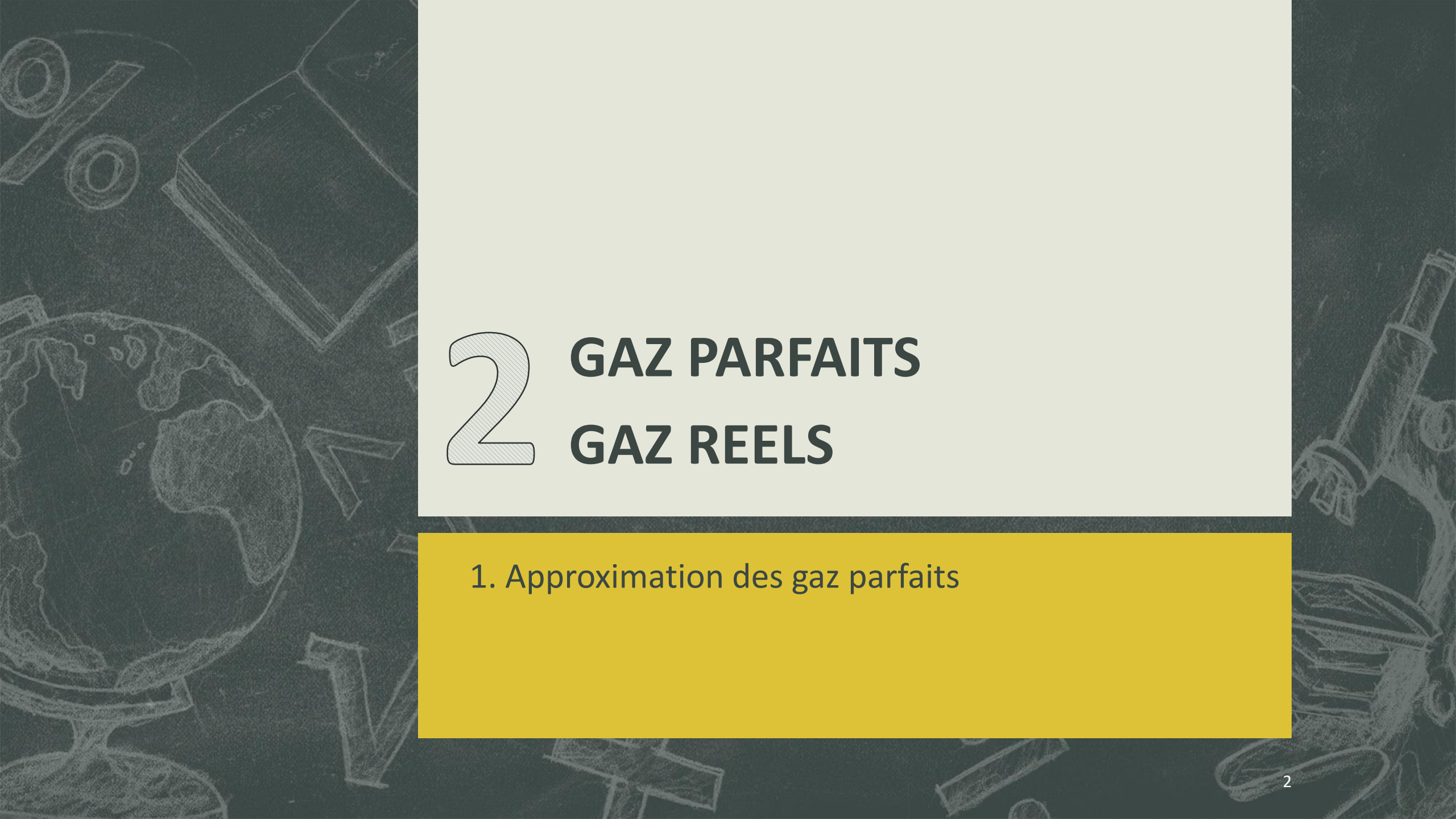


PHYSIQUE INDUSTRIELLE

C. Voyant

2023/2024



2 GAZ PARFAITS GAZ REELS

1. Approximation des gaz parfaits

1. Le cas idéal

Définition : le gaz parfait est un gaz idéal

- Il correspond à un gaz dilué
- C'est un ensemble de N atomes ou molécules identiques sans interaction entre eux et soumis à une agitation perpétuelle et aléatoire
- Les molécules se déplacent dans toutes les directions

Equation des gaz parfaits :

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad R = 8,32 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (GP)} \quad n = \frac{m}{M}$$
$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad n = \frac{N}{N_a} \quad p V = N \cdot k_b \cdot T$$

Loi de Joule :

- Pour un gaz parfait : L'énergie interne (et aussi l'enthalpie) ne dépend que de T
- Les variations ΔU et ΔH pour une transformation isotherme sont nulles

Hypothèse
mono-atomique →

$$\Delta U = N \cdot \frac{3}{2} \cdot k_b \cdot \Delta T = N \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N_a} \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = C_v \cdot \Delta T$$

$$\Delta H = C_p \cdot \Delta T$$

1. Des diagrammes simples

Diagrammes des gaz parfaits :

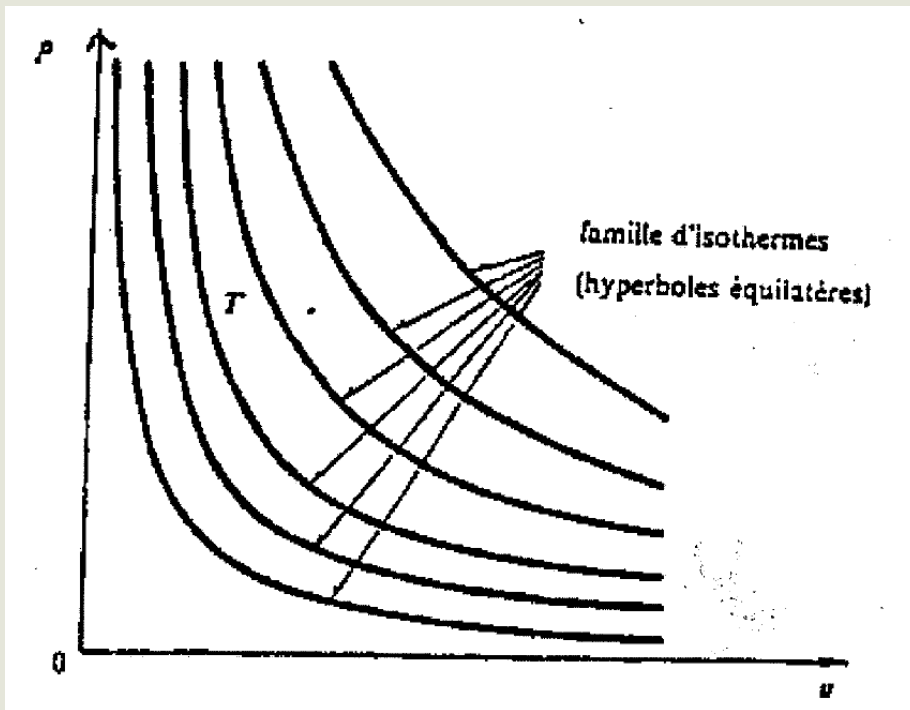


Diagramme de Clapeyron

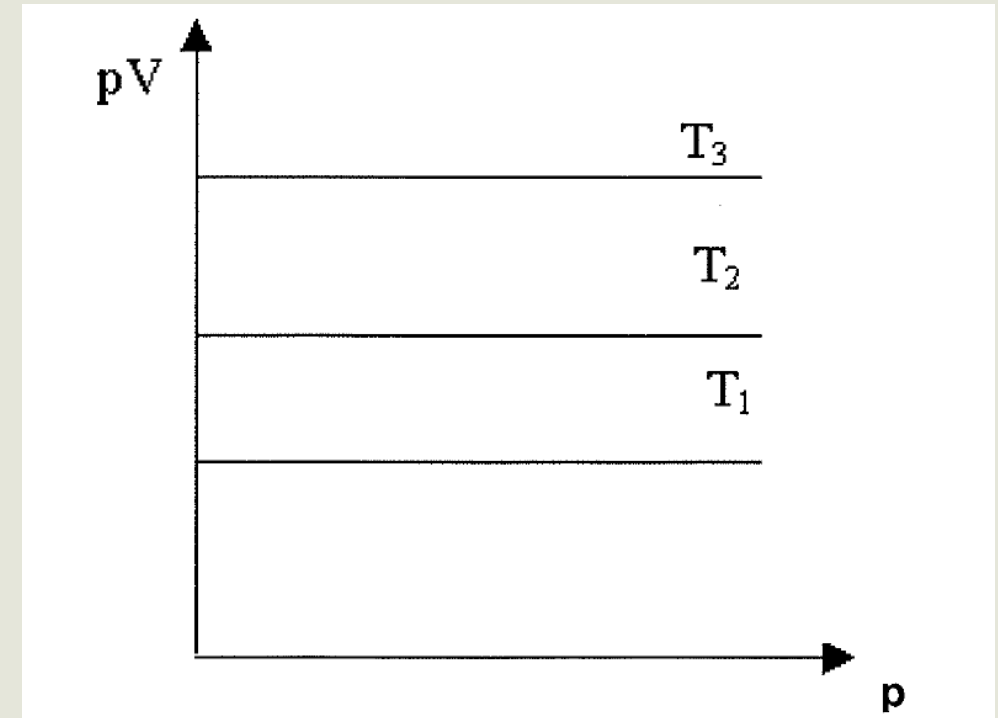


Diagramme d'Amagat

1. Le cas réel

- Les gaz réels ont un comportement très différent des gaz parfaits, et sont décrits par des lois différentes et plus complexes
- Si la pression augmente, la loi des gaz réels s'écarte de celle des gaz parfaits, surtout aux hautes pressions (quelques atmosphères).
- Les gaz réels sont liquéfiables à une température inférieure à la température critique T_c
- Dans un **gaz réel**, la distance entre les molécules est grande et donc l'énergie potentielle d'interaction est faible et l'énergie interne se présente alors essentiellement sous forme d'énergie cinétique d'agitation thermique.
- Dans un **gaz parfait**, ces distances sont très grandes par rapport aux dimensions de ces molécules (supposées ponctuelles) et l'énergie potentielle est nulle. On distingue alors entre gaz parfait et semi-parfait, satisfaisant à l'équation $pV = nRT$.

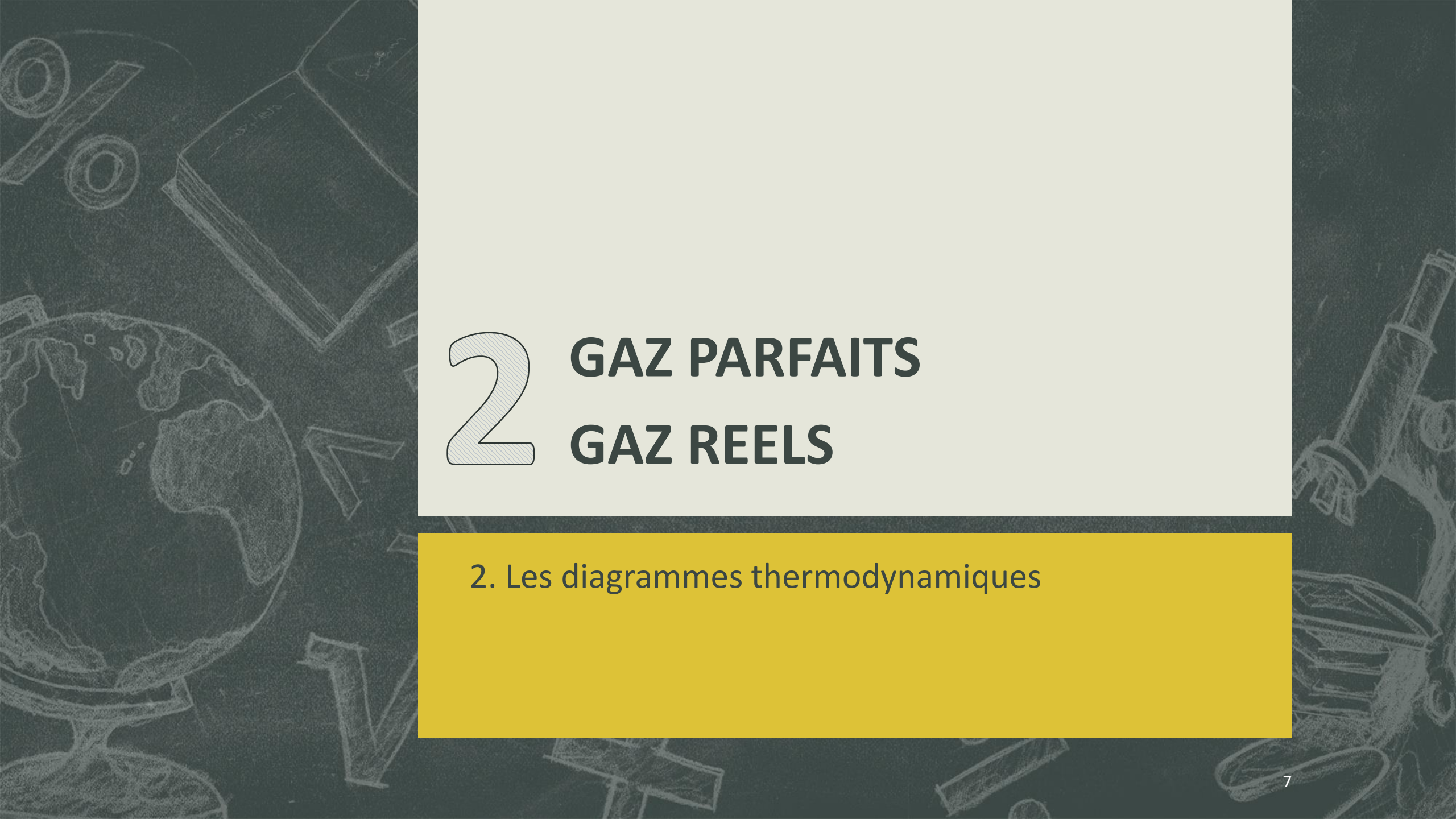
1. Les caractéristiques

Gaz parfait

- Les chaleurs massiques sont constantes
- L'énergie interne et l'enthalpie ne sont fonction que de T
- Ces fonctions sont linéaires en T

Gaz semi-parfait

- Les chaleurs massiques sont fonction de la température
- L'énergie interne et l'enthalpie sont des fonctions biunivoques de la température



2 **GAZ PARFAITS** **GAZ REELS**

2. Les diagrammes thermodynamiques

2. Pas d'équation Mais une méthode

Rappel

Fluides réels $\neq$ Fluides parfaits

Différentes propriétés thermodynamiques $\Rightarrow$ Différentes équations caractéristiques

Utilisation de tables et de diagrammes

- Il existe un certain nombre de paramètres et de fonctions d'état: T, P, V, U, H, S, G, F .
- Il suffit de 2 paramètres pour caractériser l'état et les transformations d'un système.
- On dispose donc d'un certain nombre de couples P - V , T - S , H - S , U - S , P - H ,...
- Pour l'étude d'un système et de ses transformations on utilise le couple le plus approprié.

2. Des grandeurs à connaître

Définitions et terminologies

Enthalpie (KJ/kg)

Mesure de l'énergie totale dans un système thermodynamique, Symbole **H**.

Isenthalpique: $H = Cste$

Entropie (KJ/kg.K)

Mesure de désordre microscopique d'une substance, Symbole **S**.

Isentropique: $S = Cste$

Puissance (W)

- Taux auquel l'énergie est transférée, Symbole **P**.

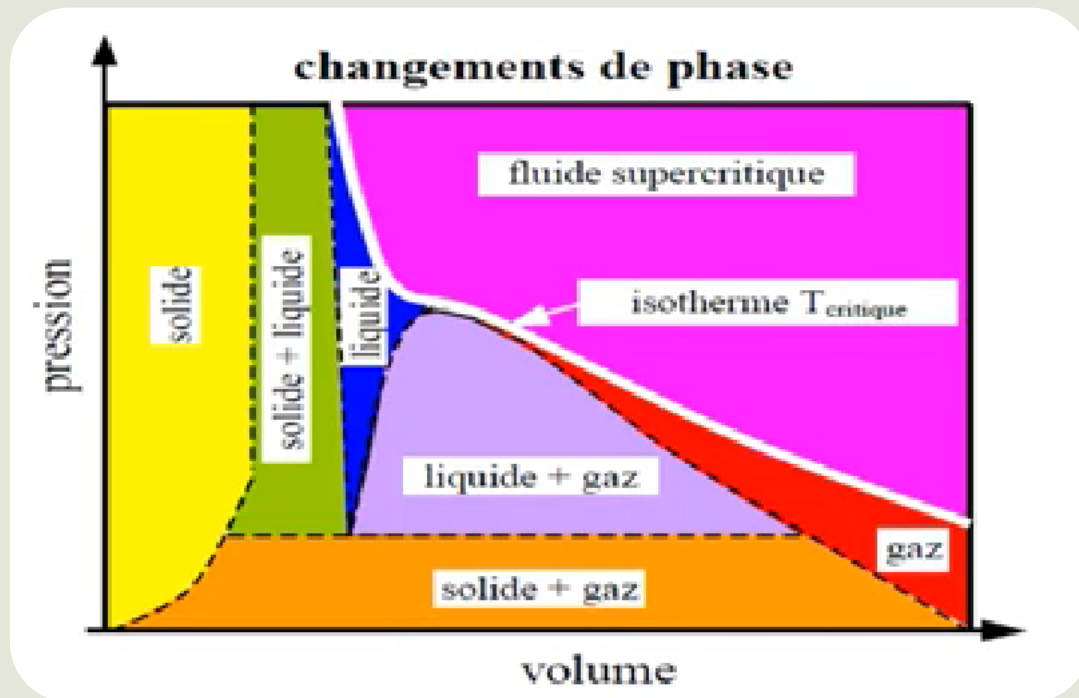
Travail (J)

- Quantité de l'énergie transférée d'un système à un autre, Symbole **W**.

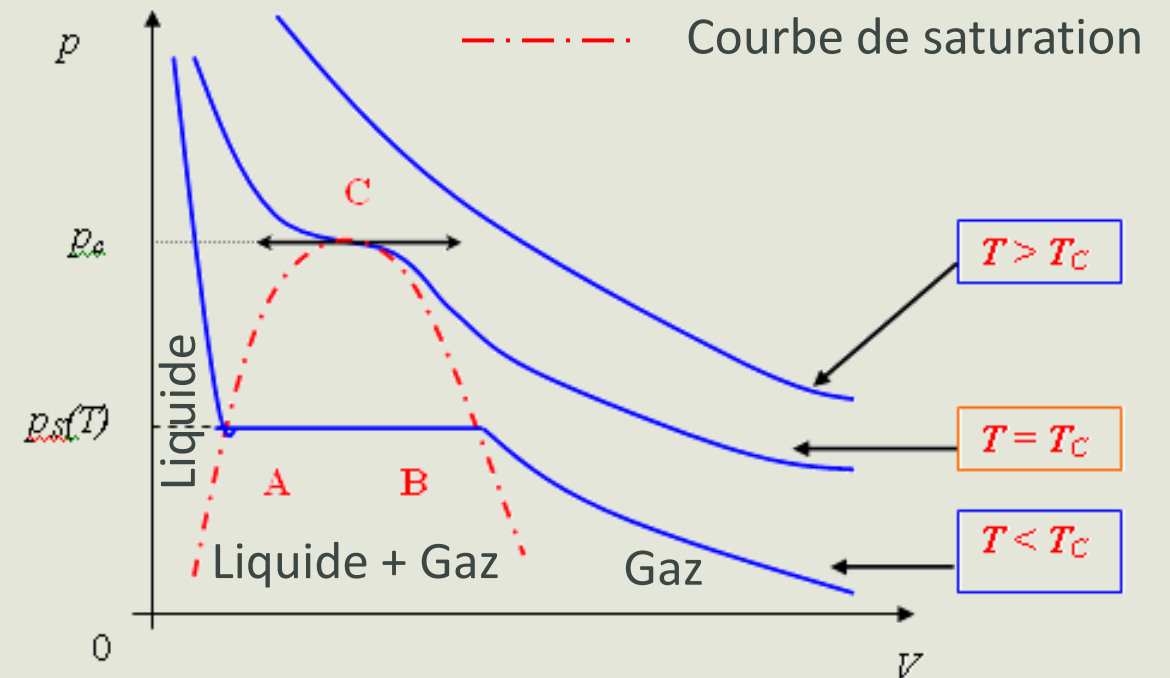
Système Idéal $\neq$ Système non idéal (**Rendement**)

2. Les diagrammes les plus simples

Diagramme de Clapeyron (ou diagramme P – V)



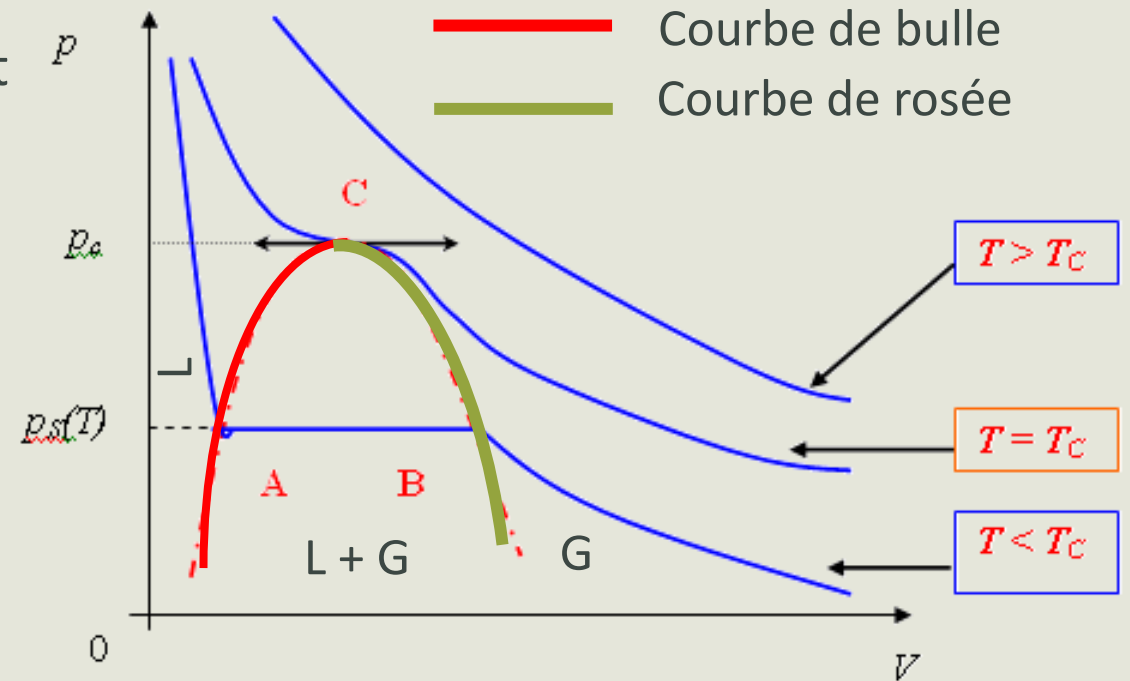
V : Volume spécifique /massique (m^3/kg)



2. Plusieurs phases mais un seul diagramme

Diagramme de Clapeyron (ou diagramme P – V)

- $T > T_c$, le fluide se comprime régulièrement en restant à l'état gazeux.
La loi $p = f(V)$ s'écarte sensiblement de celle du gaz parfait
- $T < T_c$, début de liquéfaction du gaz pour $V = V_G$.
 - La partie de gaz liquéfié augmente progressivement si le volume diminue.
 - Pour $V = V_L$, il n'y a plus que du liquide et la liquéfaction est totale
- $T = T_c$, le palier de liquéfaction horizontal se réduit à un point d'inflexion à tangente horizontale (p_c, V_c, T_c)



2. Mélange bi-phasique

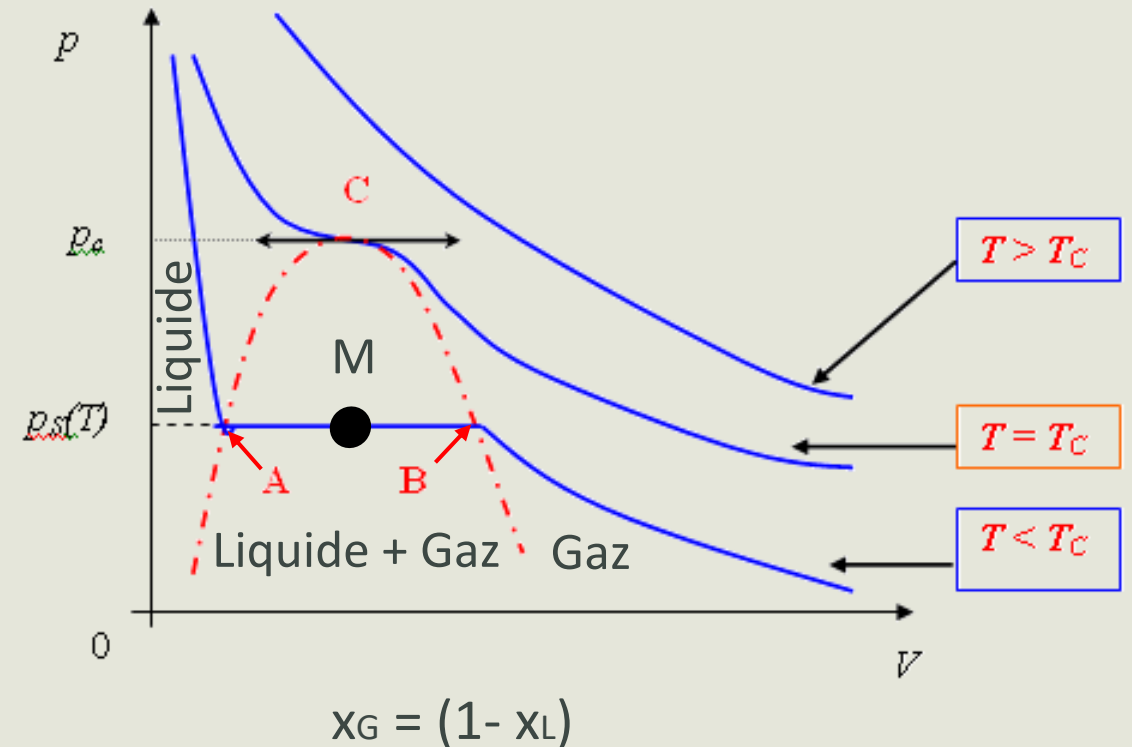
Diagramme de Clapeyron (ou diagramme P – V)

- Titre x (en %)

Le mélange L + G est caractérisé par son **titre x** , indiquant la proportion de vapeur dans le mélange :

$$x = \frac{\text{quantité de vapeur}}{\text{quantité totale de fluide}} = \frac{AM}{AB}$$

- Si le point M = A, alors on a **$x = 0$ (liquide saturé)**
- Si le point M = B, alors on a **$x = 1$ (vapeur juste sèche)**
- À l'intérieur de la courbe de saturation, on a $0 < x < 1$ (courbes isotitres)



2. Pour bien comprendre

Diagramme de Clapeyron (ou diagramme P – V)

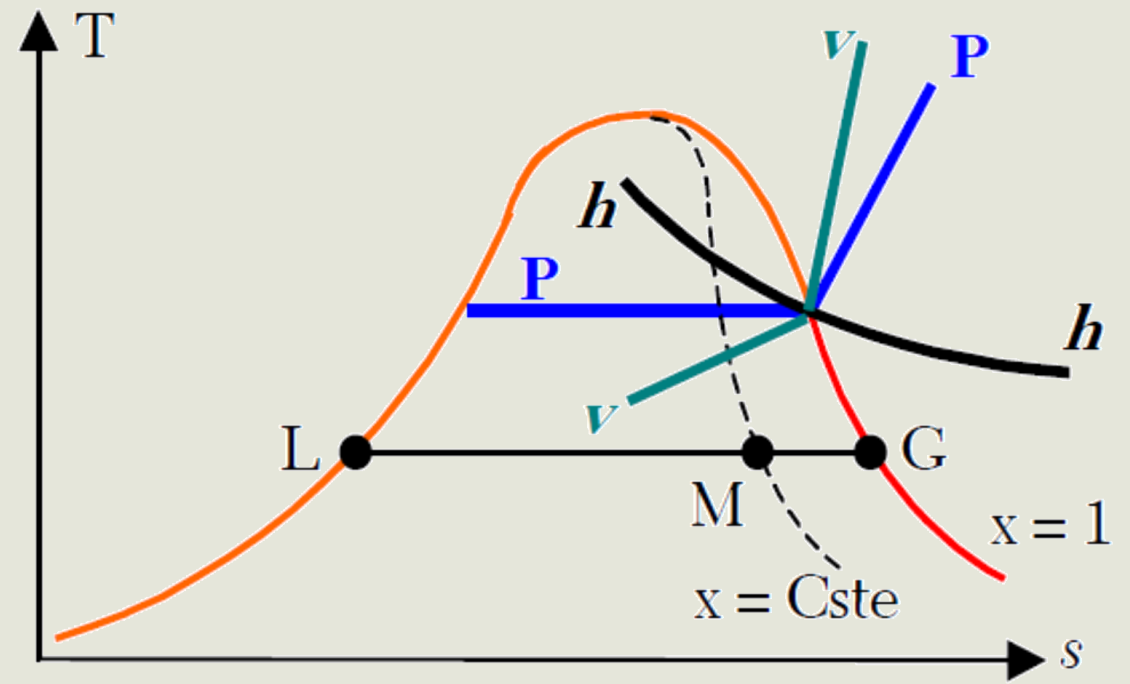
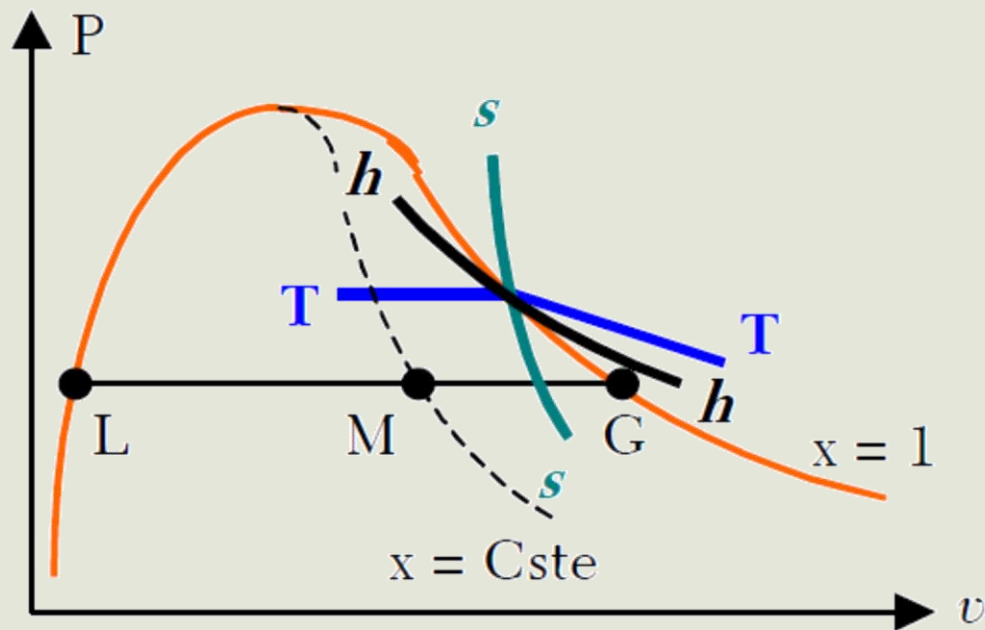
Tous les diagrammes ont comme caractéristiques :

- Une courbe de saturation en cloche (liquide/liquide-vapeur/vapeur),
- Pour les corps purs, les isobares et les isothermes sont confondus dans la zone diphasique,
- Lorsque la zone liquide n'est pas représentée, on peut en général supposer que les propriétés du liquide ne dépendent que de la température.
- Dans ce cas, les propriétés seront sensiblement égales à celles du liquide saturé à T
- A l'intérieur de la zone diphasique, toutes propriétés intensives vérifient **la règle du levier**.

$$Y_{tot} = Y_G \cdot x + Y_L \cdot (1 - x) \quad \text{avec } Y = H, S \text{ ou } V$$

2. Des diagrammes plus complexes

Diagramme entropique (ou diagramme $T - S$)



Différence entre un diagramme $P - v$ et $T - s$

2. Les plus utilisés

Diagramme enthalpique (de Mollier)

■ Diagramme des motoristes

Diagramme H – S

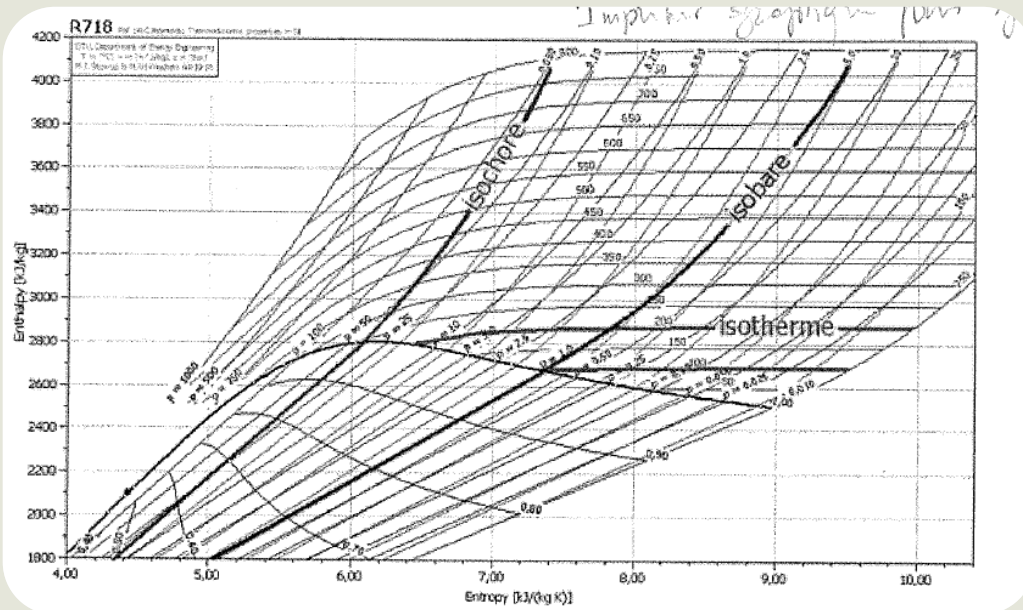
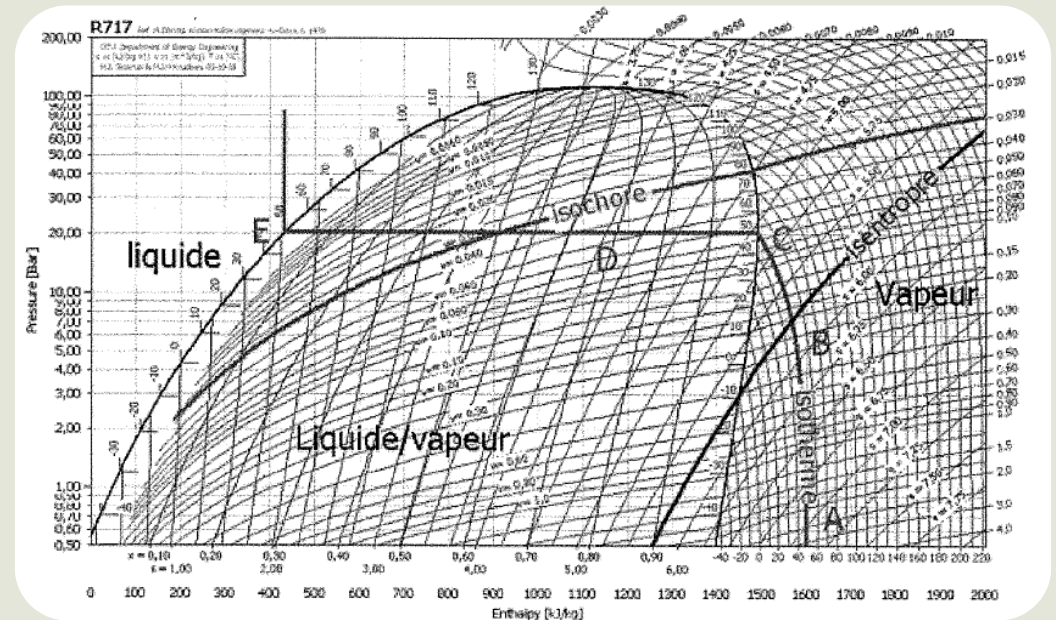
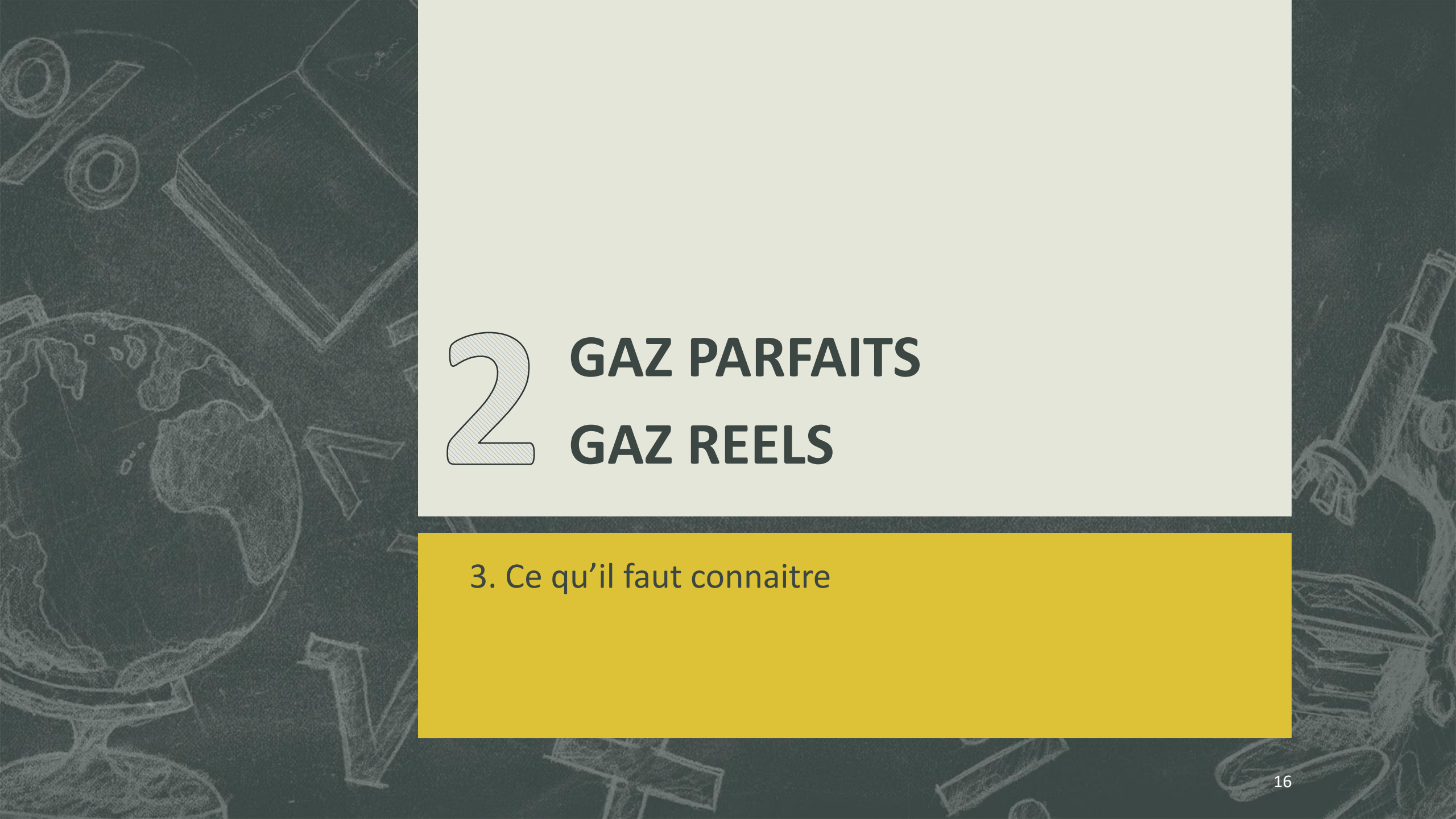


Diagramme des frigoristes

Diagramme Ln(p) – H



The background of the slide is a dark grey surface with faint, light grey chalk-like drawings of various school and science-related items. These include a globe on the left, a stack of books at the top left, a microscope on the right, and various geometric shapes like circles, rectangles, and arrows scattered throughout.

2 GAZ PARFAITS GAZ REELS

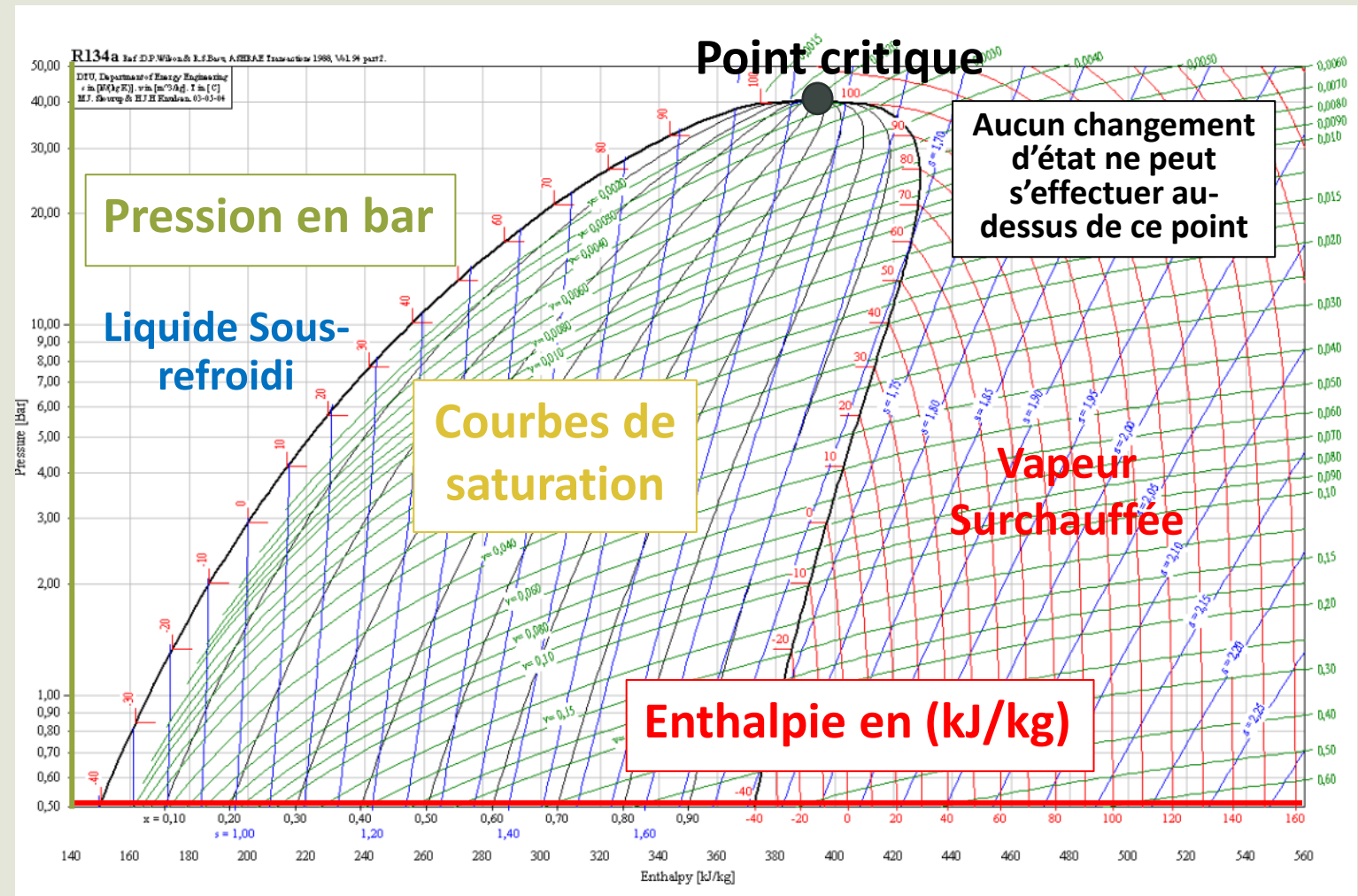
3. Ce qu'il faut connaître

3. De nombreuses informations

■ Lecture d'un Diagramme P – h

Cas du gaz réfrigérant

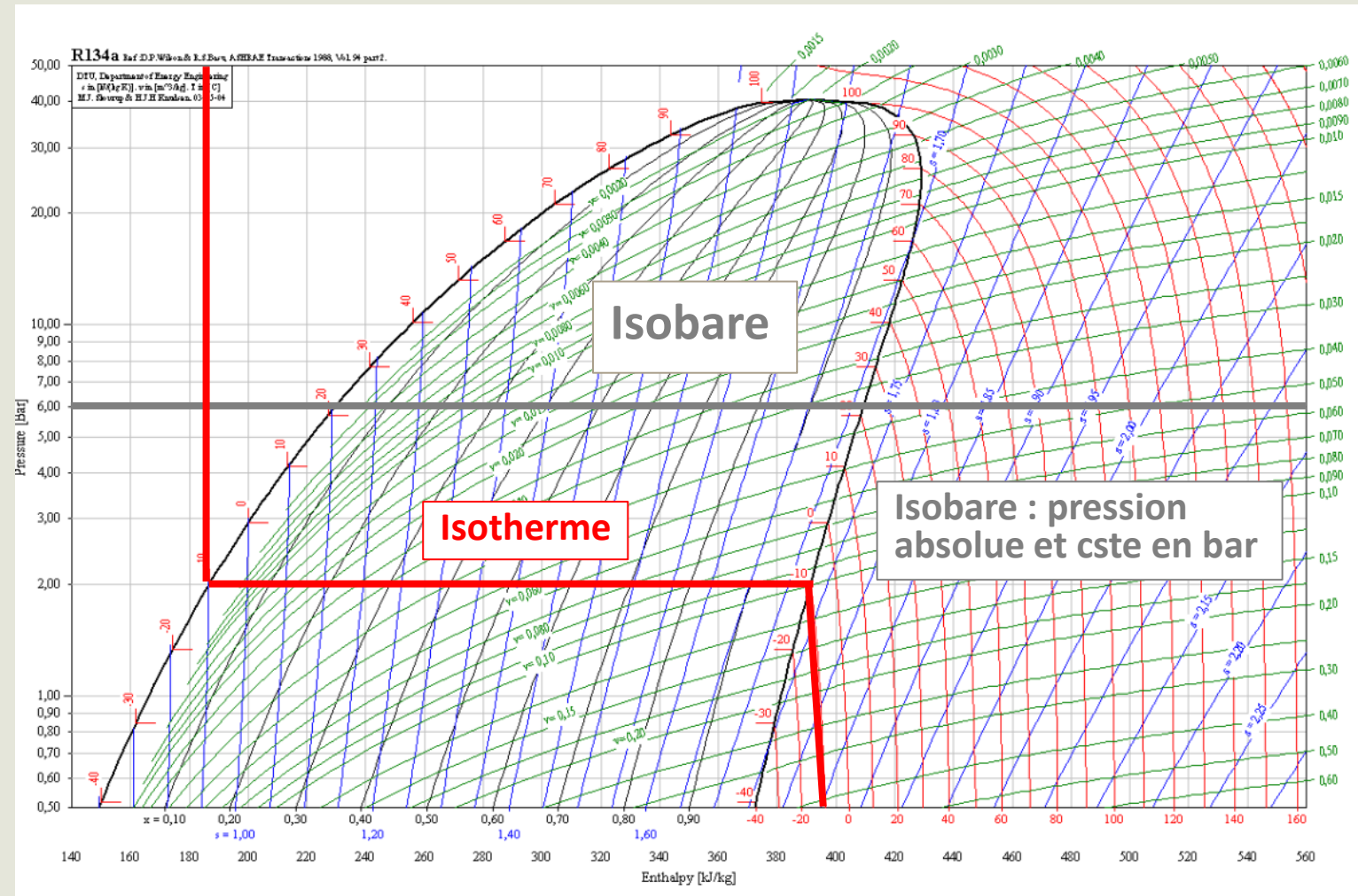
R134a



3. Les courbes « iso »

Lecture d'un
Diagramme P – h

Cas du gaz réfrigérant
R134a

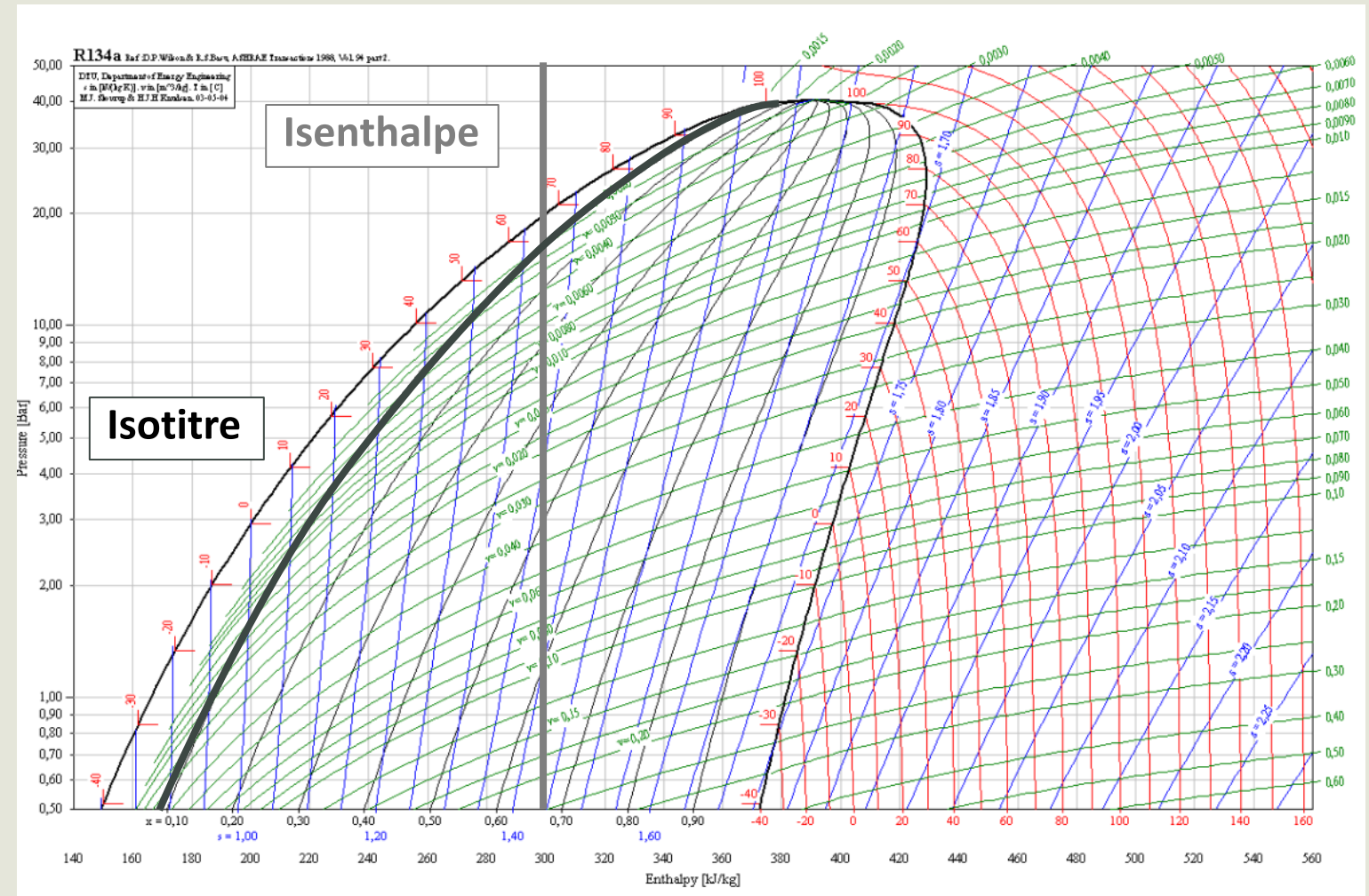


3. Mélange bi-phasique

Lecture d'un Diagramme P – h

Cas du gaz réfrigérant

R134a

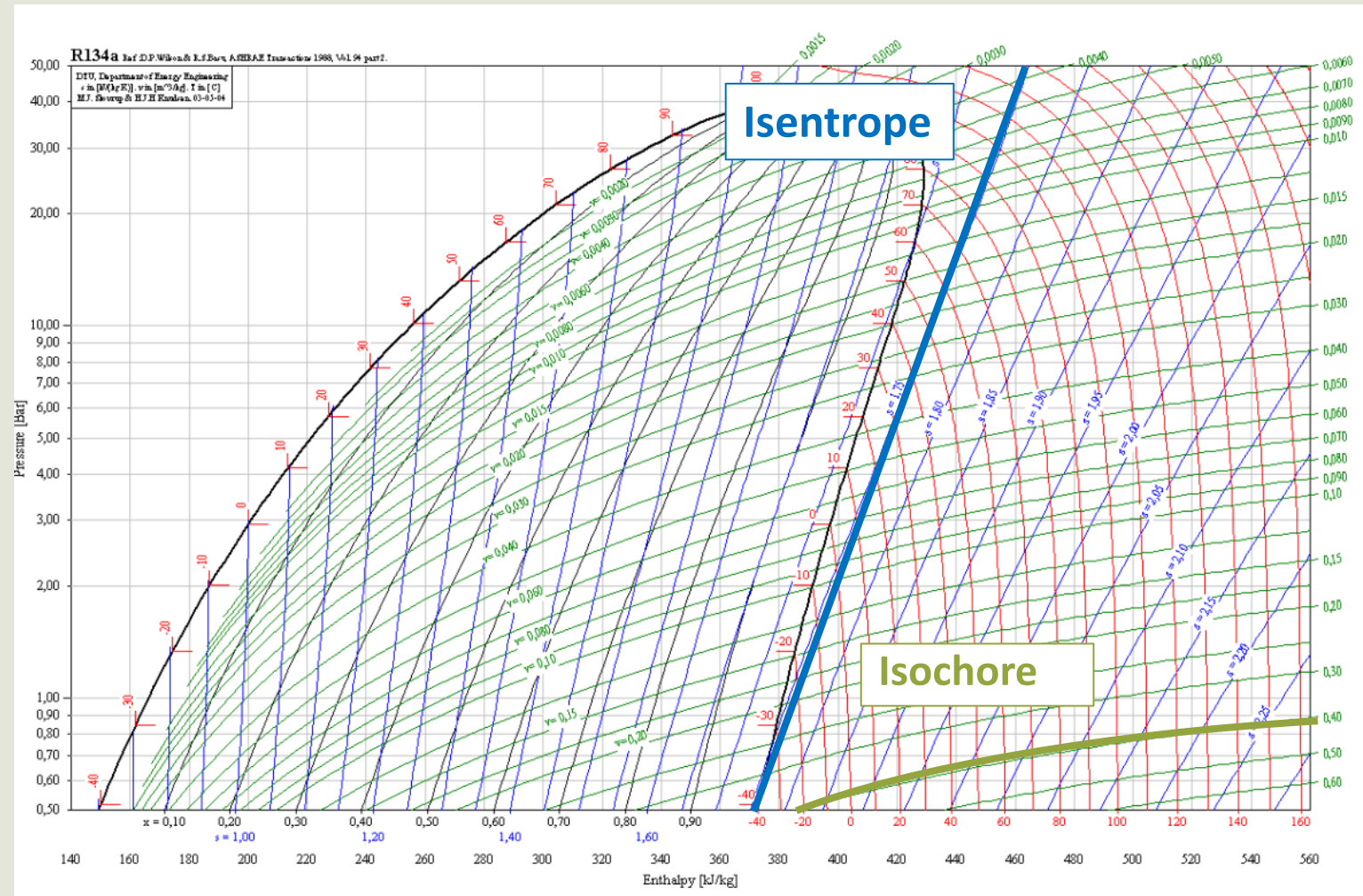


3. Diagrammes thermodynamiques

Lecture d'un Diagramme P – h

Cas du gaz réfrigérant

R134a



3. Pour bien utiliser les diagrammes !

L'interpolation linéaire

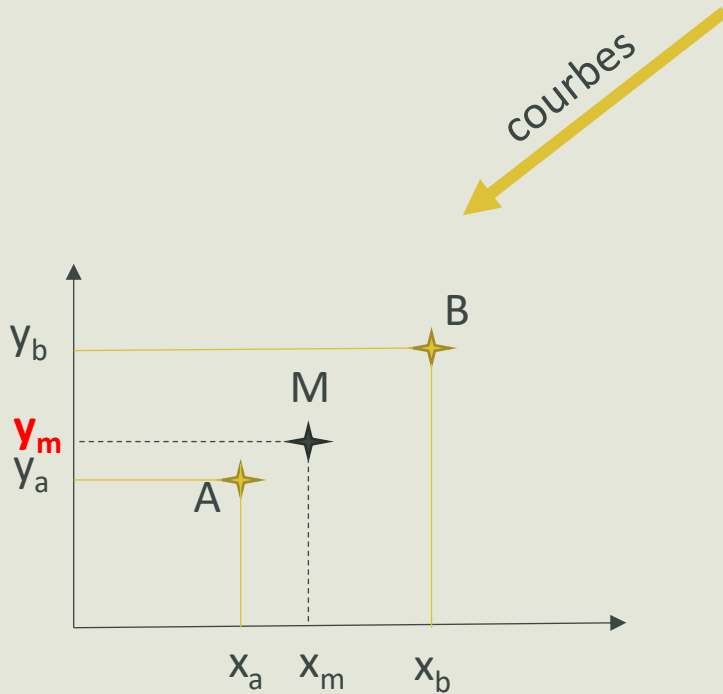
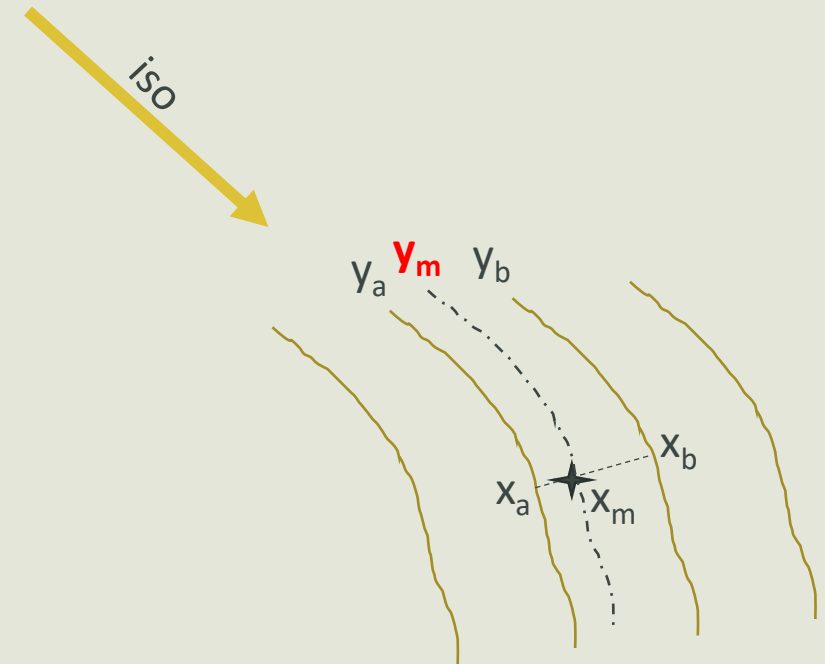


Diagram illustrating linear interpolation using a table. A yellow arrow labeled "Tables" points from the title "L'interpolation linéaire" to this table.

x_a	y_a
x_m	y_m
x_b	y_b



Que vaut y_m ?

Donner une expression du type $y_m = f(x_a, x_b, y_a, y_b, x_m)$