

Thermodynamique

IV - 2/4

Phs 2101

Automne 2001

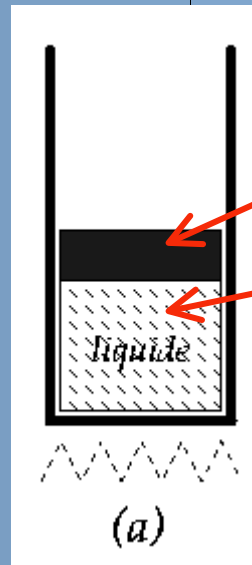
<http://www.crm.umontreal.ca/~physnum>

Substances pures: composante chimique unique et stable qui peut se présenter dans une phase liquide, gazeuse ou solide.

Exemple: l'eau, l'azote, mélange eau liquide plus glace... Par contre, l'air n'est pas une substance pure.

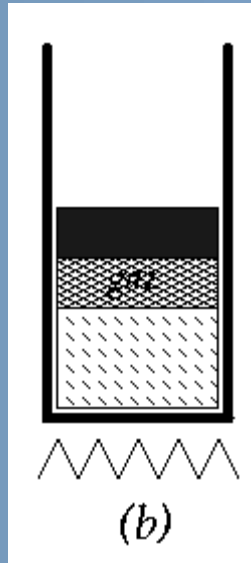
Substances simplement compressibles : pas d'effets électromagnétiques...

Exemple: un système constitué d'une masse d'eau enfermée dans un cylindre avec un piston mobile. Source extérieure de chaleur: possibilité de chauffer le système.



Le piston est mobile donc la pression reste constante

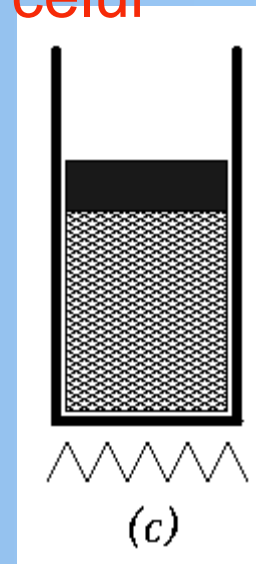
Le système est fermé: la masse d'eau reste constante

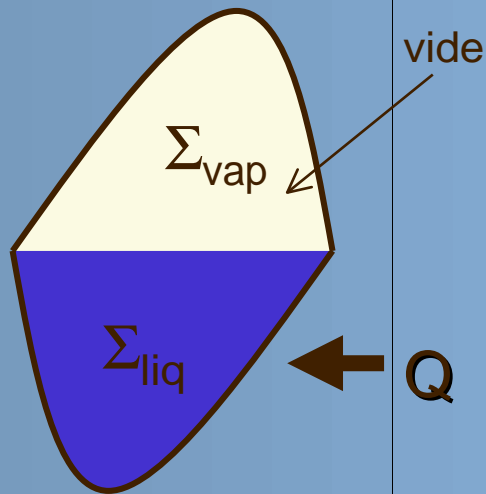


On chauffe: la température de l'eau augmente, son volume aussi (faible).

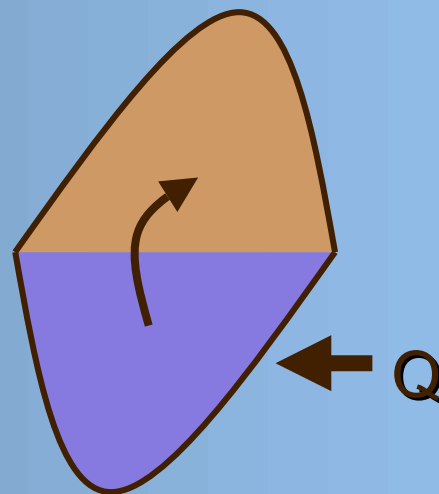
Des que la vapeur d'eau apparaît: la température reste constante, le volume d'eau liquide diminue, celui de la vapeur d'eau augmente.

La phase liquide disparaît, seule la phase vapeur subsiste et voit sa température et son volume augmenter a pression constante

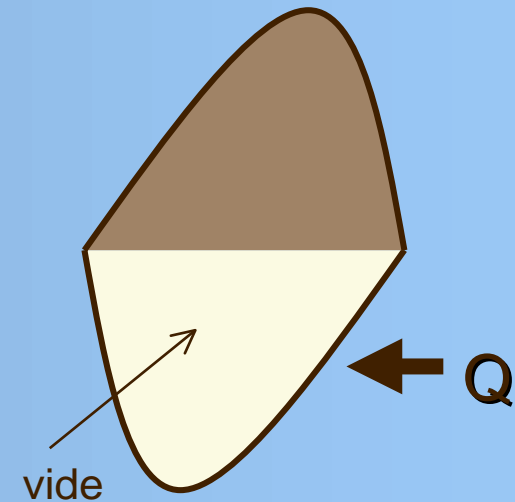




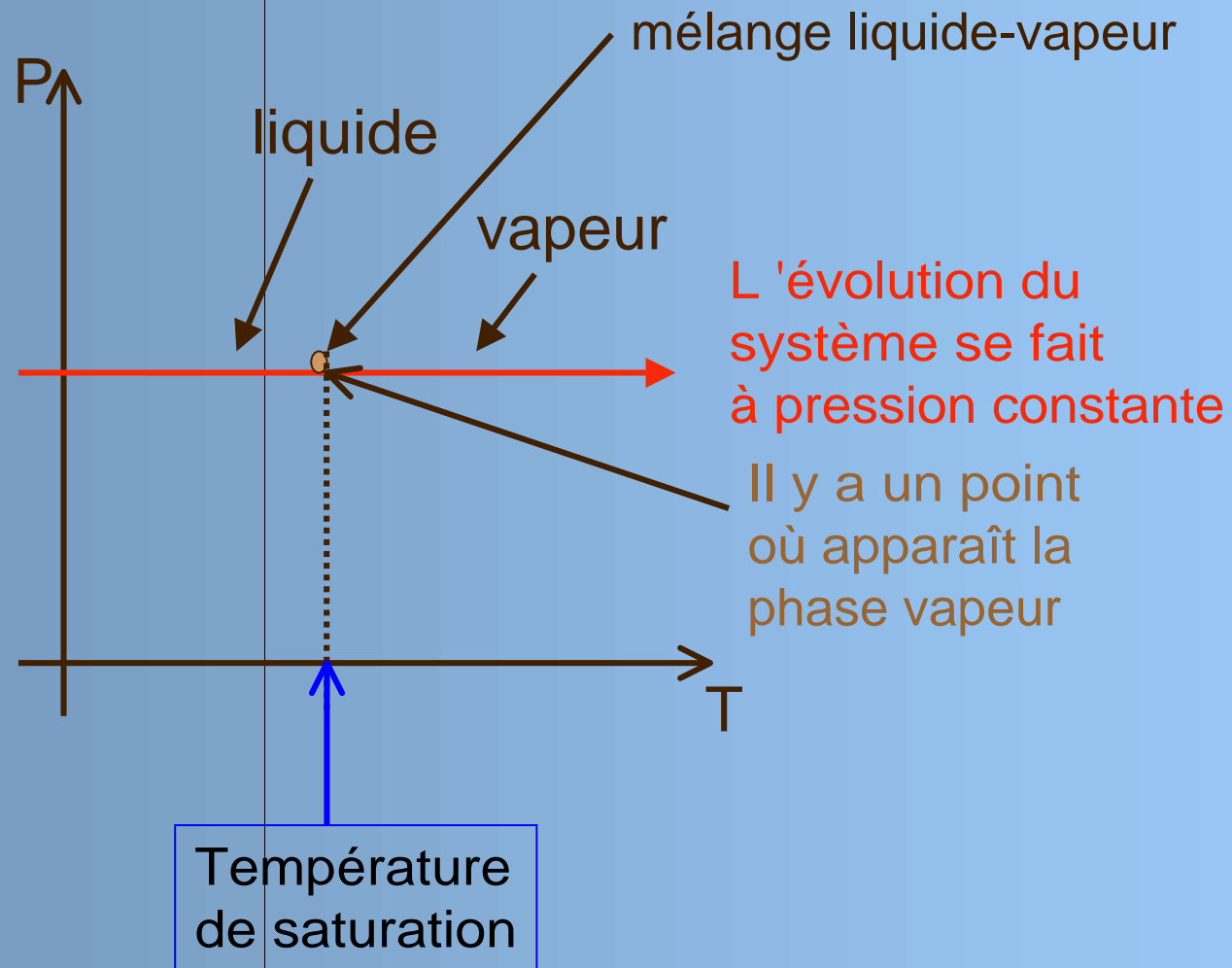
Système Σ :
 compose de Σ_{liq}
 et de Σ_{vap} (vide).
 Le système évolue à
 pression constante.
 Le volume et la
 température de Σ_{liq}
 augmentent

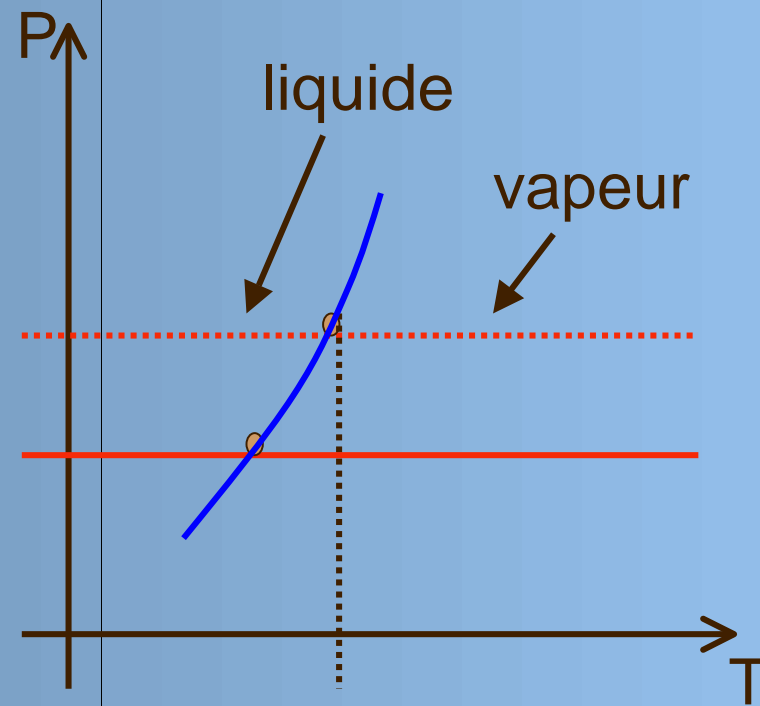


La phase vapeur
apparaît: transfert
 de masse vers Σ_{vap} .
 L'énergie Q sert
 uniquement au
 transfert de masse:
 la température
 reste constante.

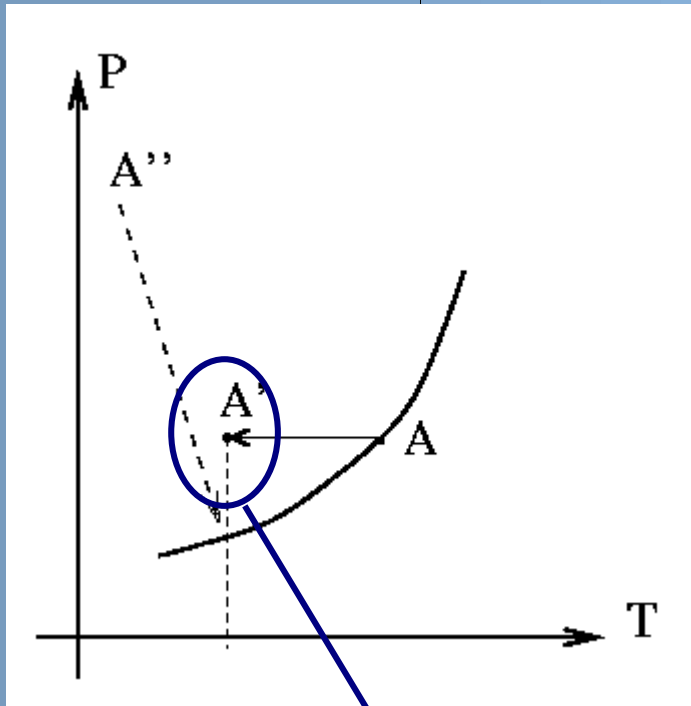


La phase liquide
 a complètement
disparu:
 Le volume et la
 température de Σ_{vap}
 augmentent





Courbe de vaporisation



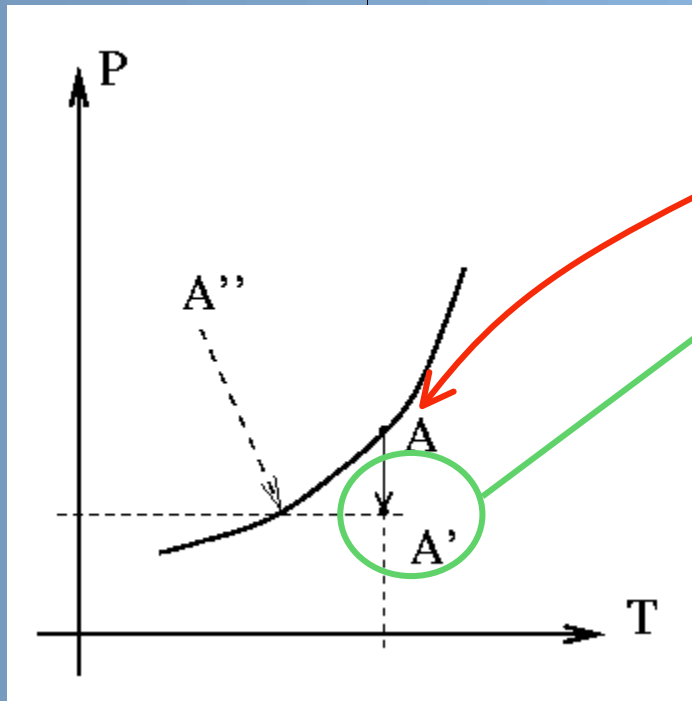
Point A: vaporisation
(liquide saturé)

Point A ' : juste avant la
vaporisation

Point A ' ' : température de A '
et pression de vaporisation

La température < température de
saturation: liquide sous-refroidi,
la pression > pression de saturation:
liquide comprimé.

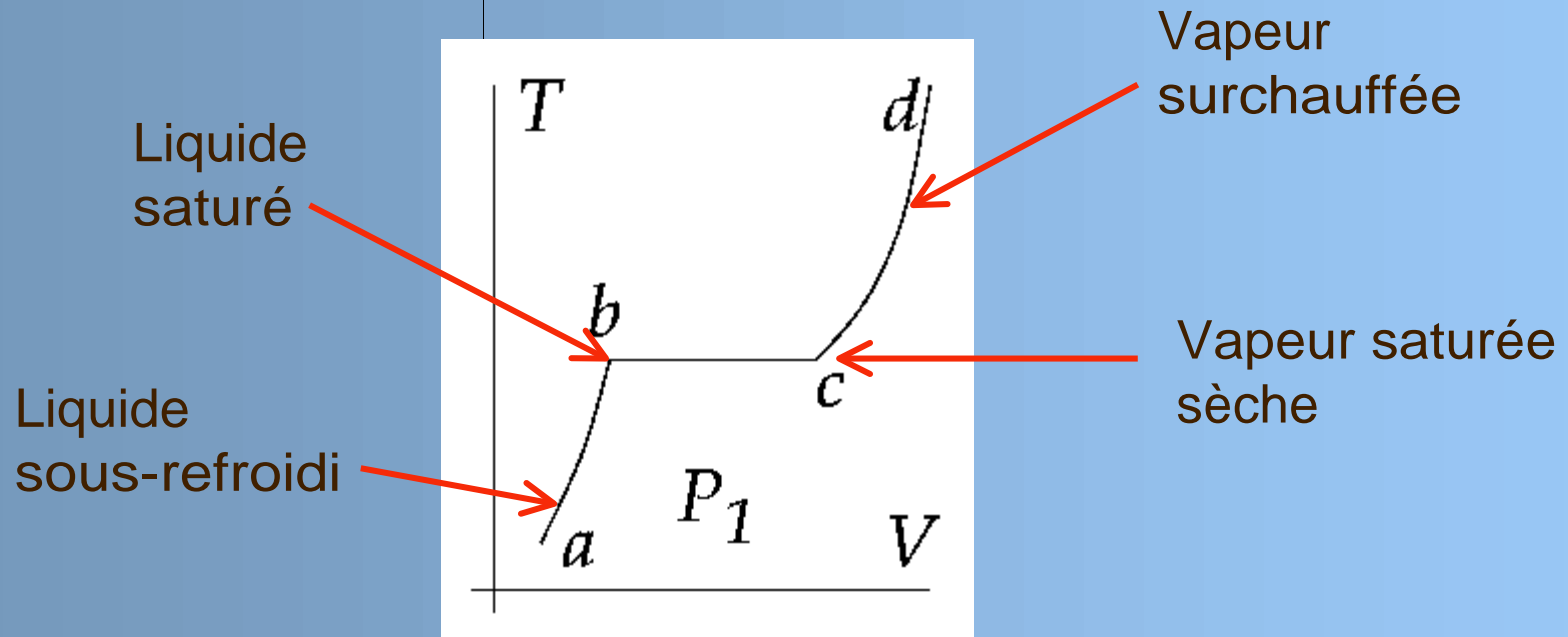
De même, si on se place du cote de la phase vapeur:



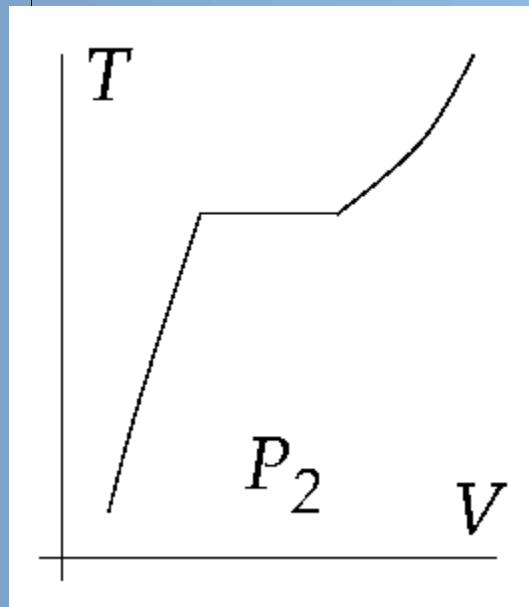
Vapeur sèche

Vapeur surchauffée

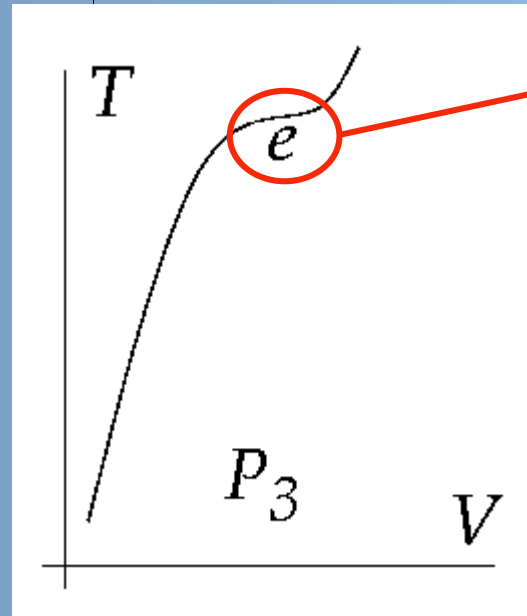
Dans le plan (T,V): l'évolution à pression constante



A une autre pression (plus élevée):



A une pression encore plus élevée:



POINT
CRITIQUE

Eau:

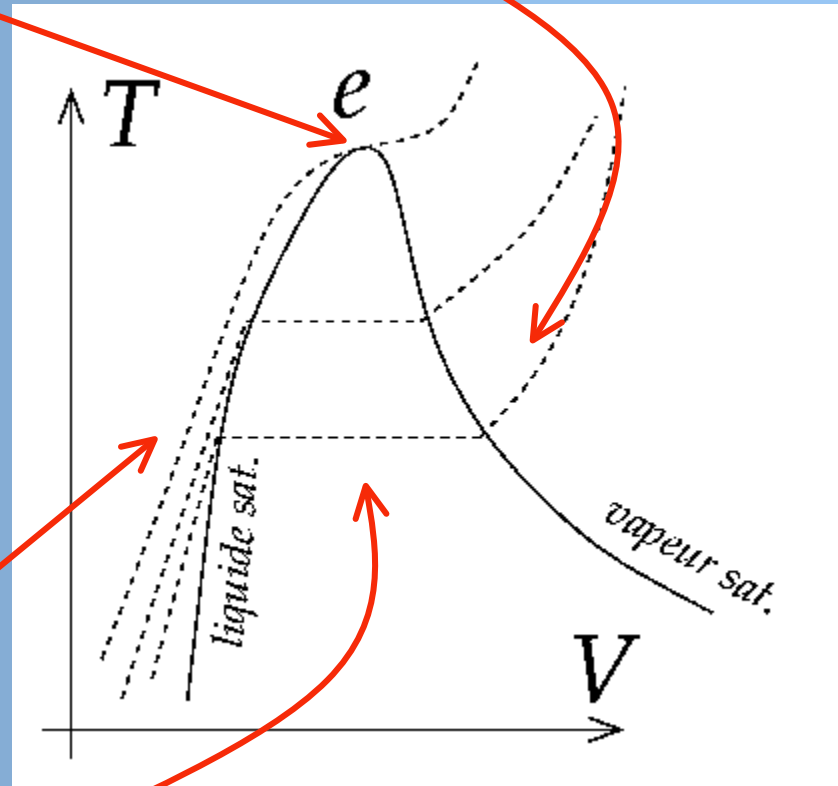
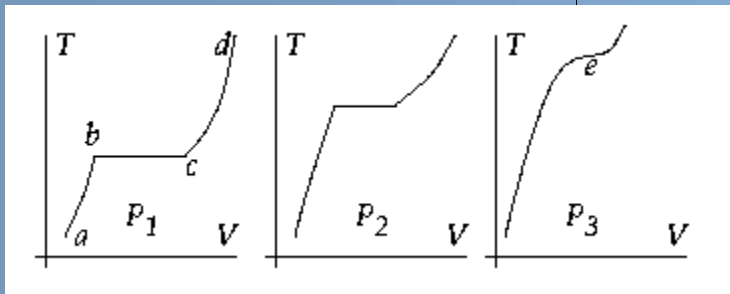
$P_c = 22.09 \text{ MPa}$

$T_c = 374.14 \text{ °C}$

$V_c = 0.003 \text{ m}^3/\text{kg}$

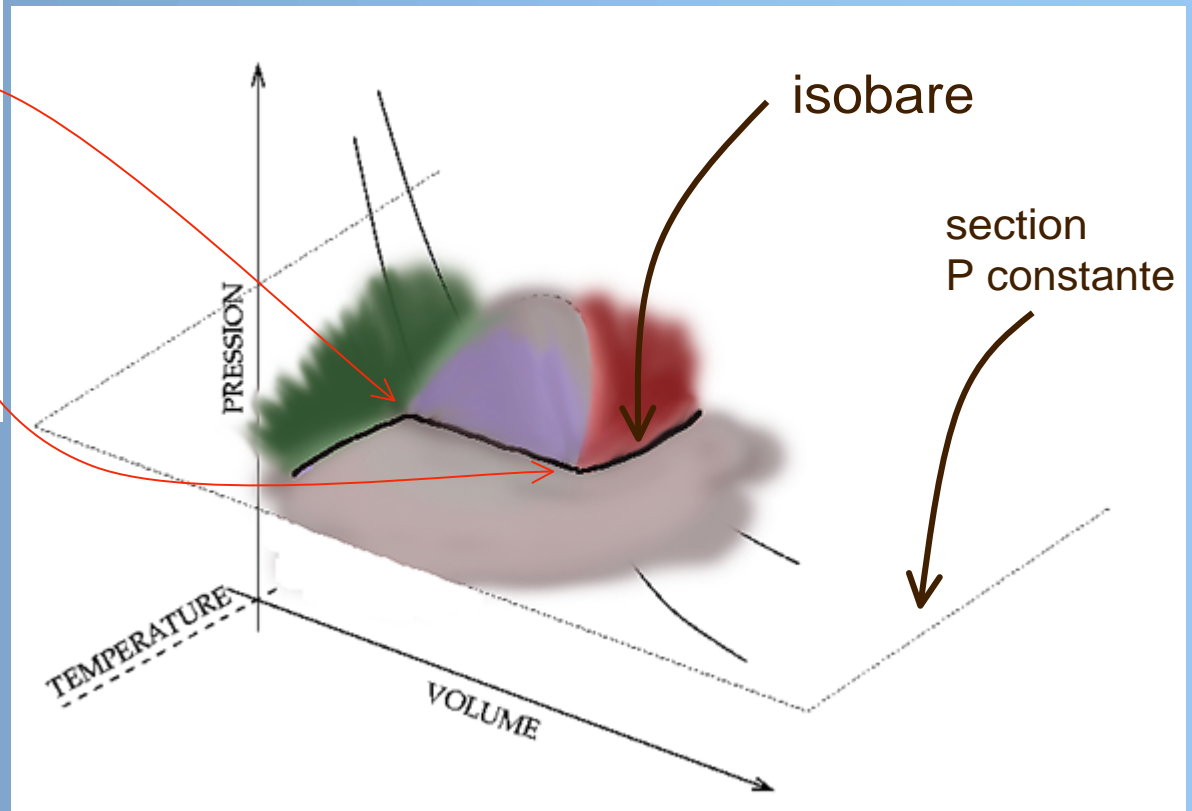
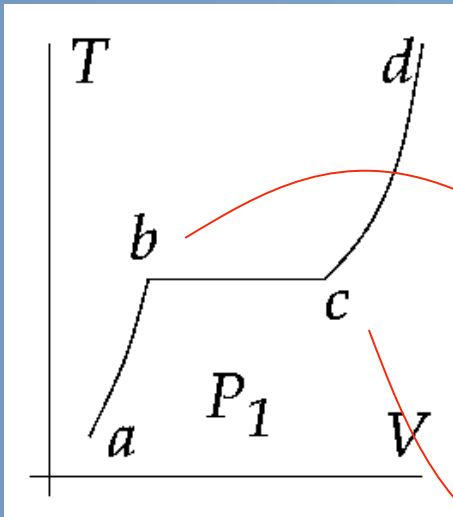
Phase vapeur

Point critique

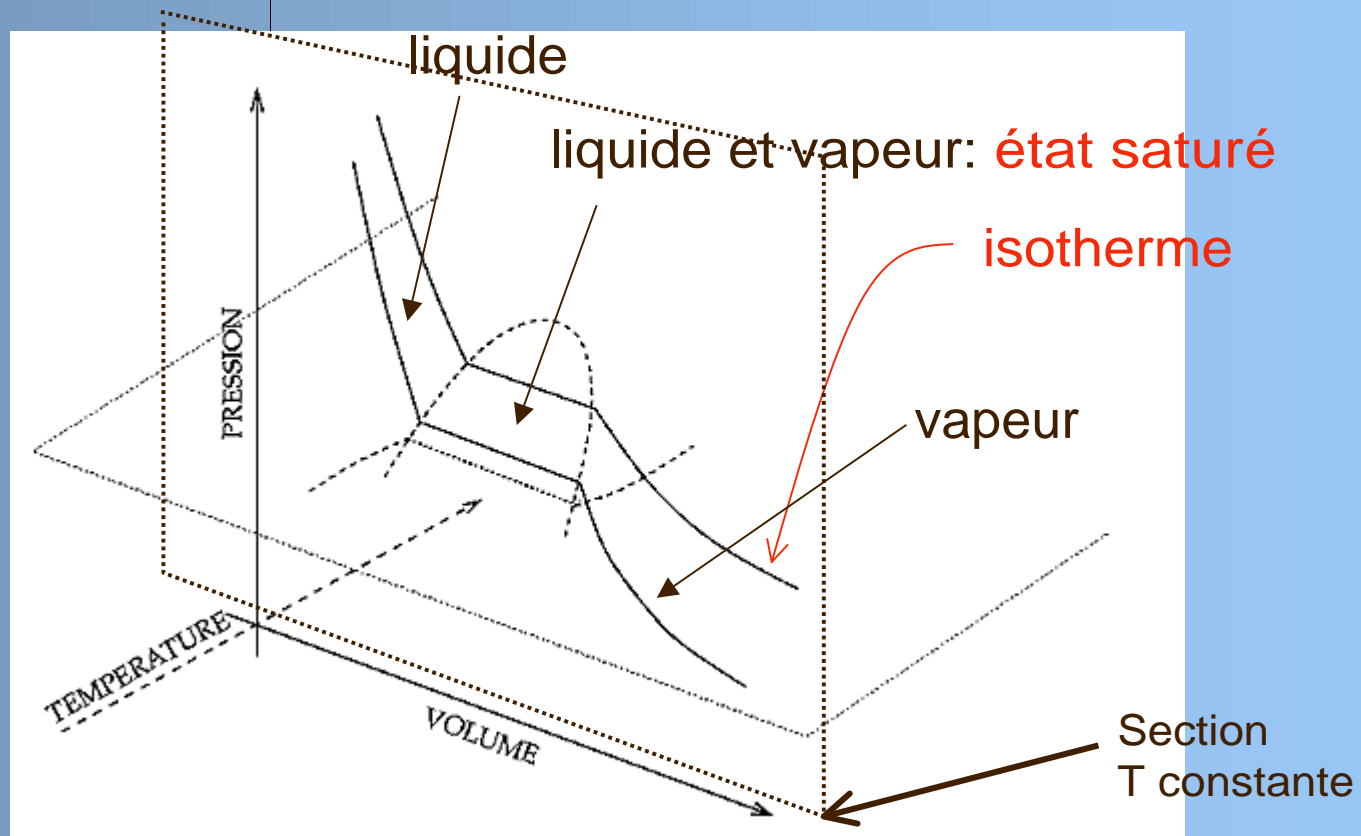


Phase liquide

Liquide et vapeur



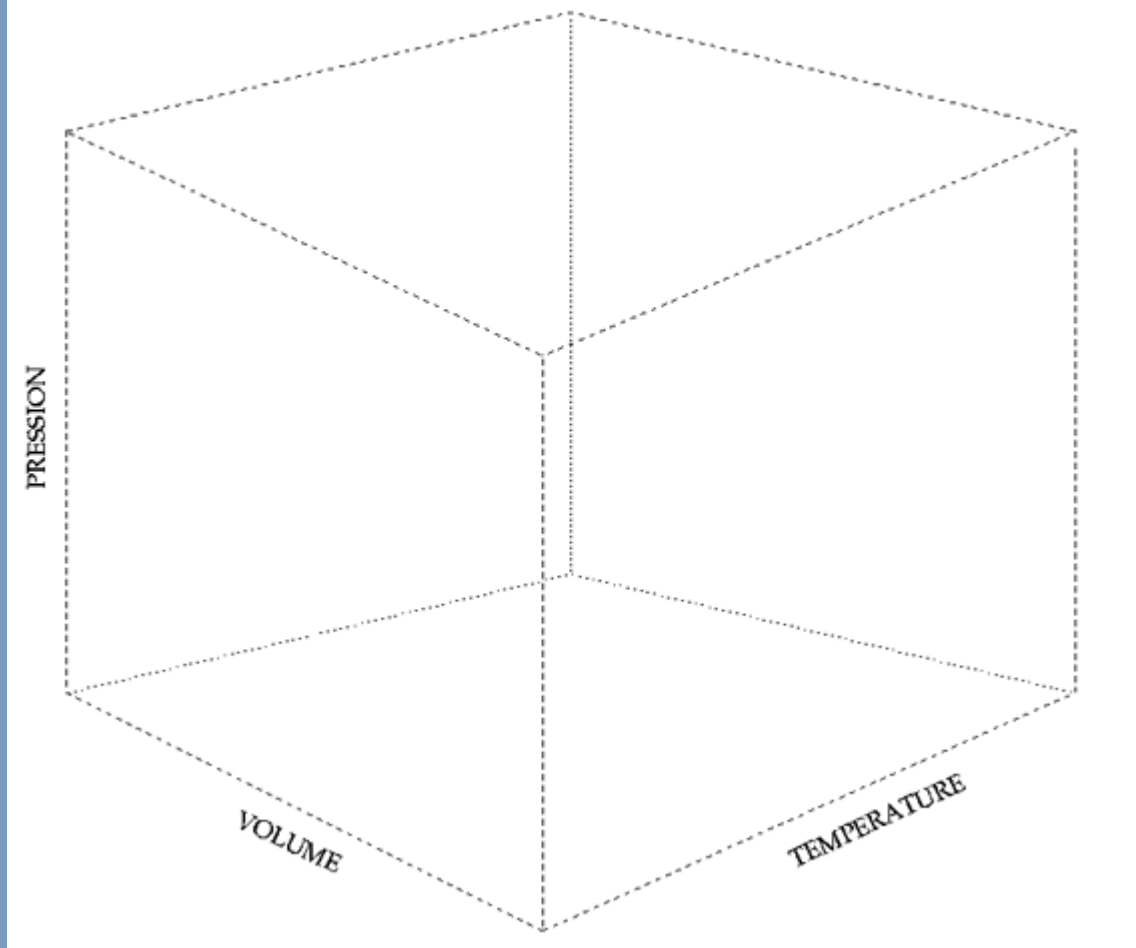
Il y a **2** variables indépendantes: surfaces d'équilibres

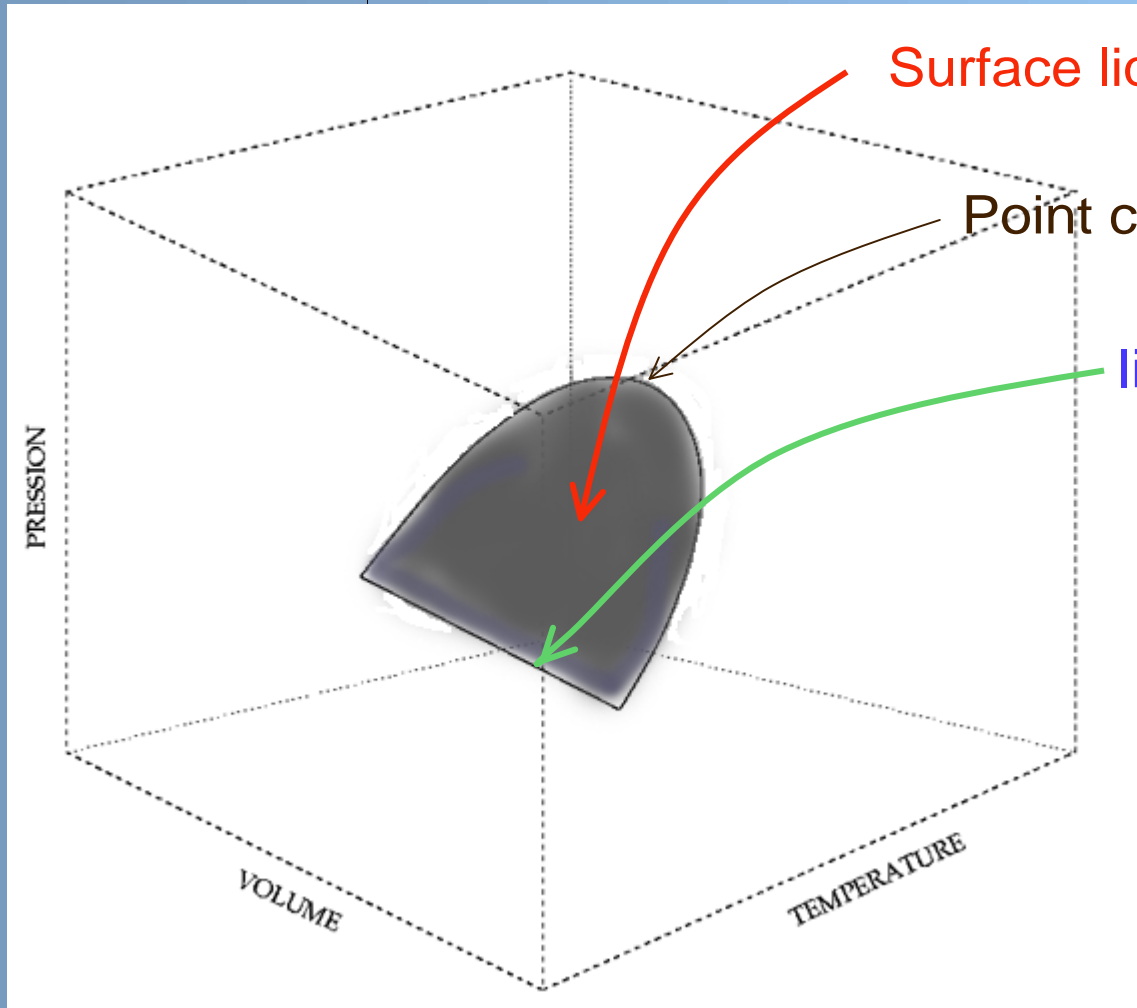


Thermodynamique - PHS 2101

J.M. Lina

On considère une unité de masse (1 kg)





Surface liquide-vapeur

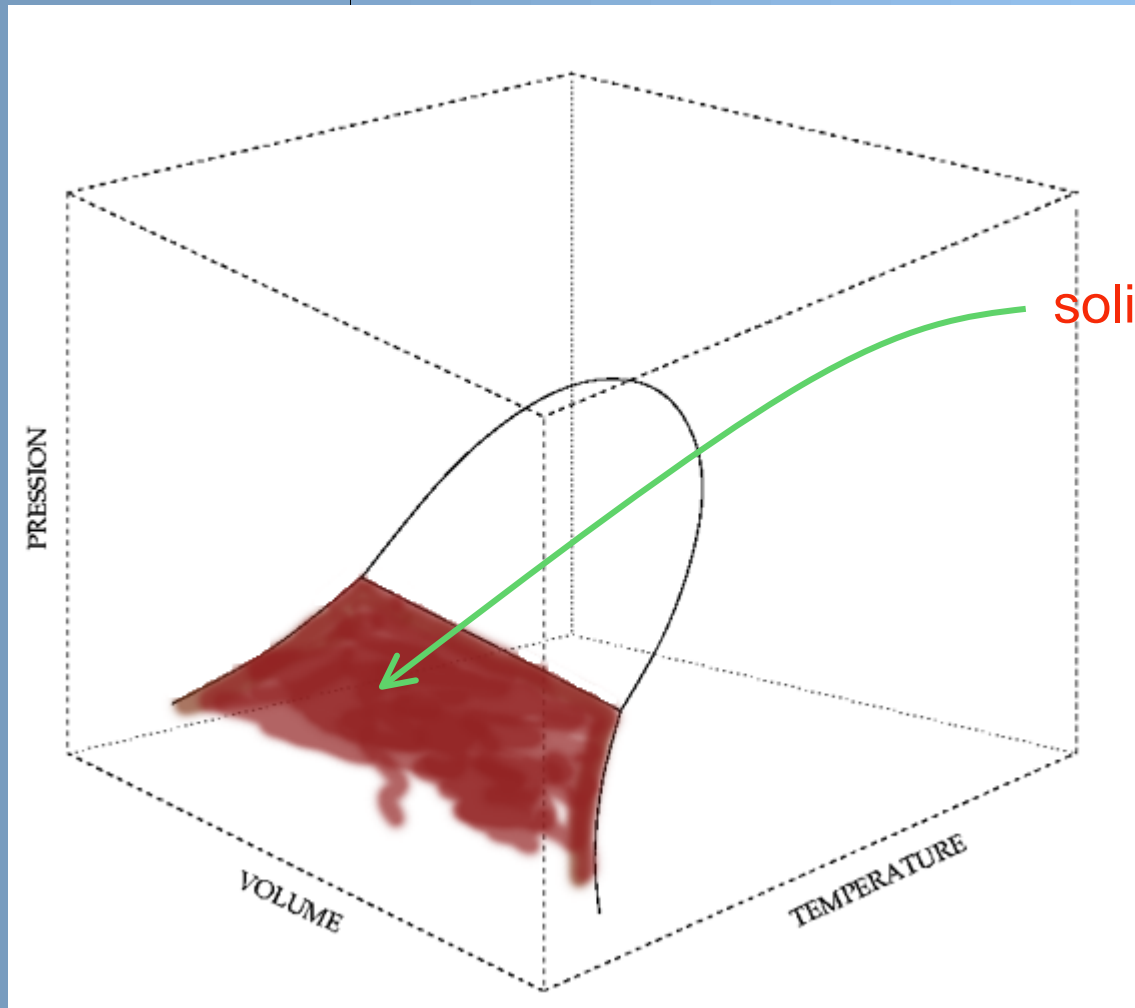
Point critique

ligne triple

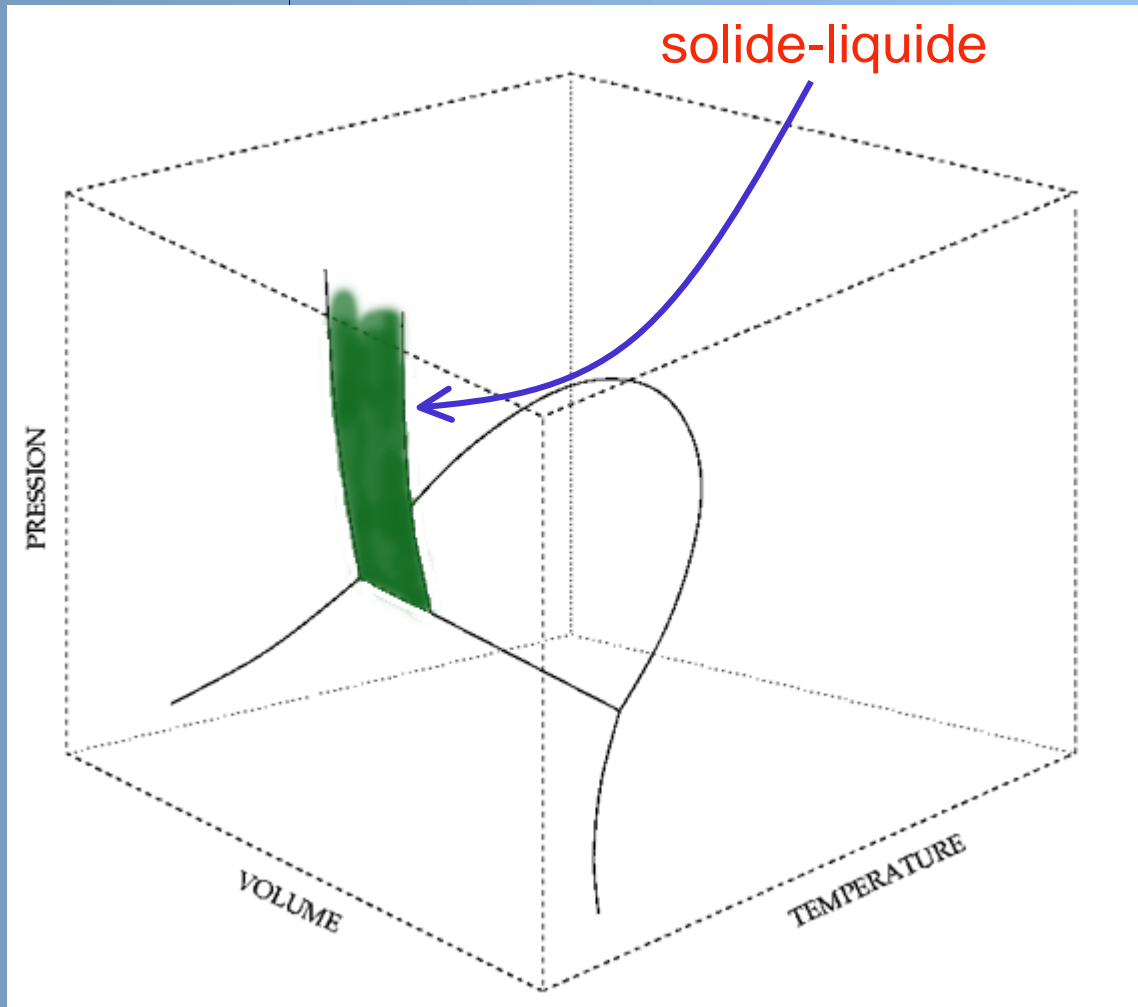
PRESSION

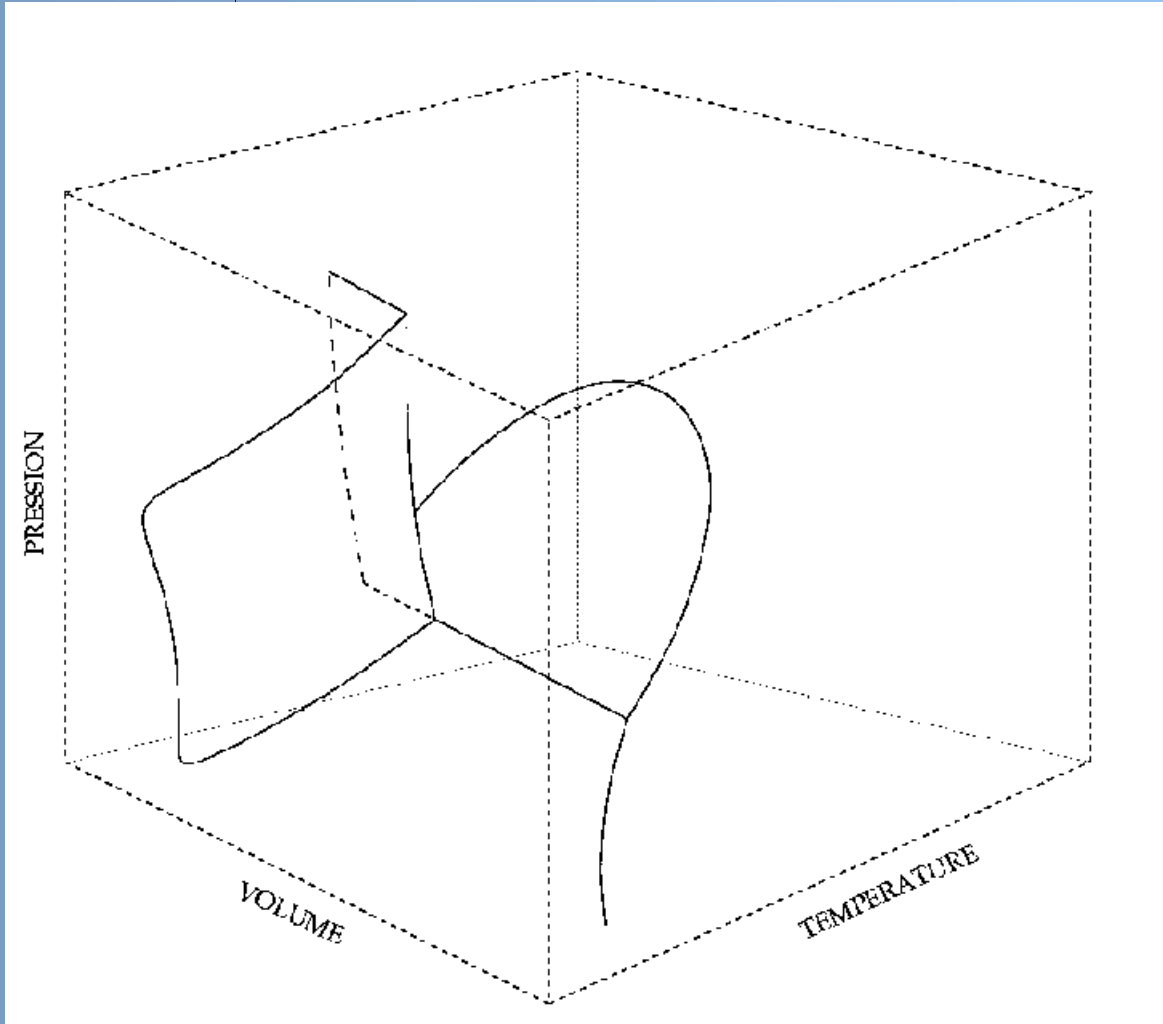
VOLUME

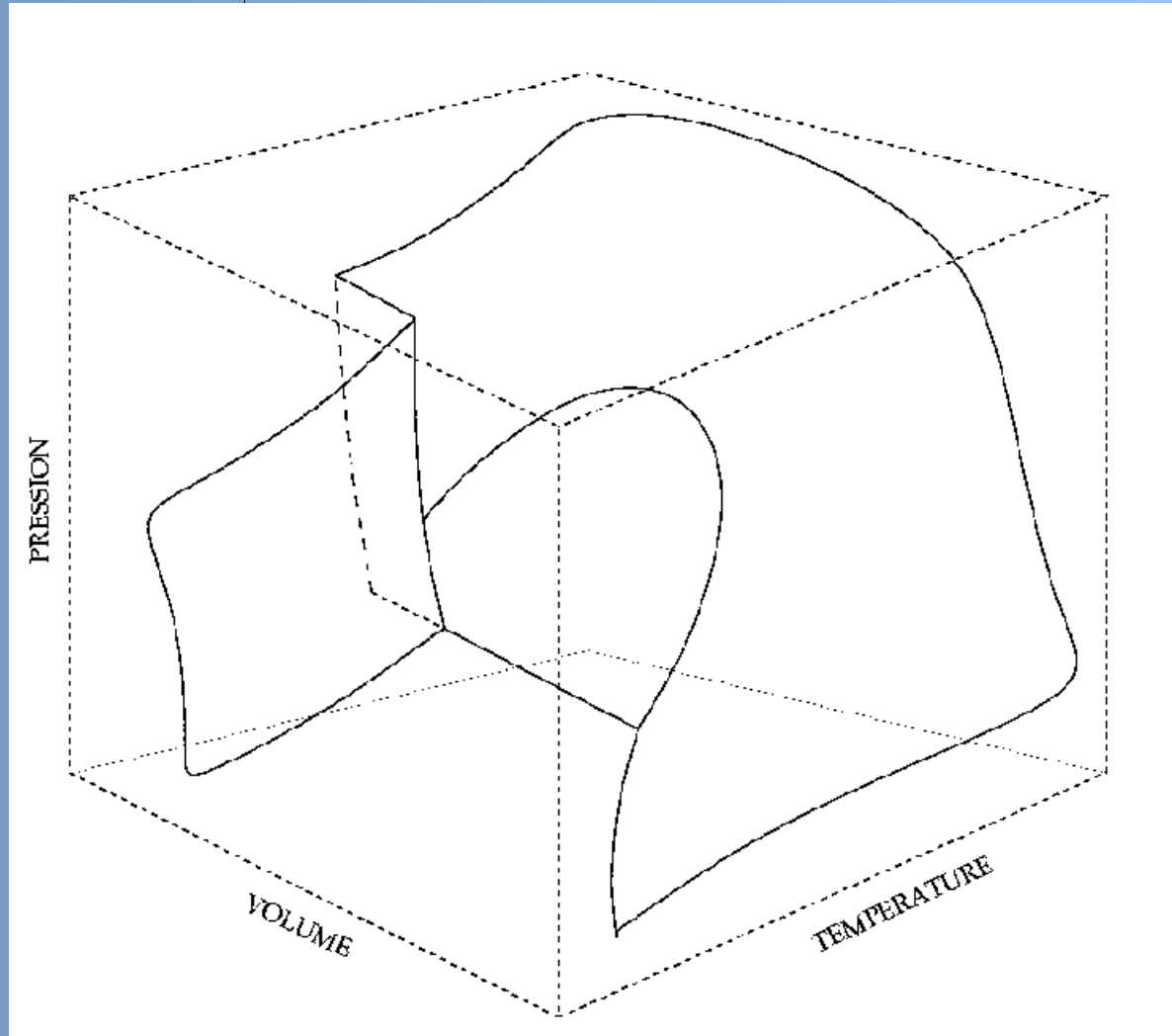
TEMPERATURE

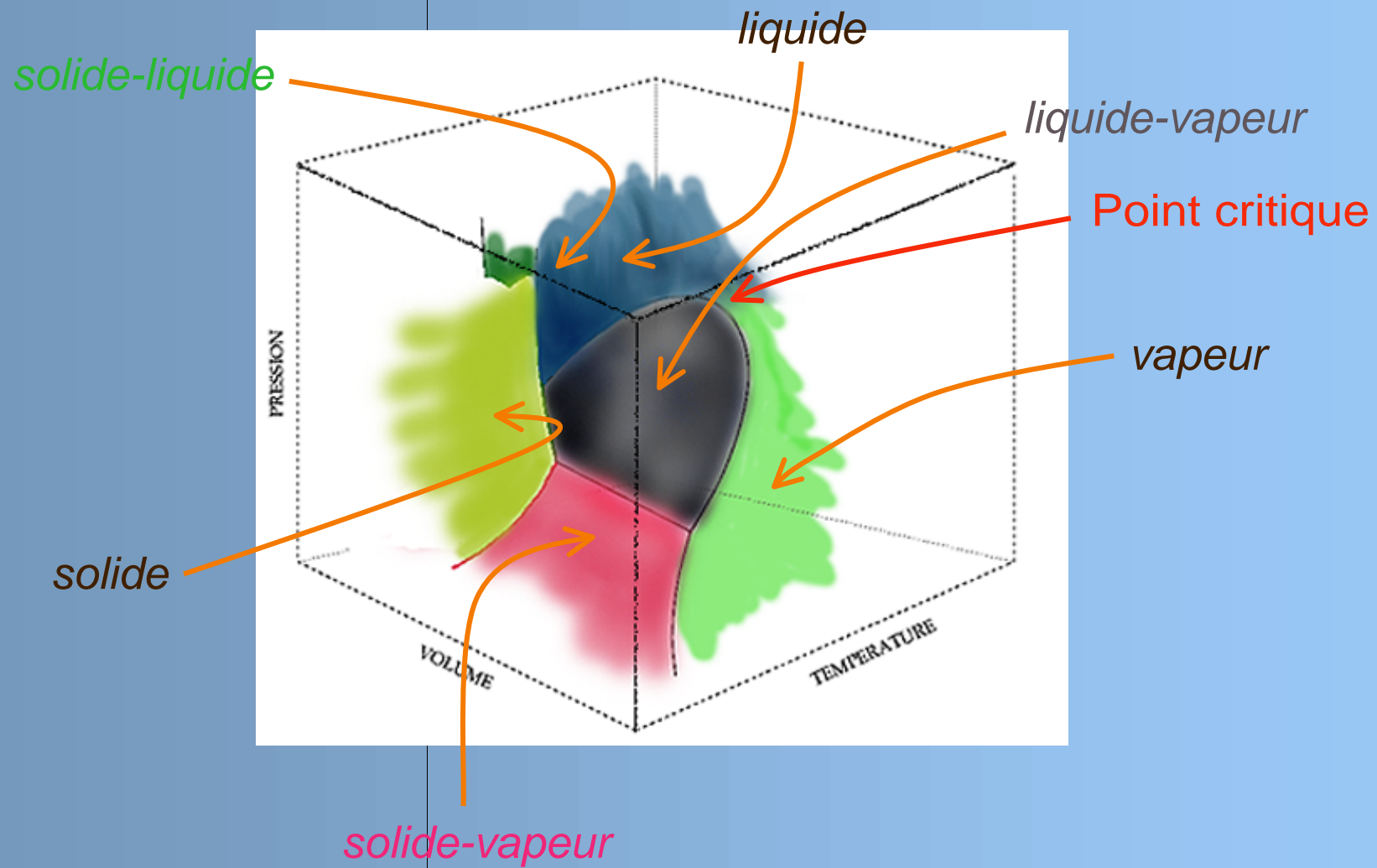


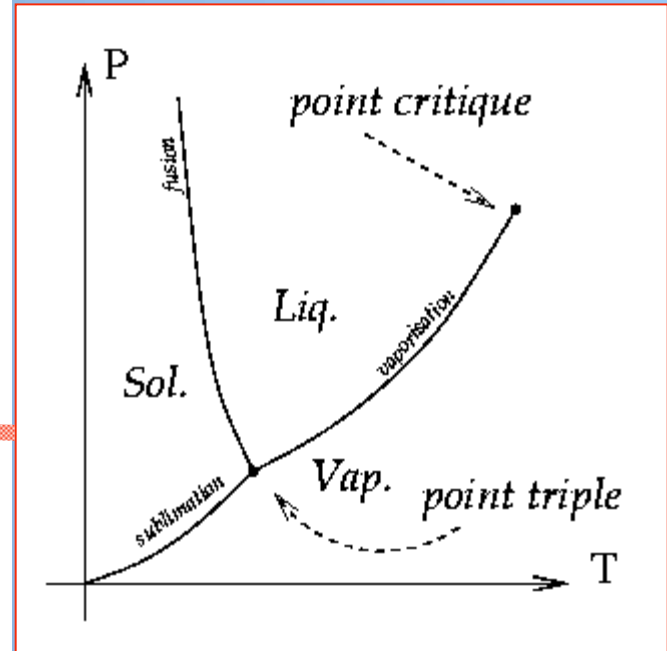
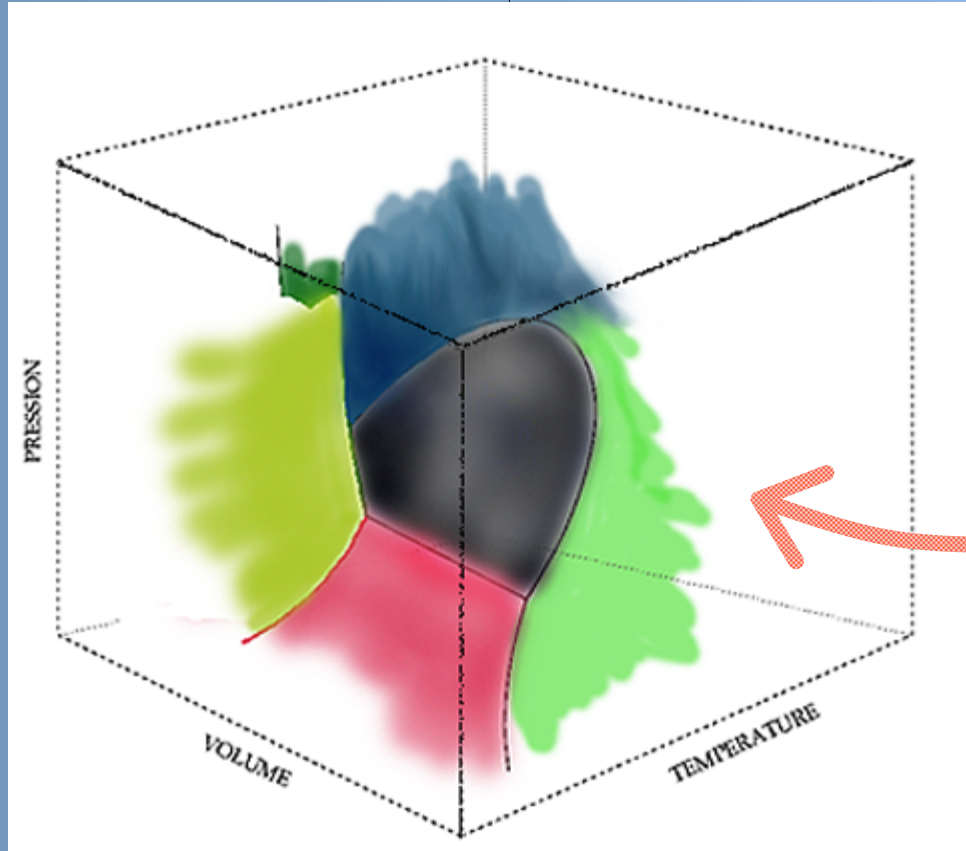
solide-vapeur

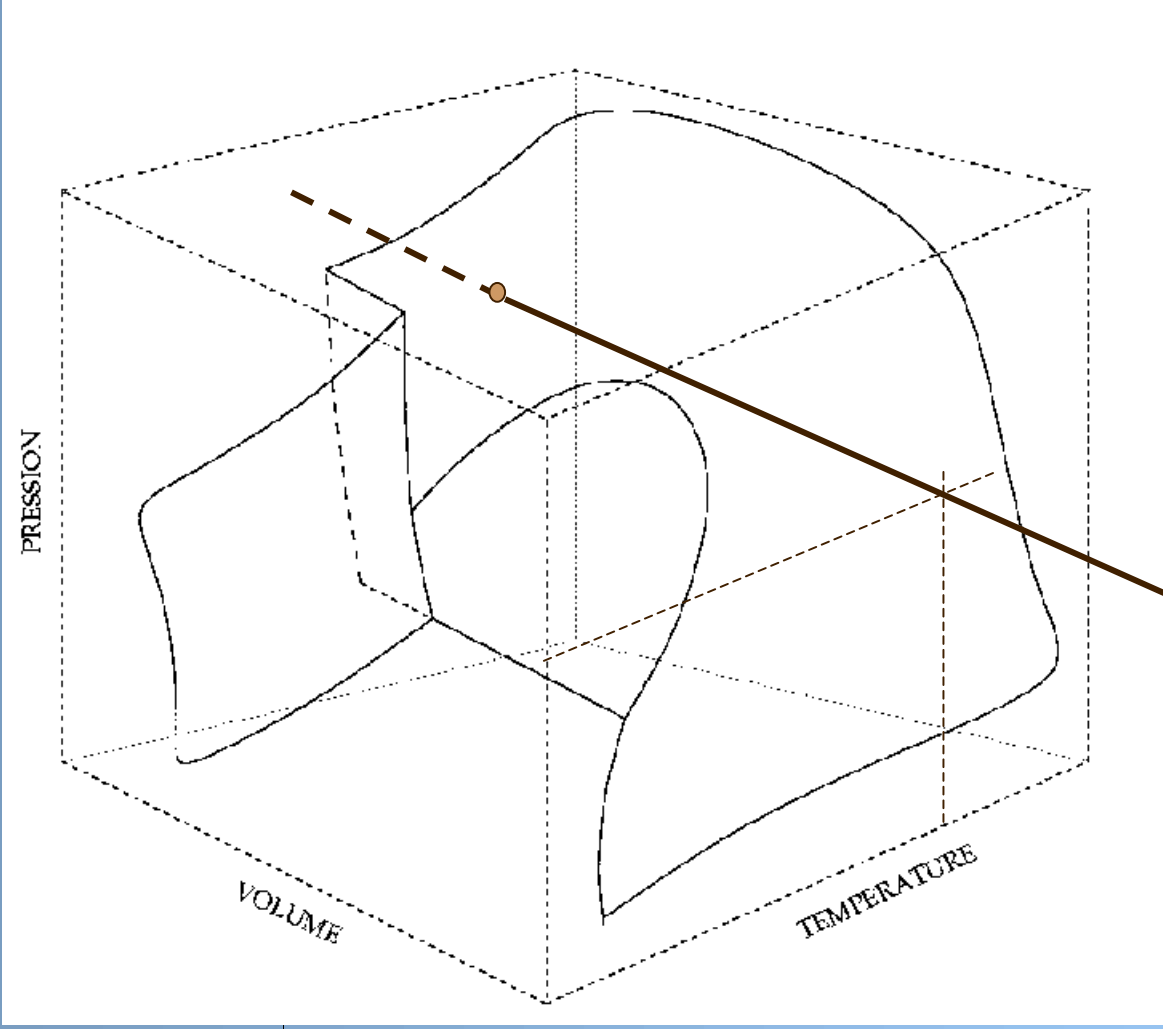




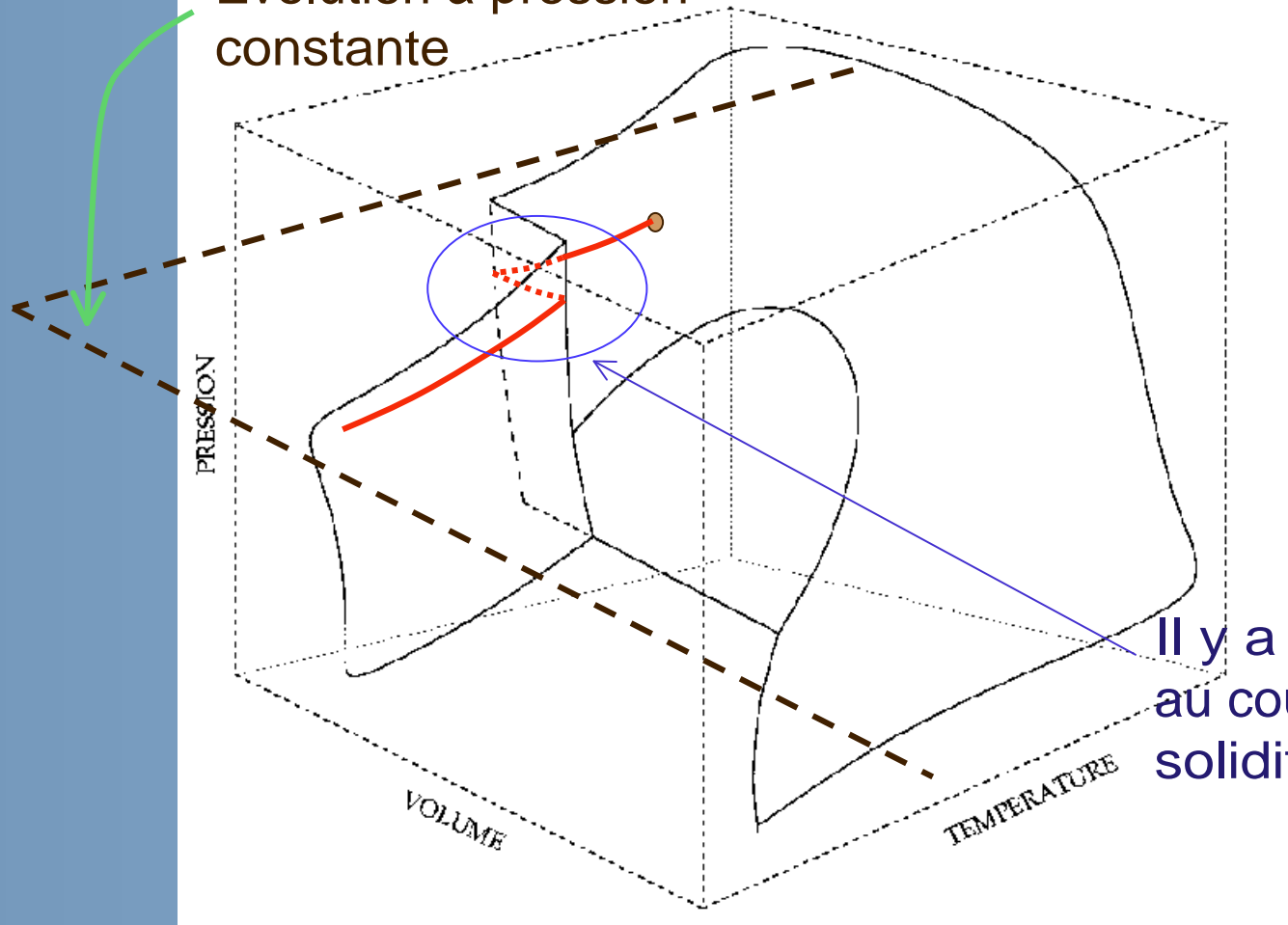




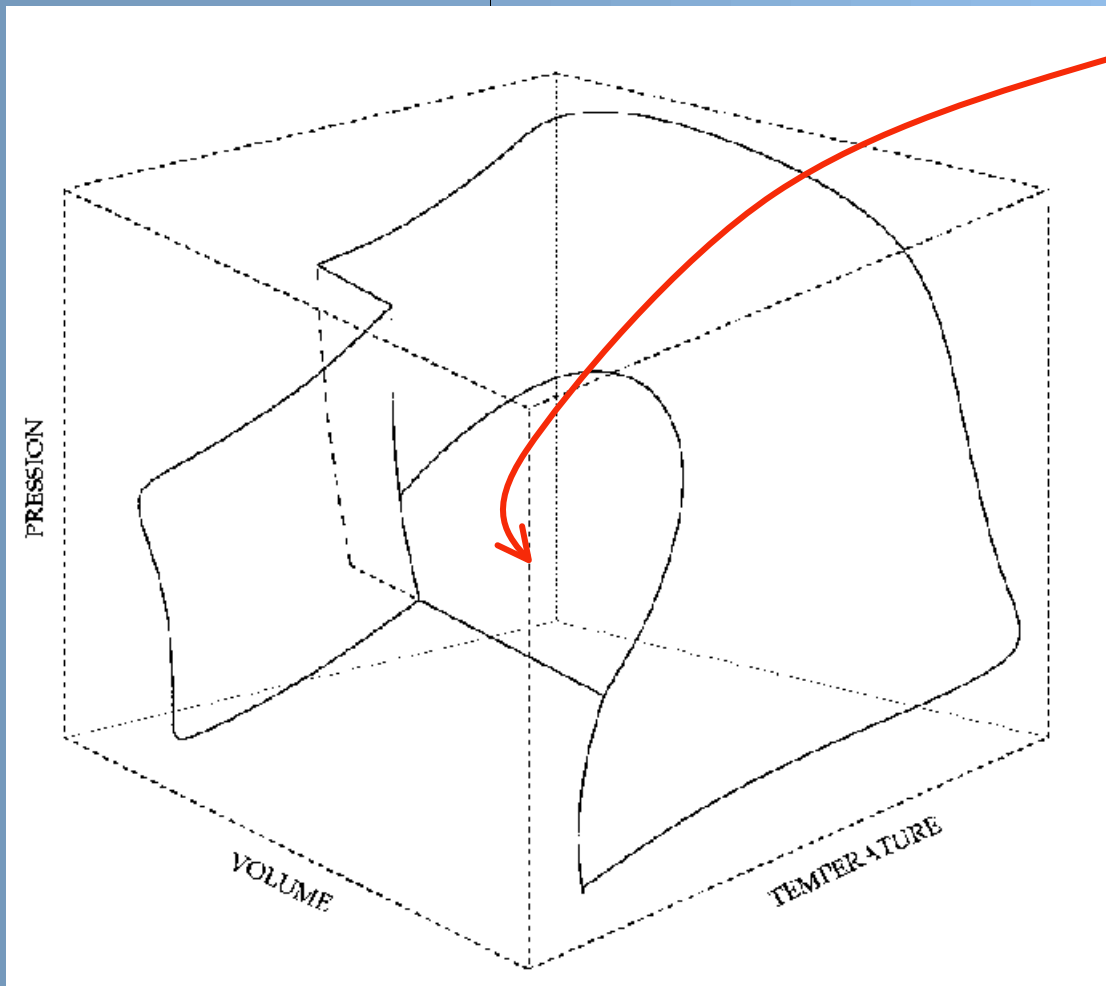




Évolution à pression constante



Il y a dilatation au cours de la solidification

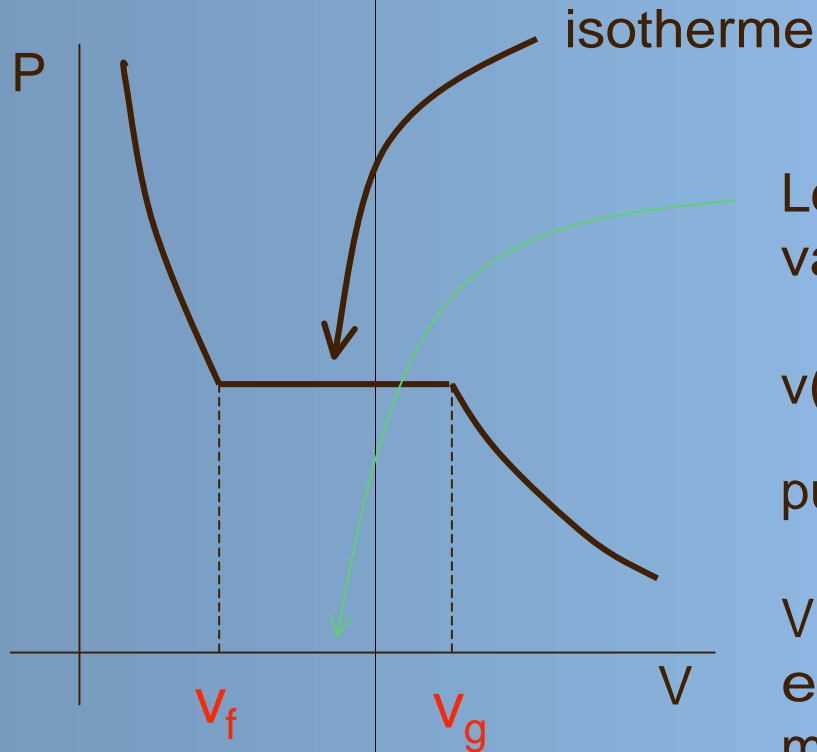


Un point sur cette surface: mélange liquide-vapeur.
Pour le caractériser: le titre x ,

$$x = m_{\text{vap}} / m$$

m est la masse totale,
 x est une quantité comprise entre 0 et 1.

(diagramme de Clapeyron)



Le volume massique, $v = V/m$,
vaut ici:

$$v(x) = (1-x) v_f + x v_g$$

puisque

$$V = m_{\text{liq}} v_f + m_{\text{vap}} v_g$$

et

$$m_{\text{liq}}/m = 1-x, \quad m_{\text{vap}}/m = x$$

(pour une unité de masse, 1 kg)

L 'usage des tables:

T	P sat.	V _{liq.sat}	V _{vap. Sat.}	...
200	1.55	0.001	0.127	...

(H₂O, c.f. Table A.1.1, page 692 de VWSD)

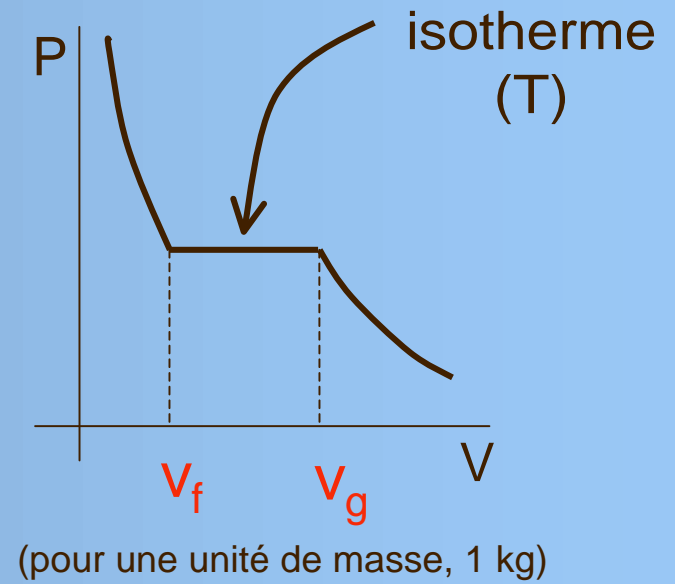
°C

MPa

m³/Kg

P	T sat.	V _{liq.sat}	V _{vap. Sat.}	...
1.50	198.3	0.001	0.131	...

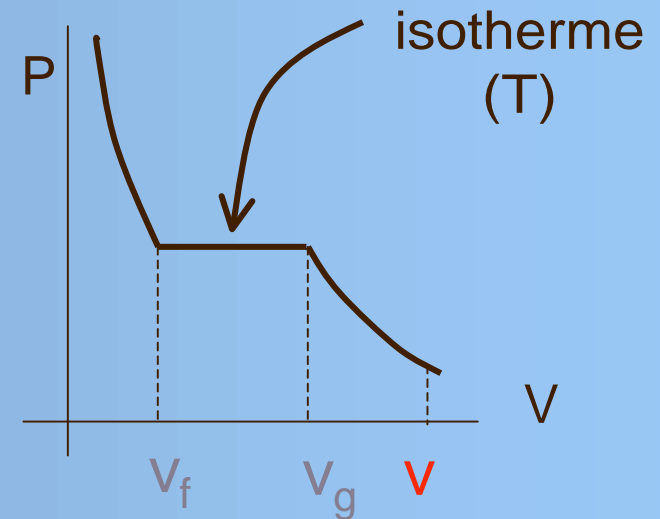
(H₂O, c.f. Table A.1.2, page 695 de VWSD)



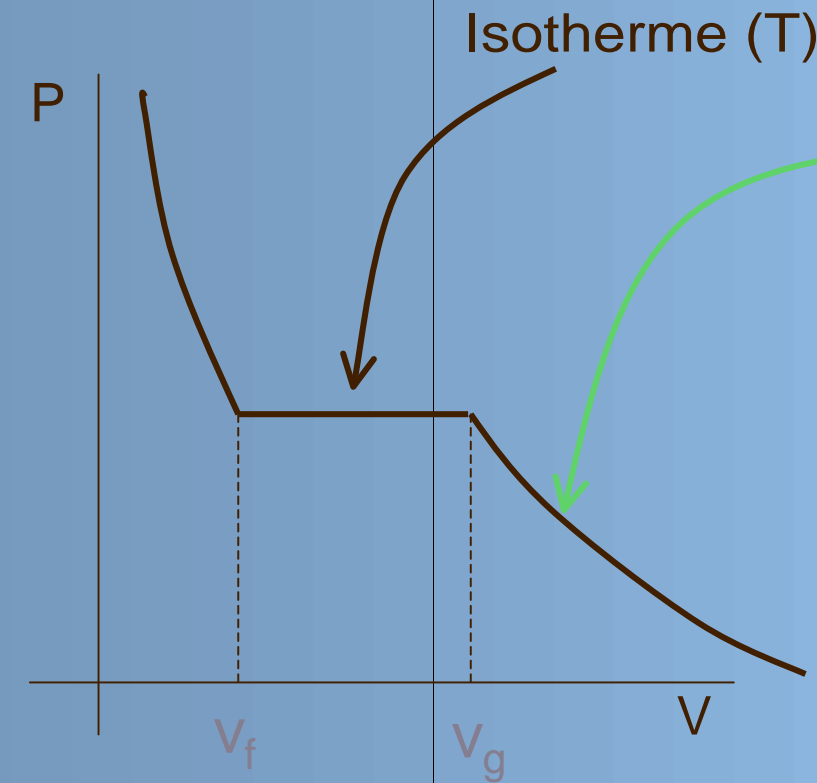
L 'usage des tables: vapeur surchauffée

	<u>$P = 1.40 \text{ MPa}$</u>	
T	v	
200	0.143	...

(H₂O, c.f. Table A.1.3, page 699 de VWSD)



(pour une unité de masse, 1 kg)



(pour une unité de masse, 1 kg)

Comportement d'un
GAZ PARFAIT:

$$P V = \text{const.}$$

Il s'agit d'un modèle qui
peut être plus complexe
pour certaines substances.

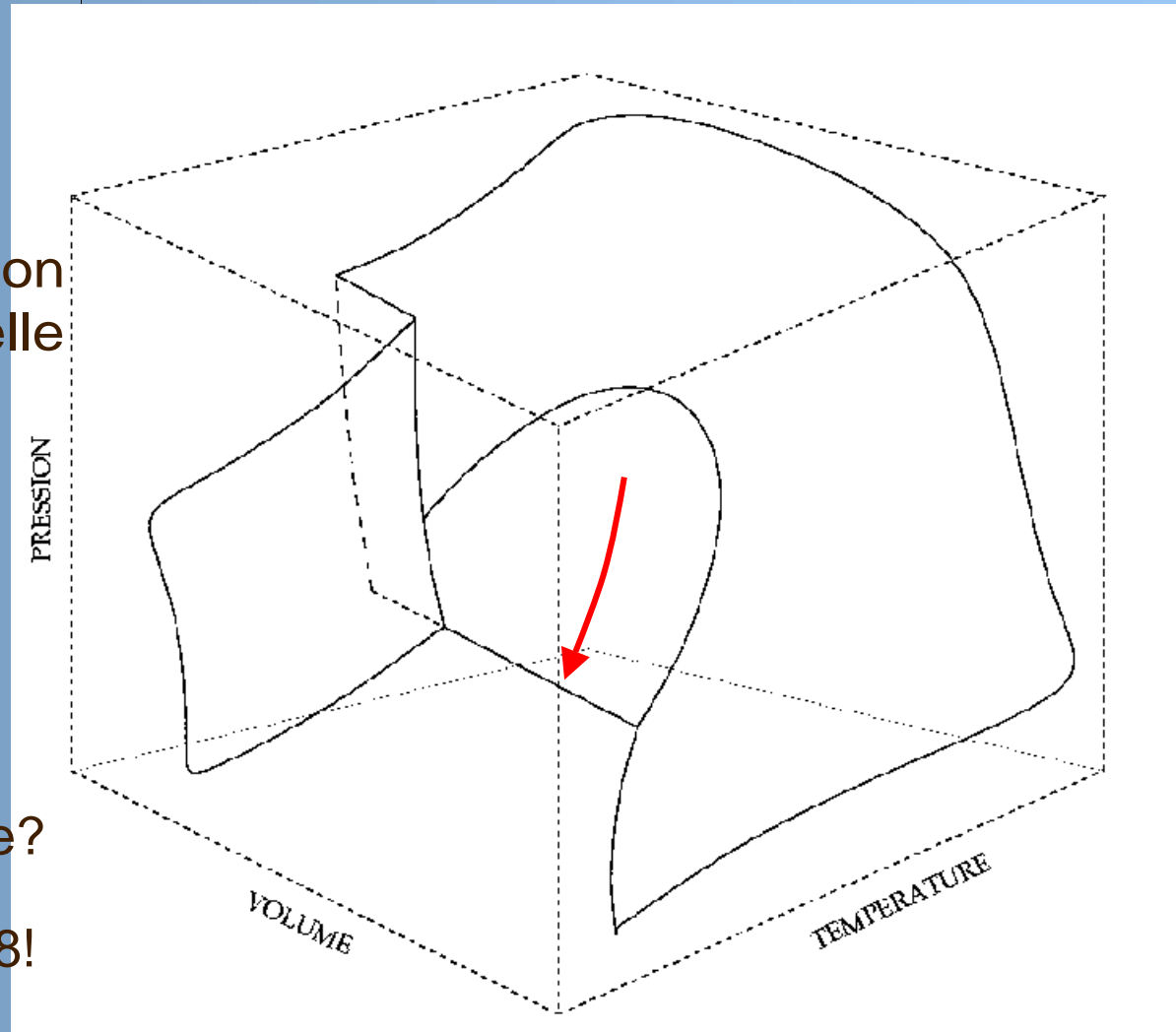
En général: les tables décrivent
ces courbes (**GAZ REELS**).

Question:

la transformation
ci-contre est-elle
possible?

Si oui, à quoi
correspond-elle?

... janvier 1998!

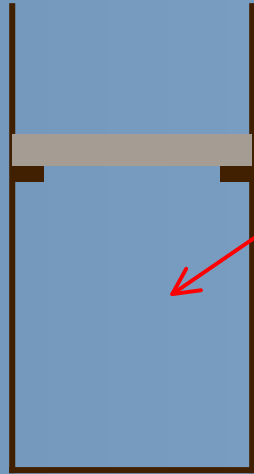


EXERCICE 10: No. 4.8, p.78

Le cylindre représenté à la fig.4.15 (p.79) contient 1 kg d'eau saturée à 30 °C. Le piston a une section de 0.065 m² et une masse de 40 kg; il repose sur des butées. Au départ, le volume est de 100 litres; la pression atmosphérique ambiante est de 94 kPa et l'acc. gravit. est de 9.75 m/s². On fournit de la chaleur au système jusqu'à ce que le cylindre contienne de la vapeur saturée.

A) Quelle est la température de l'eau au moment où le piston commence à s'élever au-dessus des butées ?

B) Calculez le travail accompli par l'eau durant l'évolution entière.



1 kg de mélange liqu-vap. à 30 °C
volume = 100 10⁻³ m³

donc $v = 0.1 \text{ m}^3/\text{kg}$

A) Pour soulever le piston, il faut que la pression soit égale à

$$P_{atm.} + \frac{m \cdot g}{S} = 94 \cdot 10^3 + 6 \cdot 10^3 = 1.0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Supposons qu'au moment où le piston se soulève (i.e. $P = 10^5 \text{ Pa}$) nous soyons dans une phase de vapeur surchauffée:

Table A.1.3, p.697 : à cette pression, on constate que:

- Temp. de saturation = 99.63 °C
- Pour $T > T_{\text{sat.}}$, le tableau indique que $v > 1.69 \text{ m}^3/\text{kg}$, autrement dit 1 kg d'eau occupe un volume $> 1.69 \text{ m}^3$. Or, lorsque le piston commence à se soulever, le volume est de 0.1 m^3 !!

C'est donc *impossible!*

Conclusion: nous sommes toujours dans un régime de vapeur saturée (mélange des deux phases liq-vap) au moment où le piston se soulève.

Nous sommes donc en présence d'une vapeur saturée, à la pression de 10^5 Pa:

Table A.1.2, p.694: $T = 99.63$ °C (remarquez que c'est bien la température de saturation indiquée dans la table A.1.3 pour cette pression)

On peut calculer le titre:

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = 5.84 \cdot 10^{-2} \text{ (il y a donc 0.058 kg de vapeur)}$$

Volume de vapeur: $5.84 \cdot 10^{-2} \cdot 1.694 = 9.89 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

Initialement:

Nous sommes donc en présence d'un mélange liquide-vapeur (vapeur saturée), à la température $T = 30\text{ °C}$

Table A.1.1, p.691:

$$P = 4.246\text{ kPa}, v_f = 0.001\text{ m}^3/\text{kg}, v_g = 32.89\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f}$$

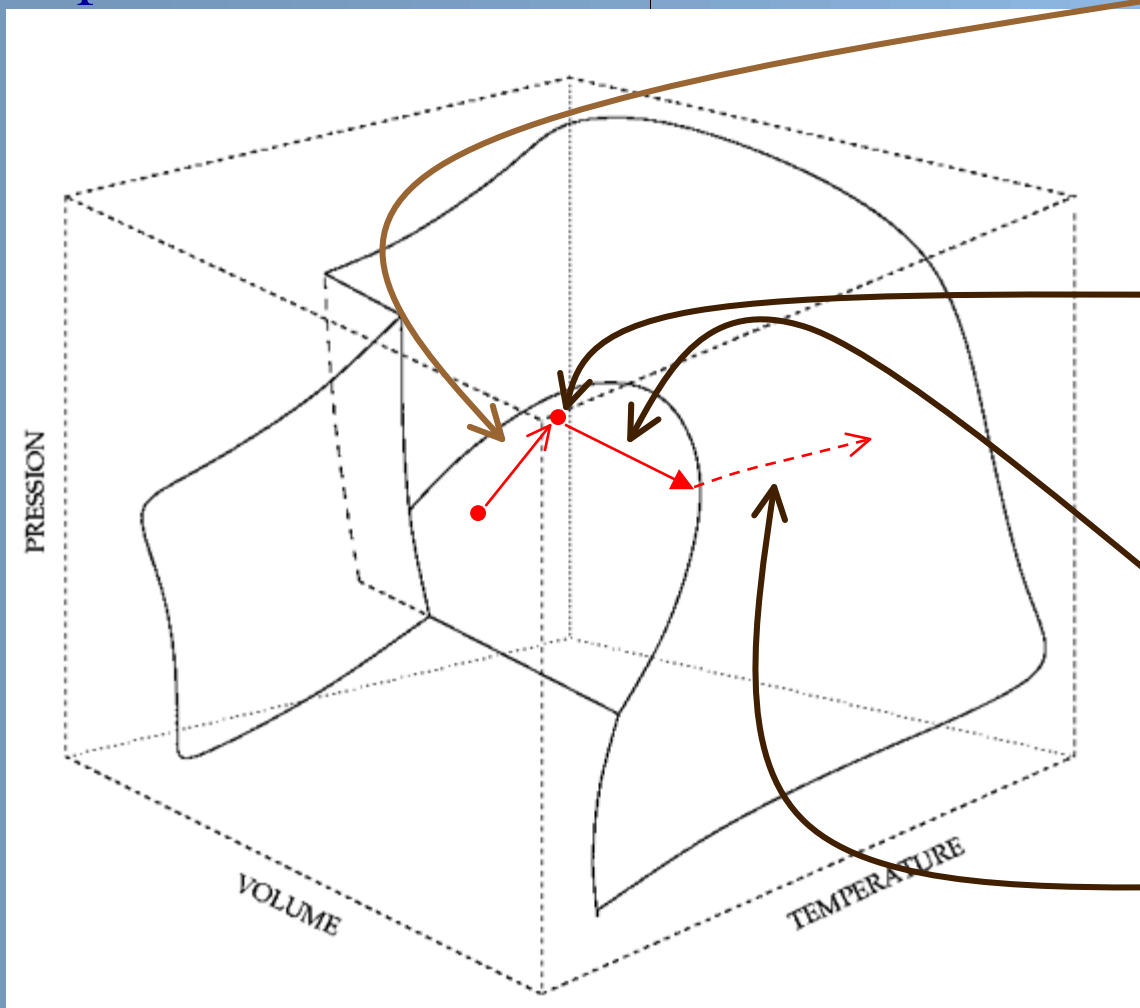
$$x = 3.01 \cdot 10^{-3}$$

Volume de vapeur initial: $9.90 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3$:

le volume de vapeur a légèrement augmenté mais la pression est passée de 4.246 kPa à 100 kPa.

(NB: le titre, lui, passe de 0.003 déjà 0.05)

Explication:



Première phase de l'évolution: on chauffe la vapeur saturée à volume constant (c'est le rôle des butées de maintenir un volume constant tant que le piston n'est pas soulevé). La pression augmente jusqu'à la valeur à laquelle le piston commence à se soulever.

Ici, changement de régime: le piston est en équilibre avec le système thermodyn. Et les butées ne jouent plus aucun rôle: on évolue maintenant à pression constante et puisque nous sommes dans une vapeur saturée, la température devient constante (99.67 °C).

Deuxième phase: Évolution à pression et température constante. Le volume du système (1 kg d'eau) passe de 0.1 m³ à 1.69 m³ si nous vaporisons toute l'eau.

Et si on continuait de chauffer? Le système évoluerait toujours à pression constante en vapeur surchauffée...

B) Il n'y a du travail qu'au cours de la seconde phase puisque la première se fait à volume constant. La variation d'énergie du système par échange de travail est, dans la seconde partie de l'évolution, à pression constante (10^5 Pa). Le volume passe de 0.1 m^3 à 1.69 m^3 :

$$W = -P_{sat} (V_f - V_i) = -1.6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.