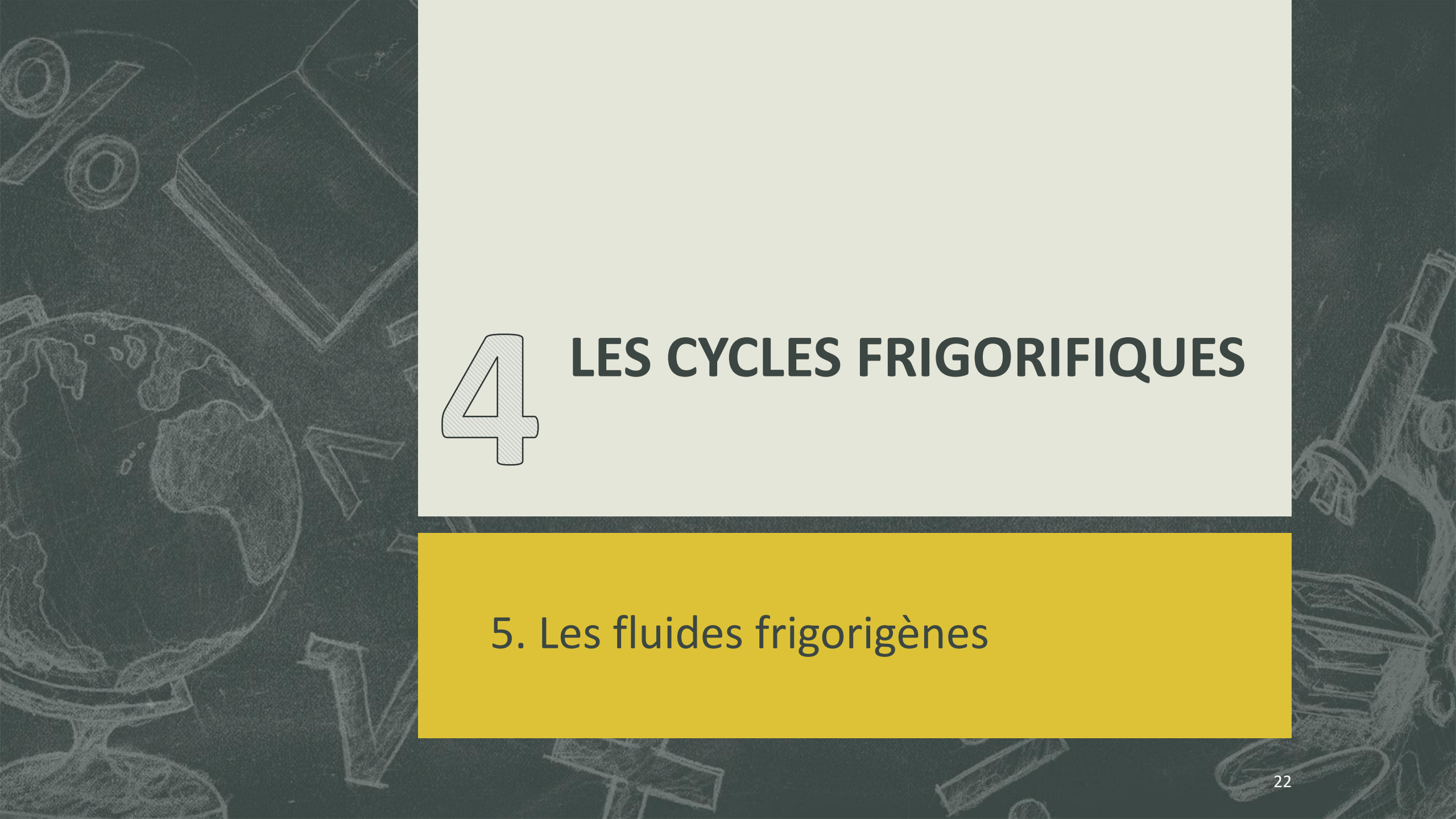
En augmentant la taille du condenseur ou avec un Échangeur interne
Utilisation de la chaleur latente non utilisée

D'après la définition du COP de la machine frigo il faut essayer d'augmenter q_0 ($=h_1-h_5$)

2 possibilités

4. Froid industriel : aspect pratique





4

LES CYCLES FRIGORIFIQUES

5. Les fluides frigorigènes

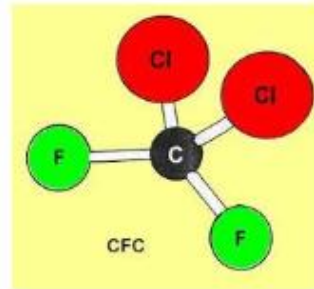
5. Les différents fluides frigorigères

LES CFC

ChloroFluoroCarbures. Ce sont les plus connus des hydrocarbures halogénés .

Complètement substitués par le chlore ou le fluor, ces fluides ne contiennent plus d'hydrogène. Ils sont dangereux pour la couche d'ozone.

Les CFC ont fait l'objet d'une interdiction totale en 2000.



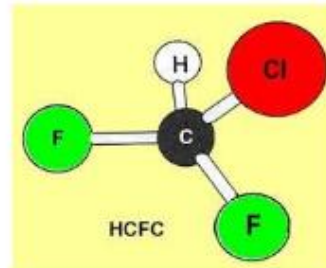
CFC
R11
R12
R113
R115
R502

5. Les différents fluides frigorigères

LES HCFC

HydroChloroFluoroCarbures Il s'agit de la seconde génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Ce sont des composants chimiques formés de chlore, de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils sont dangereux pour l'environnement.

Les HCFC ont fait l'objet d'une interdiction totale en 2015.



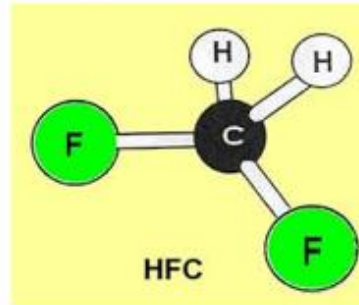
HCFC	
R21	R401A
R22	R402A
R123	R408A
R124	R409A
R142b	

5. Les différents fluides frigorifiques

LES HFC

HydroFluoroCarbures: Il s'agit de la troisième génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Les HFC sont composés de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils ne présentent pas de danger pour la couche d'ozone, mais ils peuvent contribuer à l'effet de serre.

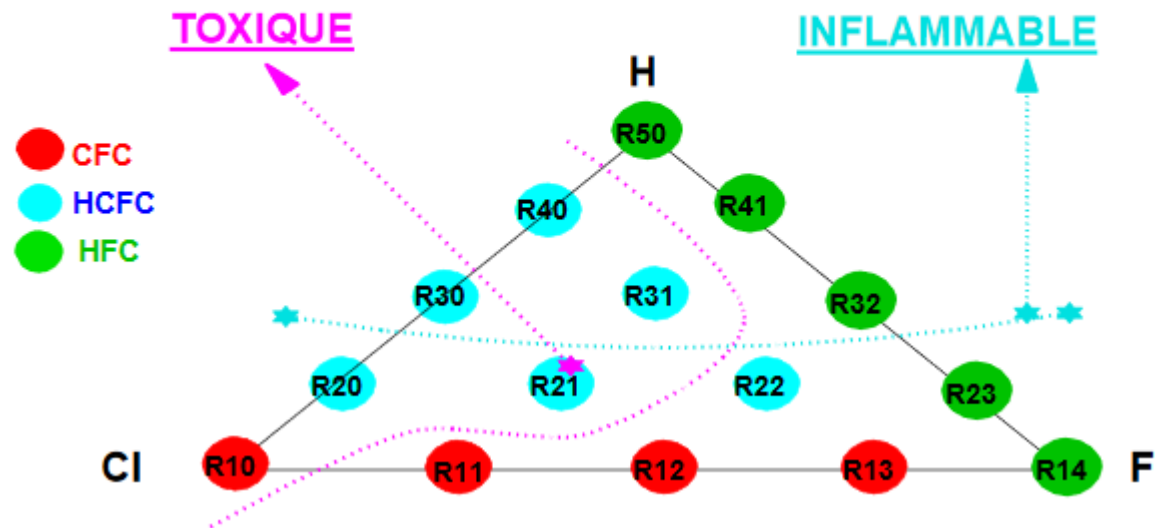
Les HFC font l'objet d'une interdiction en 2030.



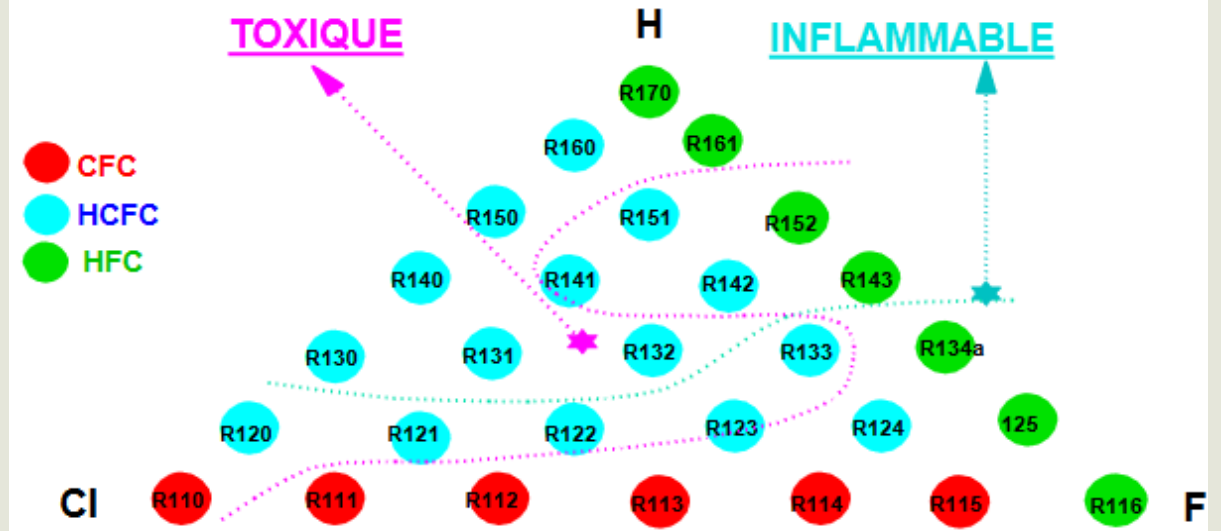
HFC	
R32	R404A
R125	R407C
R134a	R410A
R143a	R507
R152a	

5. Les différents fluides frigorigères

BASE METHANE



BASE ETHANE



5. Les différents fluides frigorigères

HFO

Les HFO, (HydroFluoro-Oléfines) sont des fluides frigorigènes de 4ème génération. Ils présentent des alternatives à faible GWP qui réduisent l'impact environnemental tout en proposant une efficacité énergétique.

- HFO 1234yf destiné aux applications de climatisation automobile.
- HFO 1234ze destiné aux applications frigorifiques et de conditionnement d'air.
- HFO 1234zd destiné aux applications frigorifiques et de froid (-).



a) HFO-1234ze(E)



b) HFO-1234ze(Z)

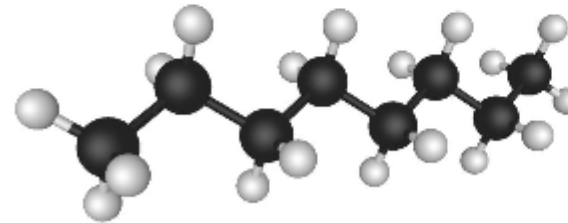


HC

Un hydrocarbure (HC) est un composé organique constitué exclusivement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Leur formule brute est donc de la forme : C_nH_m , sachant que n et m sont deux entiers naturels

Les fluides de cette famille peuvent être composés :

- de butane : R600
- d'isobutane : R600a
- de propane : R290



Isobutane



- Point d'éclair : + 80°C
- Température d'inflammation : + 462°C



4

LES CYCLES FRIGORIFIQUES

6. La réglementation

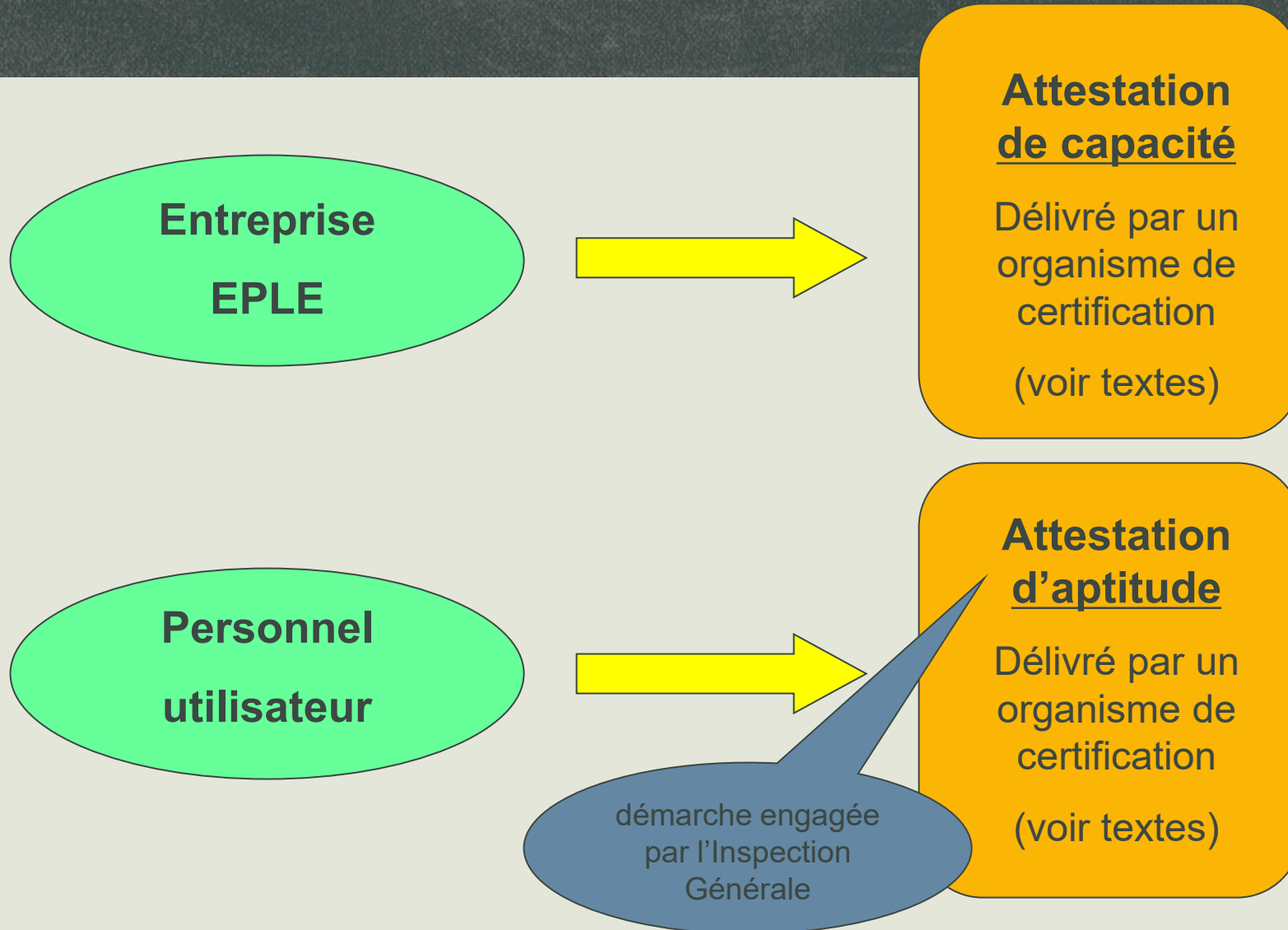
6. Le champ d'action

La réglementation concerne les opérations suivantes:

- la mise en service d'équipements,
- l'entretien et la réparation d'équipements,,
- Le contrôle de l'étanchéité des équipements,
- La récupération et la charge des fluides frigorigènes dans les équipements,
- La formation à la manipulation des fluides,
- Toutes les autres opérations réalisées sur les équipements nécessitant la manipulation de fluides frigorigènes (hors première charge)

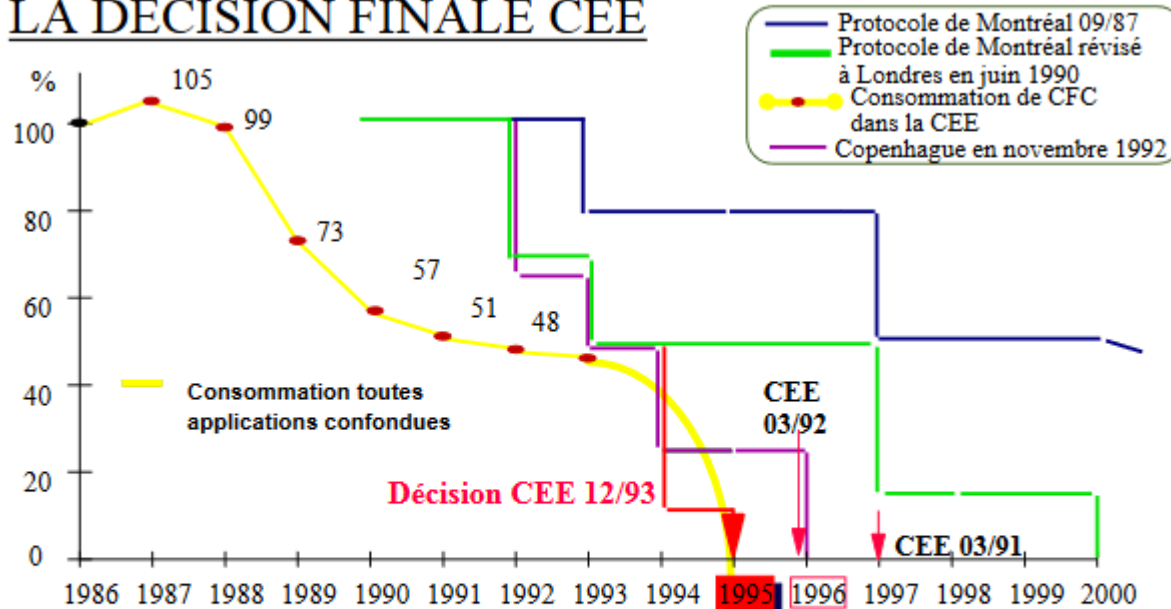


6. Formation



6. Gaz CFC et HCFC (Fréon) et leur interdiction

LA DECISION FINALE CEE



Décret n°2015-1790 du 28 décembre 2015 relatif à certains fluides frigorigènes et aux gaz à effet de serre fluorés Art. R. 543-93.

– Toute personne détenant des fluides frigorigènes de la catégorie des CFC, y compris ceux contenus dans des équipements, s'en défait au plus tard le 1er juillet 2016. Ces fluides sont récupérés conformément aux dispositions de la présente section.

