

C. Keller

INDUSTRIE DU GAZ NATUREL (Banque Agro 98)

I) Refroidissement du gaz naturel

- 1) a) INCORPORER Equation.3
INCORPORER Equation.3

U et S sont des fonctions d'état. Leur différentielle est une différentielle totale. Elle vérifie donc l'égalité de Schwartz : INCORPORER Equation.3

En identifiant les deux expressions, on obtient successivement :

INCORPORER Equation.3

- b) * INCORPORER Equation.3 INCORPORER Equation.3 : CV ne dépend donc pas de V ; si on considère en outre qu'il ne dépend pas de T, alors CV est une constante.

* (INCORPORER Equation.3 (INCORPORER Equation.3
(INCORPORER Equation.3

- 2) a) * INCORPORER Equation.3 : H est une fonction croissante de T à P = Cte
* INCORPORER Equation.3 INCORPORER Equation.3 : Si la pression diminue à T = Cte,
H augmente si $T < T_L$.

* On a une transformation de Joule-Thomson, pour laquelle P diminue, mais H = cte. Donc il faut une cause de diminution de H, donc une diminution de T.

Donc pour Pour $T < T_L$, la détente s'accompagne d'une diminution de température.

- b) * La pression dans le réservoir est supérieure à la pression atmosphérique pour éviter que l'air, donc l'oxygène, puisse y entrer, ce qui conduirait à des conditions potentielles d'explosion.

* $H_2 = H_1$ (INCORPORER Equation.3 : très grand !

3) * En remplaçant l par sa valeur, on obtient : INCORPORER Equation.3

* La transformation envisagée n'est pas réversible. Mais S est une fonction d'état. Donc, la variation d'entropie du gaz est égale à la variation d'entropie le long d'un chemin réversible conduisant du même état initial au même état final. Donc :

INCORPORER Equation.3

* $\Delta S = \Delta S_e + \Delta S_c$. Or INCORPORER Equation.3 . Donc INCORPORER Equation.3 : On retrouve que la variation d'entropie est égale à l'entropie créée, donc à une quantité positive, puisque la transformation est adiabatique irréversible.

II) Séparation du méthane liquide-vapeur

1) Le poids est égal à INCORPORER Equation.3 .

La poussée d'Archimède est égale à INCORPORER Equation.3 ;

Donc INCORPORER Equation.3 : On peut donc négliger la poussée d'Archimède.

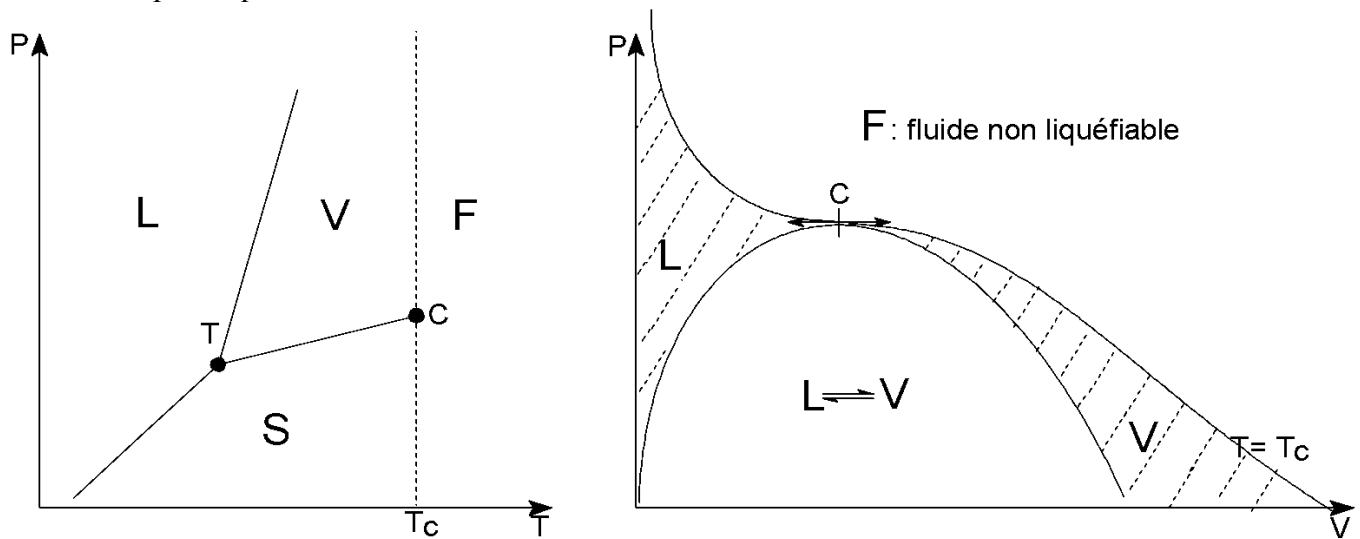
2) Appliquons le principe fondamental de la dynamique à la goutte dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Si l'axe vertical est orienté de façon ascendante, on obtient, en projection sur cet axe qui est l'axe du mouvement :

INCORPORER Equation.3 en régime permanent, c'est-à-dire lorsque la vitesse limite est atteinte. Donc : INCORPORER Equation.3

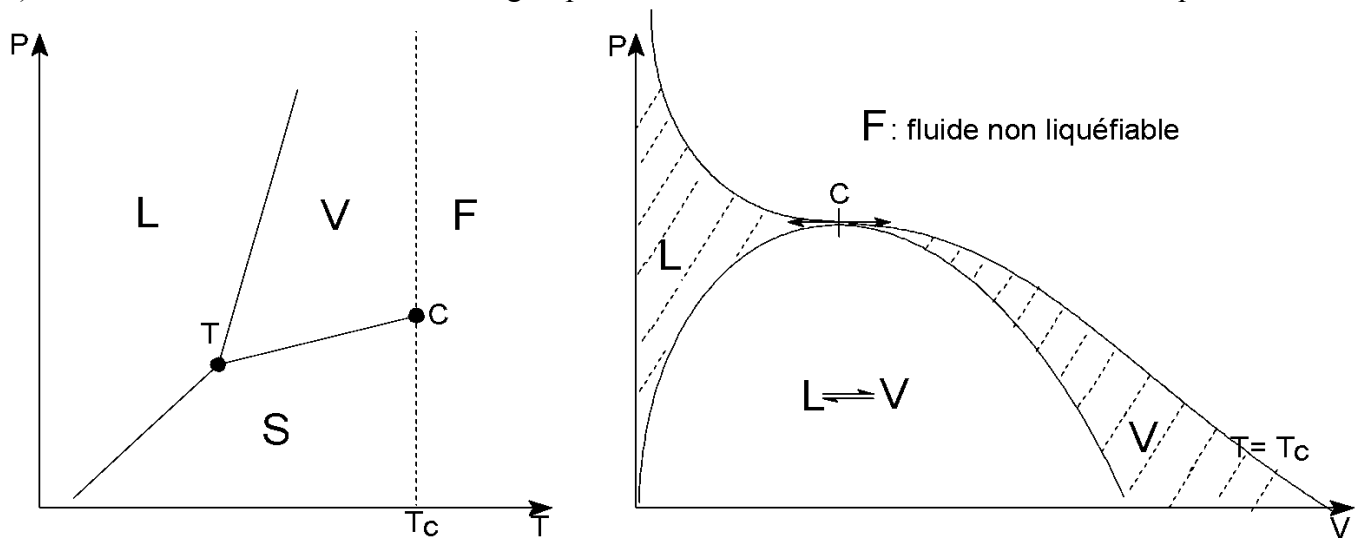
3) Le nombre de Reynolds est donné par INCORPORER Equation.3 : Le fluide ne peut être considéré comme un fluide rampant. On ne peut donc lui appliquer la loi de Stokes.

4) INCORPORER Equation.3

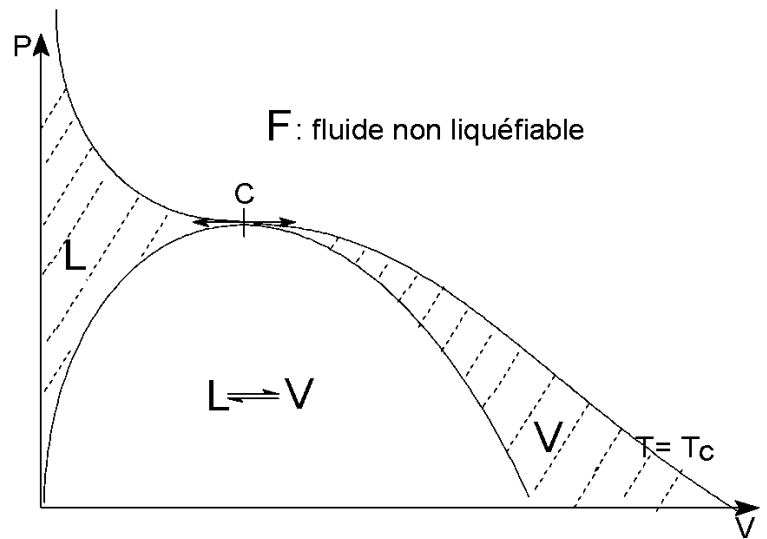
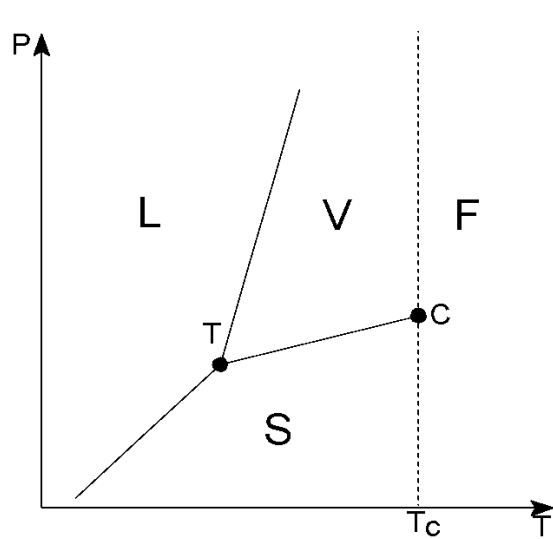
- 5) Le "point critique" est le point de la courbe de changement d'état ayant une température au-dessus de laquelle le fluide n'est plus liquéfiable.



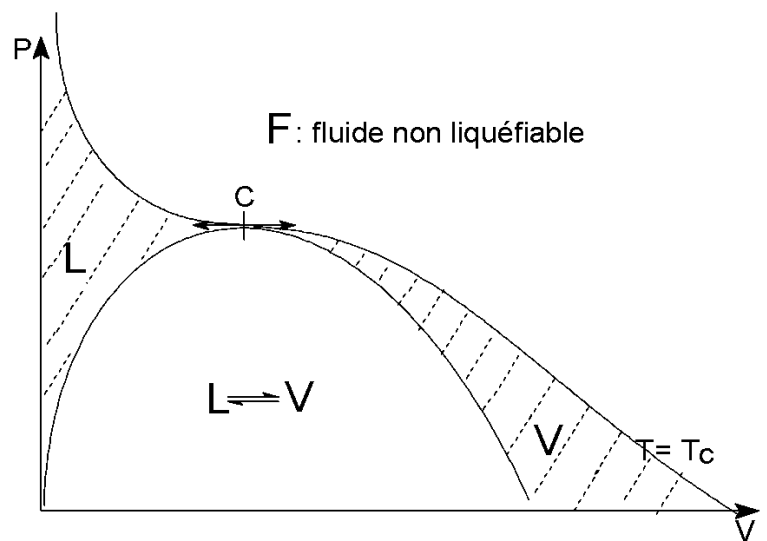
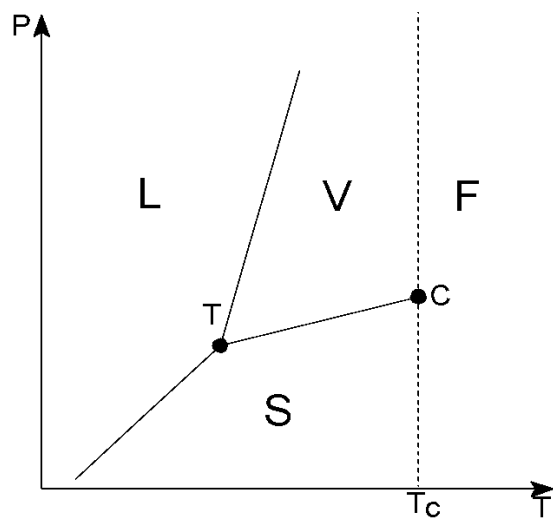
Pour des températures inférieures, mais proches, de la température critique, les paramètres physiques du liquide et du gaz deviennent de plus en plus proches l'un de l'autre au fur et à mesure que l'on s'approche de la valeur critique. En particulier, ρ_L et ρ_V deviennent indiscernables. Il n'est donc plus possible de faire tomber le liquide dans la vapeur, puisque le poids de la goutte tend vers la poussée d'Archimède due à la vapeur. III) Transport du gaz naturel dans un navire méthanier 1) a) La diffusion de la chaleur est régie par la loi de Fourier : INCORPORER Equation.3



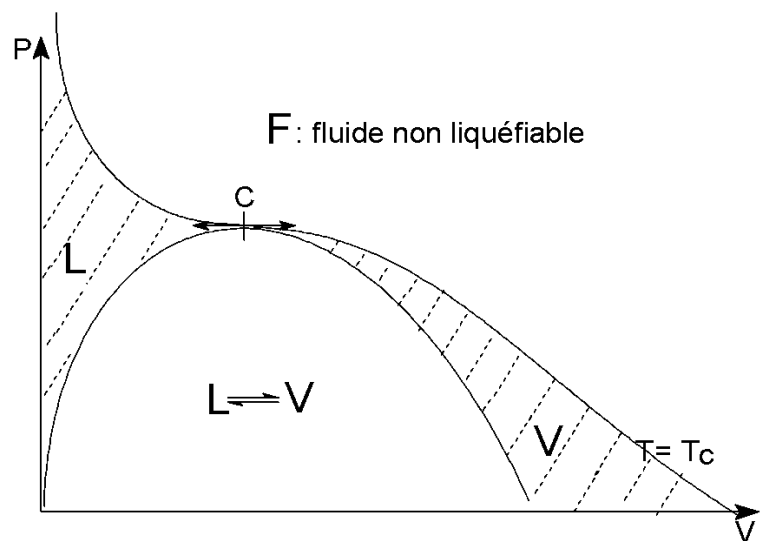
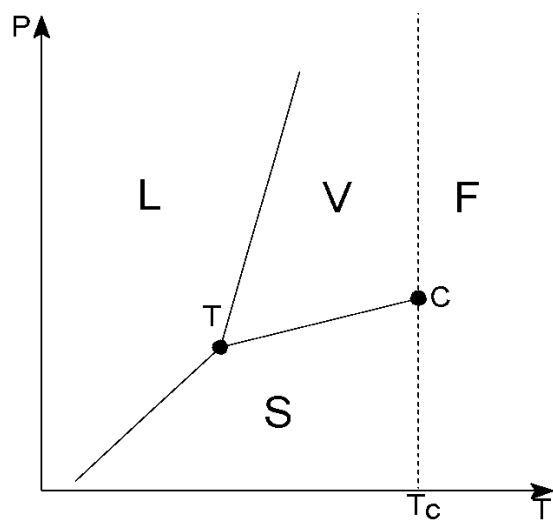
. Pour un milieu unidirectionnel de section S, on obtient donc : INCORPORER Equation.3



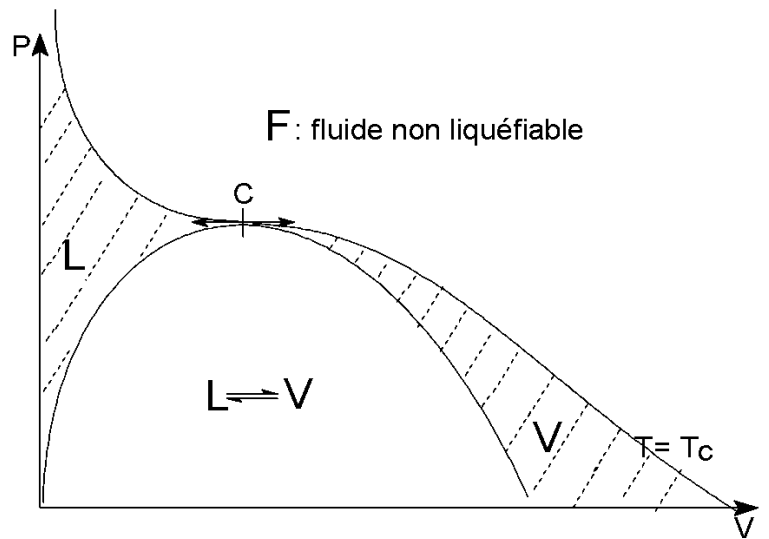
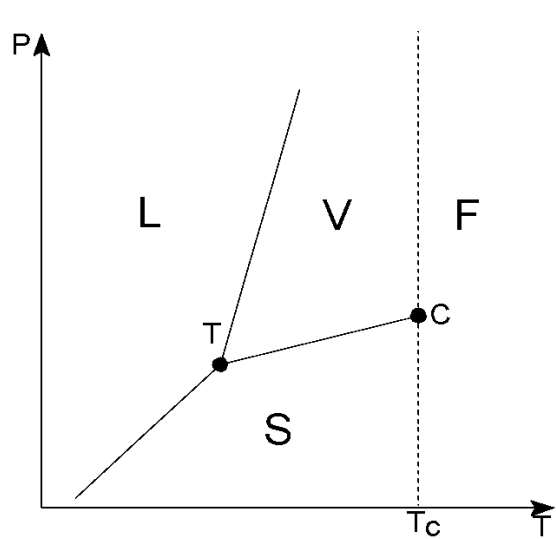
Appliquons le premier principe de la thermodynamique à la tranche de paroi comprise entre les abscisses x et $x+dx$.



Si cv désigne la chaleur massique de la paroi de masse volumique ρ on obtient : INCORPORER Equation.3

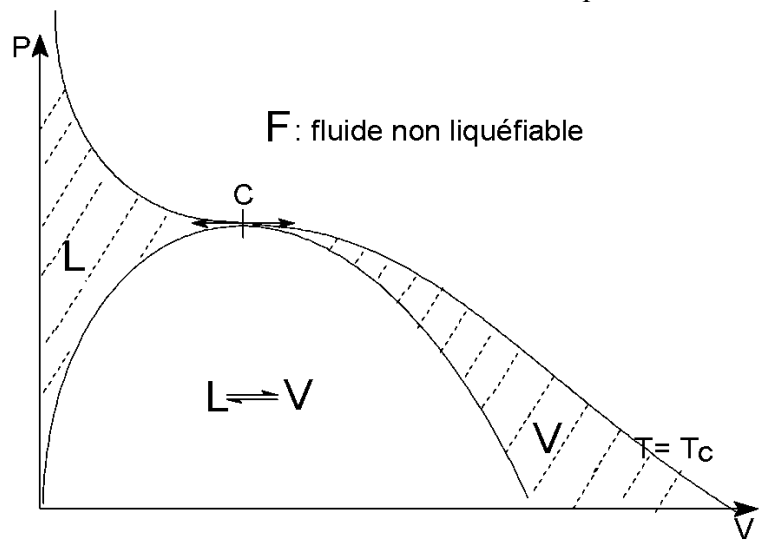
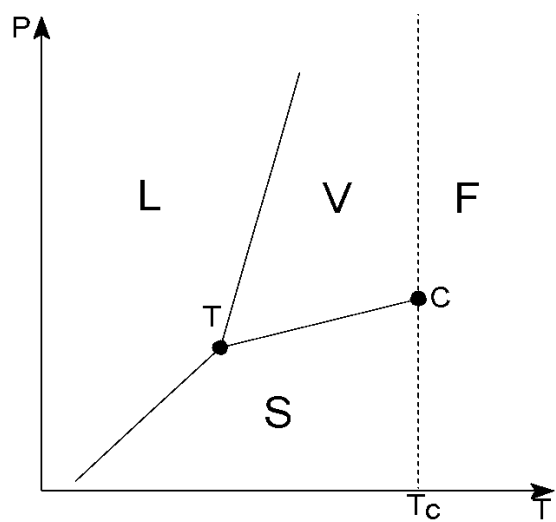


On en déduit l'équation de la chaleur : INCORPORER Equation.3

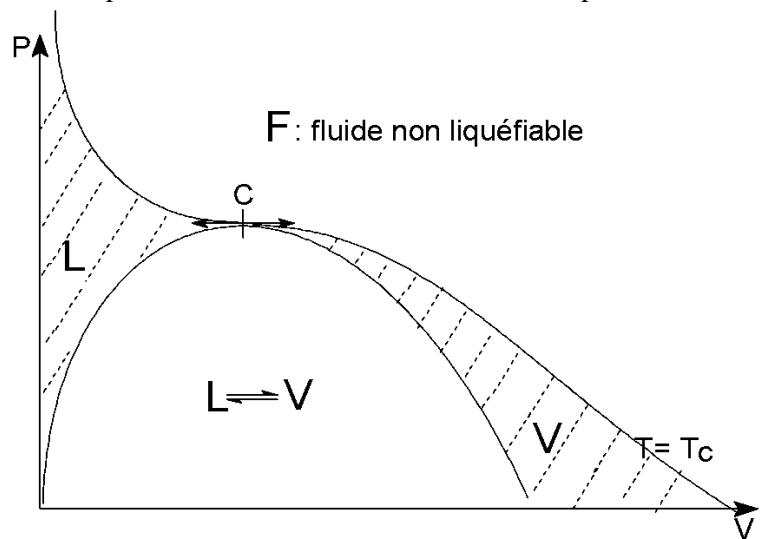
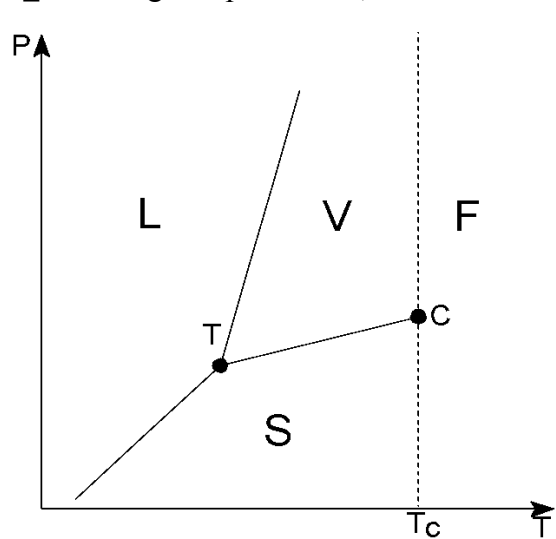


INCORPORER

Equation.3



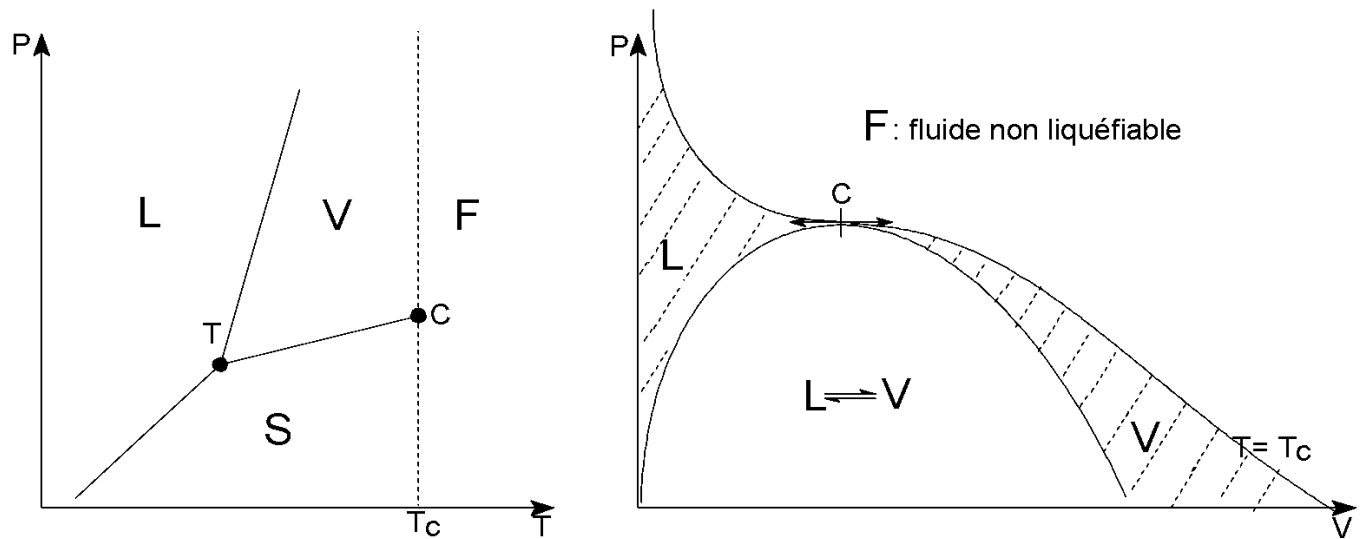
■ ■ En régime permanent, la résolution de cette équation donne : INCORPORER Equation.3



.b) Il s'ensuit que :

INCORPORER

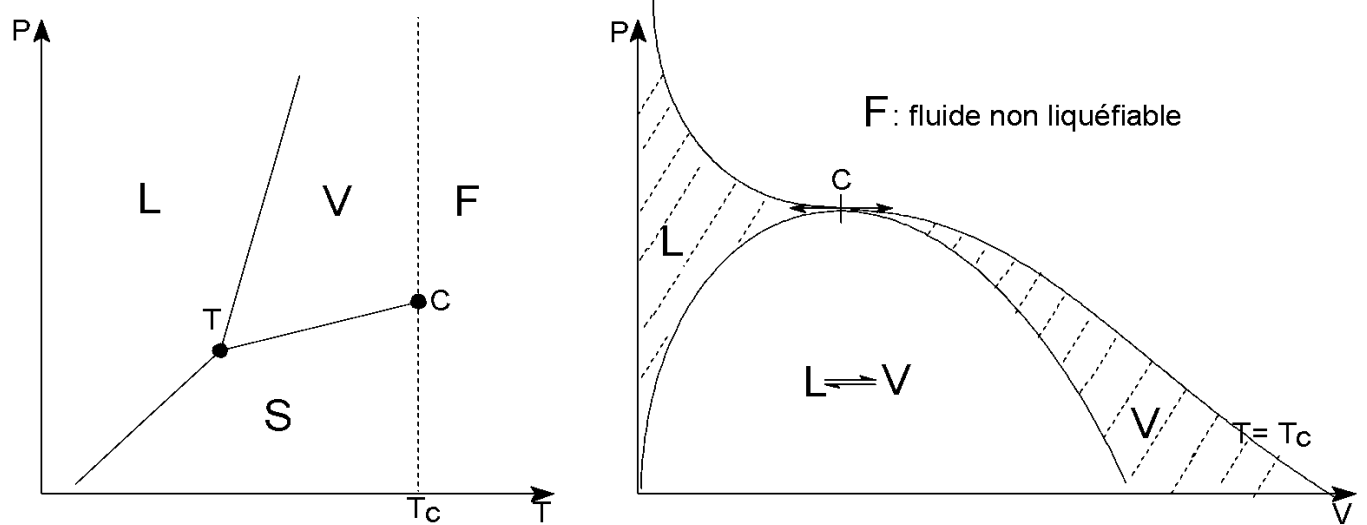
Equation.3



c)

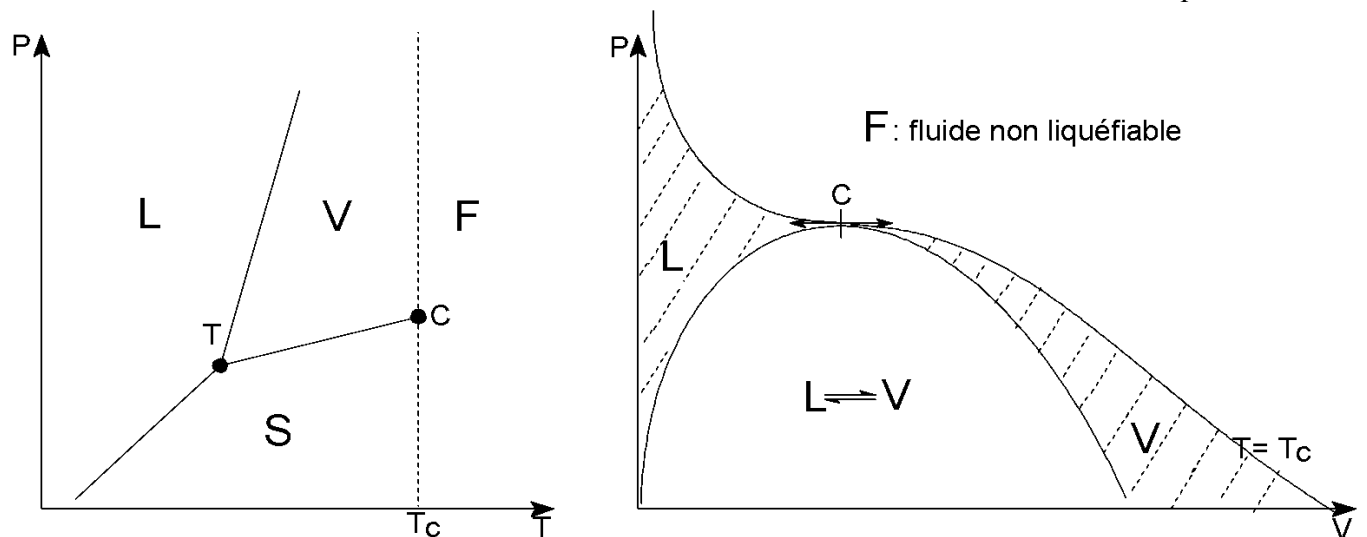
INCORPORER

Equation.3



INCORPORER

Equation.3



C. Keller

2) On constate que le flux de chaleur est négatif selon x croissant. Donc de la chaleur va passer de la mer vers le réservoir, et du méthane liquide va être vaporisé. Si on désigne par a % la proportion vaporisée pendant la durée Δt , on obtient :

INCORPORER Equation.3 INCORPORER Equation.3 : Cette durée est très faible !

IV) Extraction du gaz naturel

- 1) On a un gaz parfait. Donc : $\rho = \frac{p}{RT}$ $\rho = \frac{p}{RT}$
- 2) Entre les abscisses x et $x+dx$, le volume total est $S dx$. Donc le volume occupé par le méthane est $q S dx$. Donc la masse de méthane est $\rho q S dx$.
- 3) La variation de la masse de méthane entre les abscisses x et $x+dx$ sur la durée dt est due au flux de matière, donc à la masse entrante diminuée de la masse sortante sur la durée dt . En appliquant la loi de Darcy, on obtient :
 $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$ $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$
- 4) En combinant les questions 1 et 3 précédentes, on obtient :
 $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$
On a ici une diffusion de particule, ce qui est tout à fait analogue à la diffusion de la chaleur étudiée à la question III où on a obtenu l'équation de la chaleur sous la forme :
 $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$,
ou à la conduction du courant électrique dans un conducteur ohmique.
- 5) * En utilisant le fait que le nombre de Reynolds $R = v.d/\nu$ est un nombre sans dimension, on obtient aisément que $[\nu] = L^2.T^{-1}$.
* En utilisant l'équation $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$, on obtient aisément que $[D] = L^2.T^{-1}$.
* En traduisant la loi de Darcy qui est donnée, et dans laquelle RT représente une énergie par mole de matière, on obtient aisément que $[k] = L^2$.

On en déduit que $\frac{dm}{dt} = \rho q S \frac{dx}{dt}$. Une roche est un agrégat de cristaux ayant des dimensions latérales de l'ordre du μm . Il est donc naturel que les interstices aient des dimensions du même ordre de grandeur, et le résultat trouvé est conforme à ce qu'on trouve dans la nature.

6) a) En $x = L$, la masse transmise doit être nulle.

Donc INCORPORER Equation.3 soit INCORPORER Equation.3

b) En remplaçant $p(x,t)$ par sa valeur dans l'équation obtenue au 4, on obtient :
INCORPORER Equation.3

c) INCORPORER Equation.3
INCORPORER Equation.3

INCORPORER Equation.3

d) On en déduit aisément que INCORPORER Equation.3
C'est l'ordre de grandeur de la durée des gisements de méthane : La durée du gisement du gaz de Lacq a été de l'ordre de 30 ans ; celle du gaz de Groningue a été de l'ordre de 40 ans.