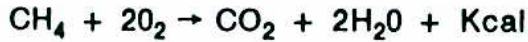


EXPLOSIONS DE GAZ, VAPEURS ET POUSSIÈRES INFLAMMABLES

Explosion accidentelle et non intentionnelle

C.à.d. un « mélange air-gaz » se formant à l'insu de l'utilisateur.

Ex : fuite de gaz naturel (CH₄)



gaz chauds

c'est une réaction chimique.

Explosion = transformation **RAPIDE** d'un système matériel avec **forte** émission de **GAZ CHAUDS**.

Il faut trois conditions pour avoir une explosion

- la **RAPIDITE** de transformation
- la production d'une **grande quantité de GAZ**
- et
- une **température élevée** des gaz.

Naissance et propagation d'une explosion

Explosion accidentelle = explosion hétérogène



soit une déflagration

- la vitesse de l'onde est faible (cm/s)
- les gaz brûlés sont évacués en sens inverse de l'onde
- les écarts de pression entre les différents points du gaz sont faibles

soit une détonation

- la vitesse de l'onde est élevée (km/s)
- les gaz brûlés sont évacués dans le sens de l'onde
- les écarts de pression entre les différents points du gaz sont élevés

Explosion homogène

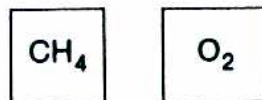
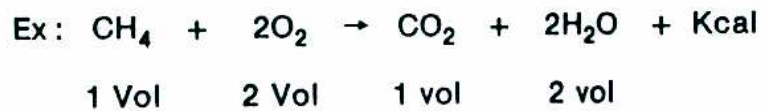
Si la température atteint une certaine valeur il y a explosion.

Elle se produit simultanément dans toute la masse.

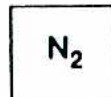
Avec un retard $\pm$ long, appelé retard à l'inflammation.



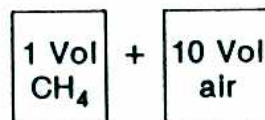
Composition du mélange air - gaz



+ 8 Vol



air



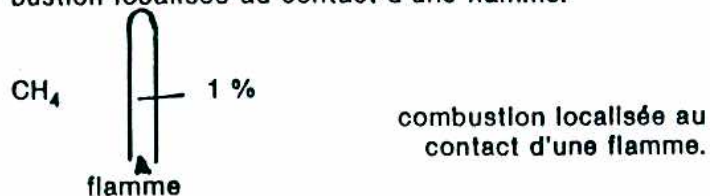
9 % + 91 %

Mélange équilibré
ou
dosage au mélange de la
combustion complète

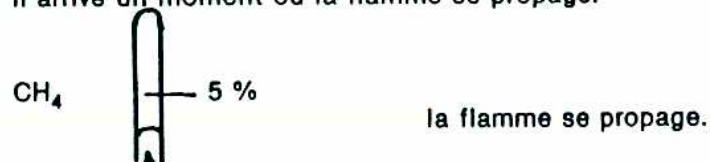
Limites inférieures et supérieures d'inflammabilité

L_i L_s

Un mélange air-gaz à très faible teneur engendre une combustion localisée au contact d'une flamme.



Si on augmente la proportion de gaz dans le mélange, il arrive un moment où la flamme se propage.



dès que la flamme se propage on atteint la L_i

Il y a aussi une L_s



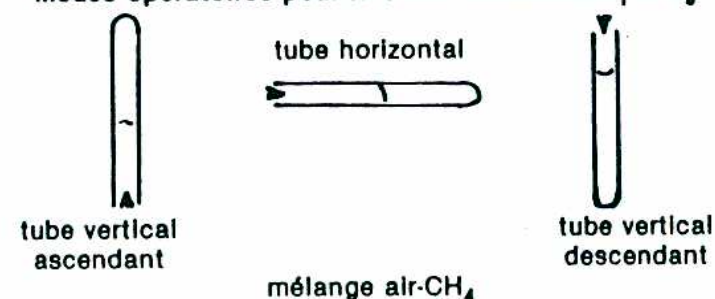
CH ₄	5 %	15 %
H ₂	4 %	75 %

Les résultats dépendent du mode opératoire.

Les expériences sont faites dans les conditions de laboratoire :
température : 18 - 20 °C
pression : 1 Atmosphère

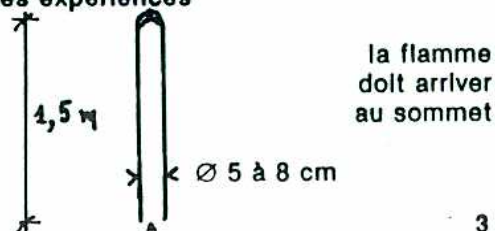
c.a.d. dans les conditions dites normales.

Modes opératoires pour la détermination de L_i et L_s



Ø du tube	ascendant		horizontal		descendant	
	L_i	L_s	L_i	L_s	L_i	L_s
2,5 cm	5,80 - 13,2		6,20 - 12,90		6,30 - 12,80	
7,5 cm	5,35 - 14,85		5,40 - 13,95		5,95 - 13,3	

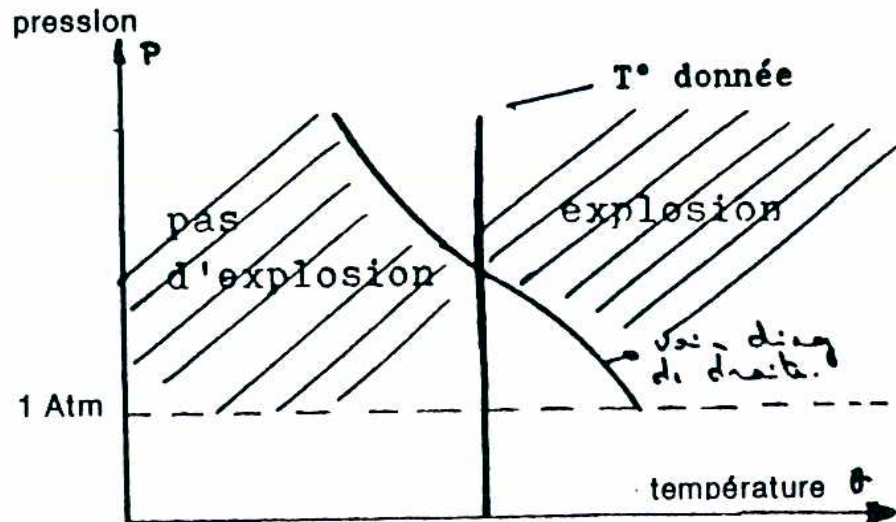
normalisation des expériences



Température d'auto Inflammation des mélanges air-gaz

Aux températures ordinaires un mélange gazeux explosif peut être stable

Chauffé à une certaine température, il explose.



La température d'auto Inflammation n'est pas une propriété spécifique du mélange air-gaz comme il existe une température d'ébullition pour un liquide.

Elle dépend du « mode opératoire »
(nature, forme, dimensions du réceptient....)

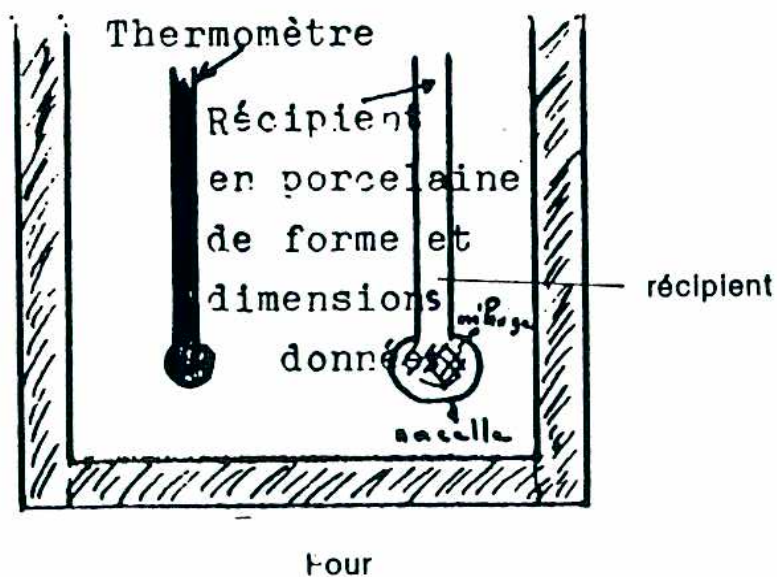


Figure 15. Température d'inflammation d'un gaz en fonction de la pression.

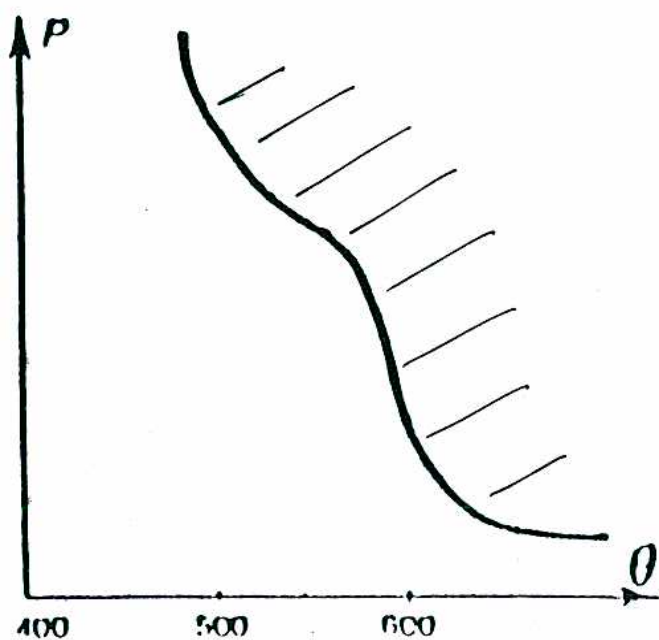
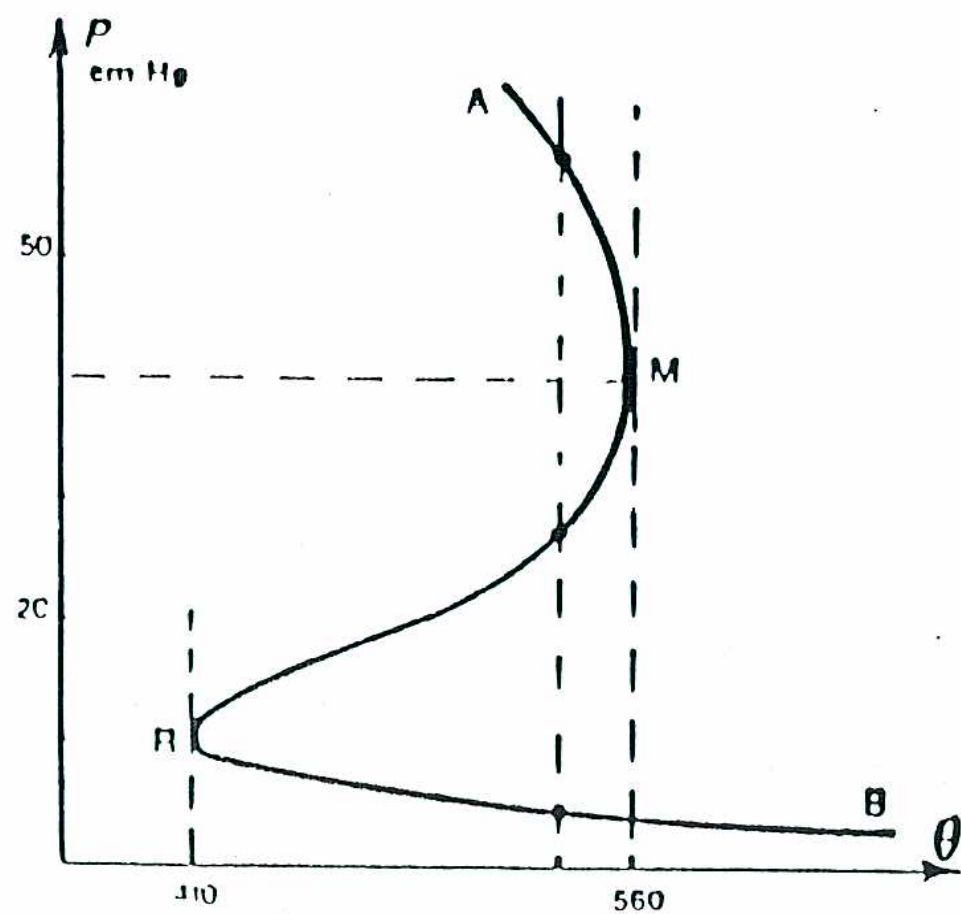


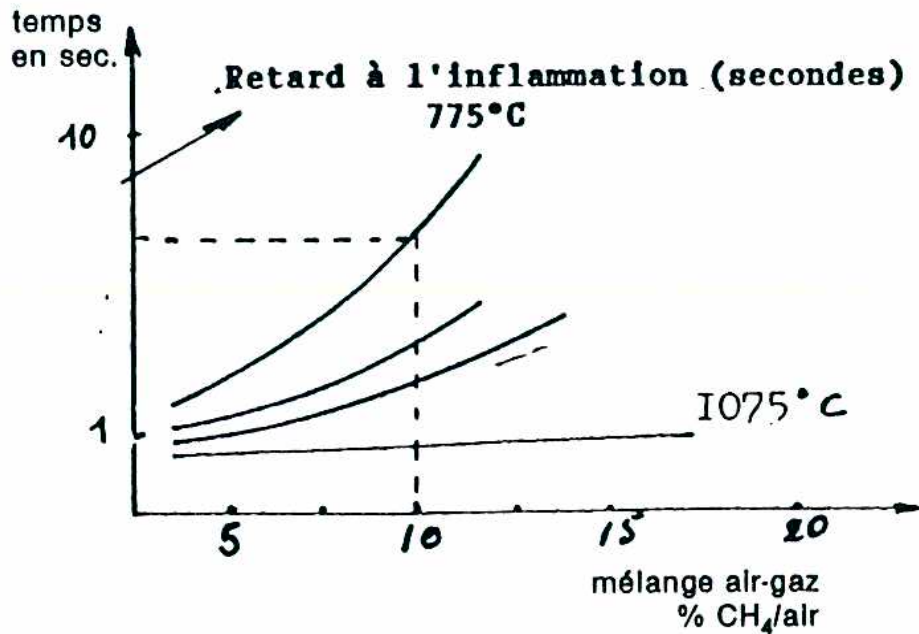
Figure 16. Diagramme pour $2H_2 + O_2$ selon Prettre.



Retard à l'Inflammation

Pour déclencher thermiquement l'explosion il faut attendre un certain temps.

C'est le retard à l'Inflammation.



Conséquences pour la sécurité

1. conduit chaud
mélange air-gaz
→ si la température du tube = température d'auto inflammation
Il n'y a pas d'explosion
si le temps de passage du gaz < retard à l'inflammation

2. Barre portée au rouge
dans un mélange air-CH₄,
pas d'inflammation
barre à 650° bien que T_{auto Infl.} = 550°

p.c.q. il y a courant de convection et échauffement et refroidissement de chaque point du volume en contact avec le fer, et le volume ne peut atteindre la température de 550 °C pendant le temps supérieur au retard de l'inflammation.

3. Une surface chaude à température = T_{auto Infl.} n'enflamme pas à cause des courants de convection et du retard à l'inflammation.
4. Une étincelle volante lumineuse peut ne pas enflammer le mélange



mélange air-CH₄

Danger d'échauffement par compression adiabatique d'un mélange air-gaz

Une compression d'un mélange air-gaz engendre une élévation de température

selon la loi de Polisson

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \text{ où } \gamma = \text{rapport des chaleurs spécifiques du mélange}$$

Si T_1 = Température du laboratoire
 $\gamma = 1,4$

pour un rapport de compression

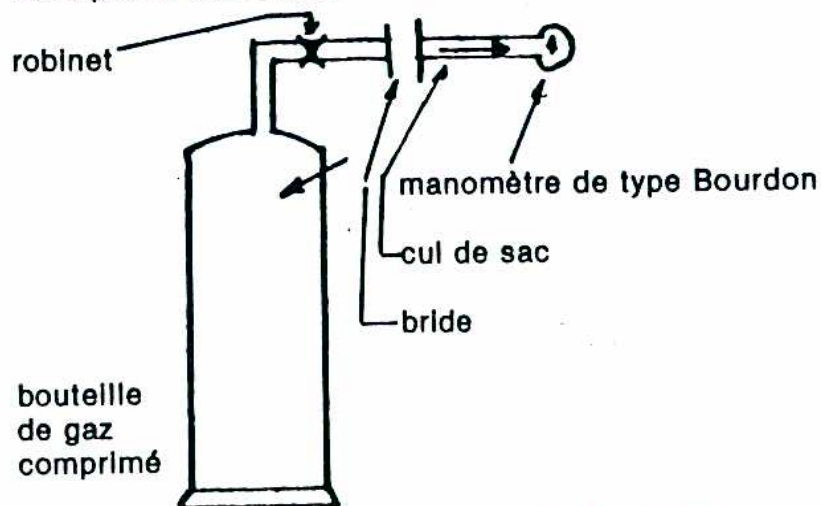
5	10	15	20
---	----	----	----

la température $T_2 = 280^\circ \quad 460^\circ \quad 590^\circ \quad 690^\circ$

qui peut être $\gg$ Température d'auto-inflammation

La température d'auto-inflammation à considérer doit être celle de la pression p_2 et non p_1

Exemples d'accidents



conséquences d'une ouverture rapide du robinet :

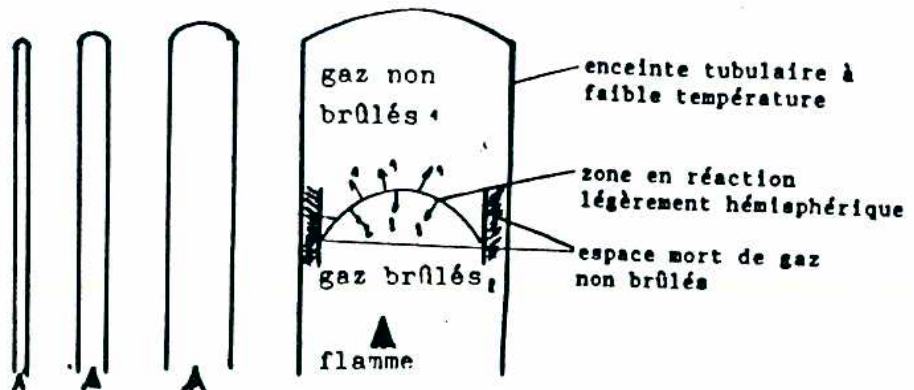
- compression adiabatique
- température du métal ↑
- le mélange air-gaz explose

Transmission en retour de la bouteille qui est détruite par l'explosion

Distance de colncement de la flamme

en enceinte tubulaire

en atmosphère calme.

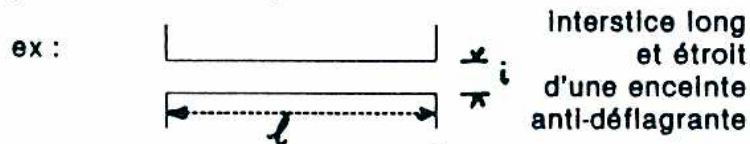


Si le $\varnothing$ du tube diminue, la vitesse de flamme diminue, puis s'arrête.

On dit que la « flamme est colncée »

On peut « colncer une flamme »

- par deux surfaces parallèles



- ou dans des canaux courts de petite section

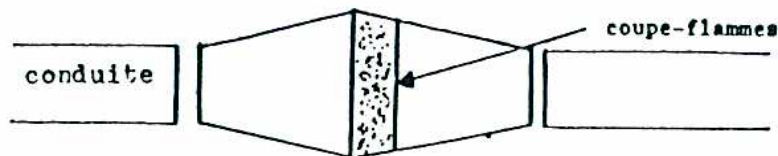
ex : tamis de lampe à benzine de mine.

On détermine donc

- un interstice maximal de colncement (= le plus grand interstice qui ne propage pas la flamme)
- un diamètre limite de colncement (= le plus grand diamètre qui ne propage pas la flamme)

Donc un coupe flamme qui empêche la propagation d'une flamme déflagrante se compose :

- de tubes de petits $\varnothing$
- de cailloux en vrac
- de surfaces parallèles



Il doit en outre

- être robuste
- ne pas entraîner de pertes de charges supplémentaires excessives
- être équipé d'une alarme pour que le courant gazeux soit coupé avant qu'il ne soit trop chauffé.

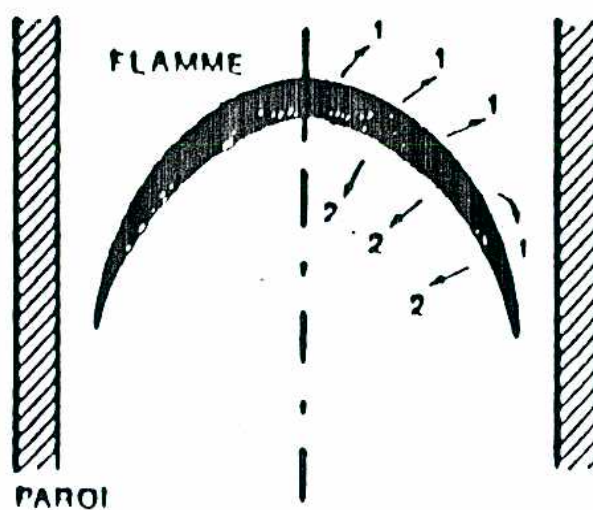


Figure 13. Ascension d'une flamme déflagrante dans un tube vertical
 1-1-1- Déplacement du gaz non brûlé
 2-2-2- Déplacement des gaz brûlés.

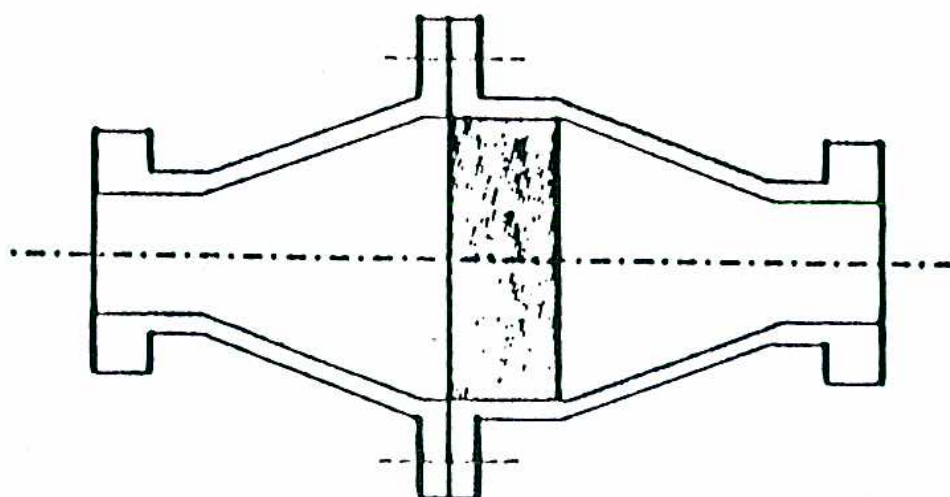
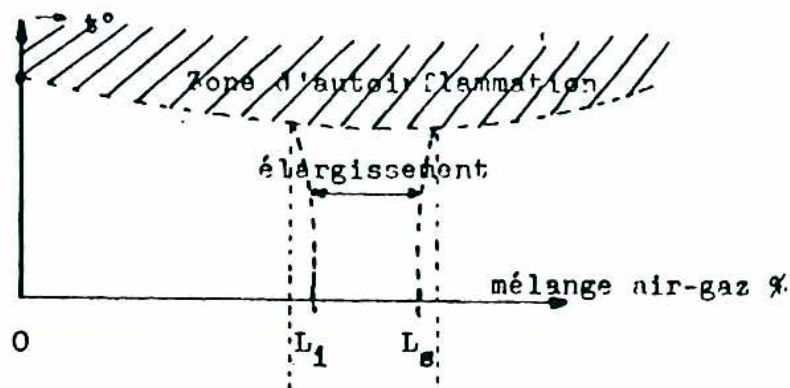


Figure 14. Schéma d'un coupe-flamme avec chambres coniques.

Influence de la température et de la pression sur L_1 et L_8

TEMPERATURE

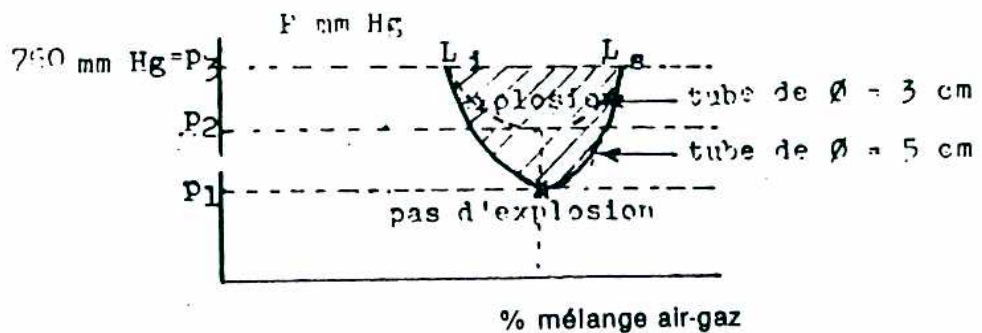
à la pression atmosphérique



Il y a élargissement % mélange air-gaz de l'intervalle d'inflammabilité

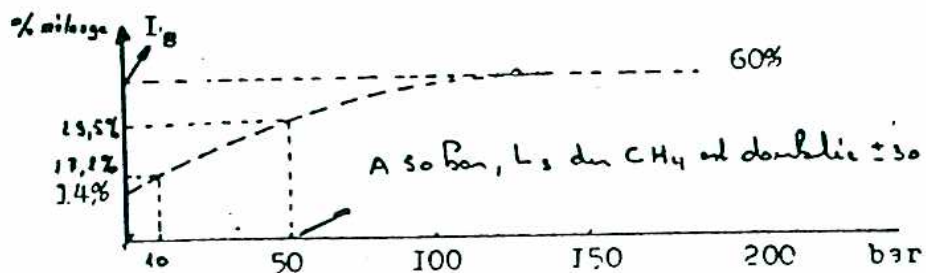
PRESSION

- aux pressions < 1 Atm



P_2 : pression critique pour un dia. de 3 cm
 P_1 : pression critique pour un dia. de 5 cm
 elle correspond à la distance de coïncement

- aux pressions > 1 Atm.



au-delà de 10 bar l'intervalle s'élargit considérablement

Par contre L_1 est peu modifiée au delà de 10 Atm.

Il y a des exceptions à la règle.

Conclusions :

- 1) ne jamais ^{prendre} prouver les L_1 et L_8 pour 1 Atm, à d'autres pressions
- 2) L_1 ne subit de changements appréciables qu'aux très fortes pressions
- 3) L_8 subit de fortes variations avec l'augmentation de la pression.

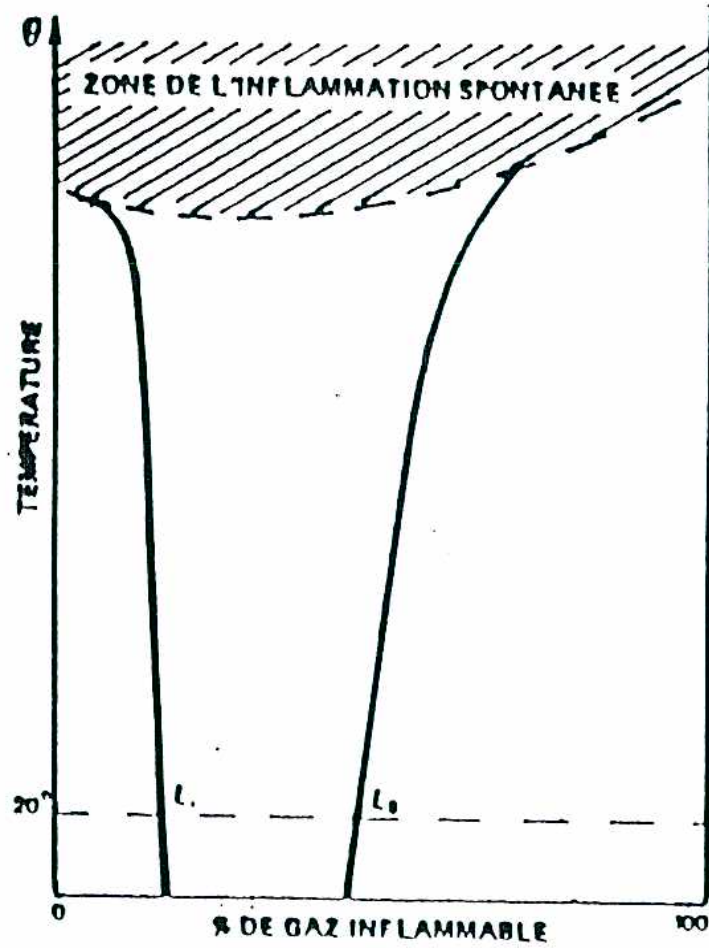


Figure 22. Domaine d'inflammation en fonction de la température des mélanges d'un gaz combustible avec l'air.

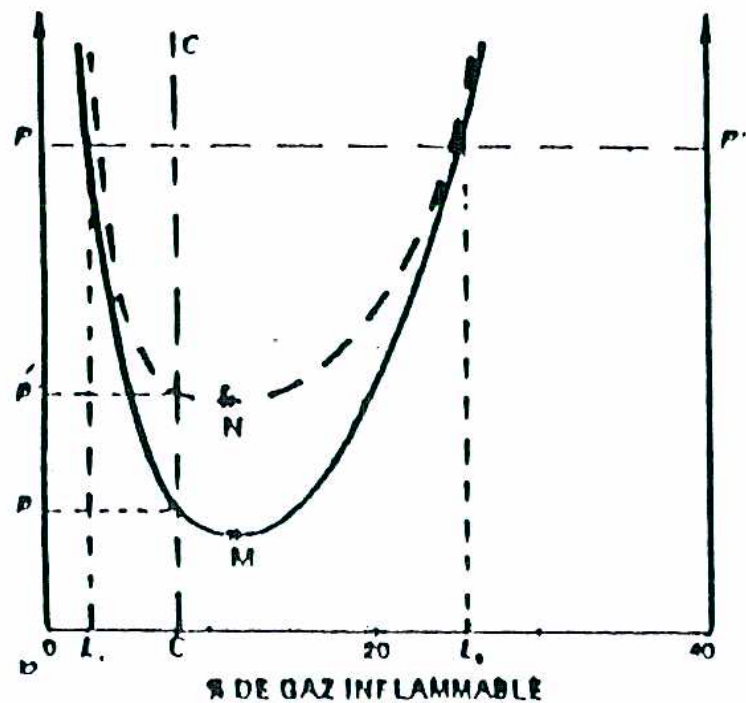


Figure 24. Limite d'inflammabilité en fonction de la pression et des dimensions du tube. Les ordonnées des minimums M et N des courbes sont les pressions critiques d'inflammabilité respectivement dans le grand tube et dans le petit tube. Les pressions p et p' sont les pressions-limites dans le grand et le petit tube du mélange de concentration C .

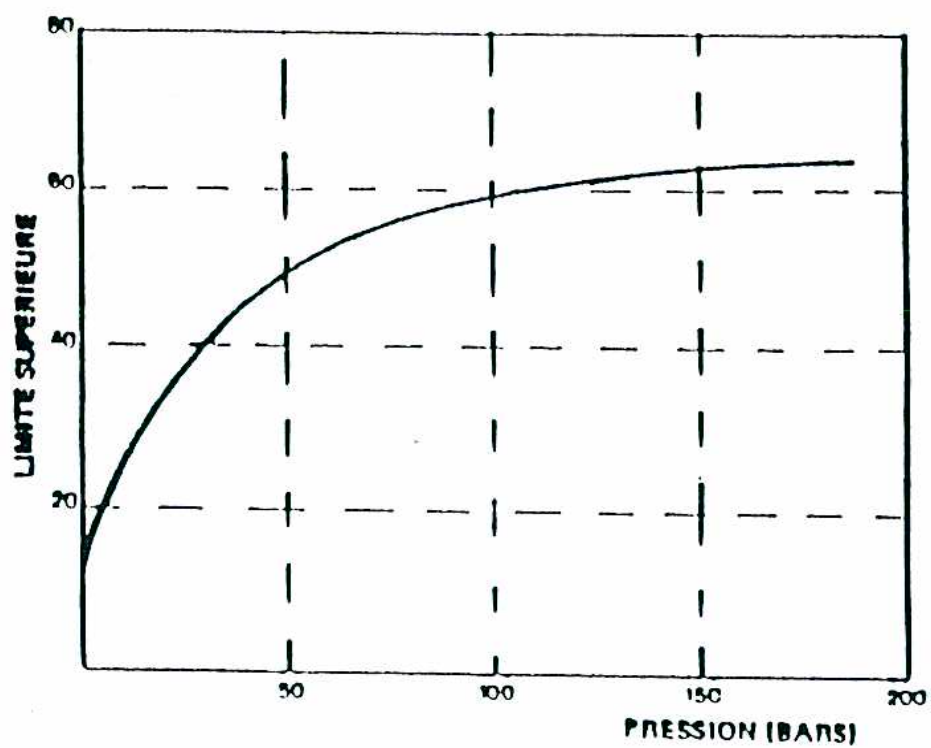
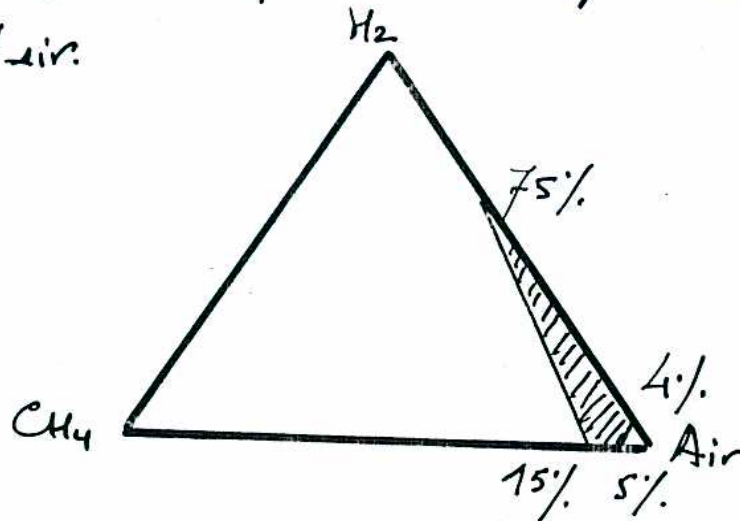


Figure 26. Variation de la limite supérieure du méthane dans l'air, en fonction de la pression.

mélanges composés des gaz combustibles

1) avec l'air:



2) avec O_2

$L_i \approx$

$L_s >$

$p > 1 \text{ atm}$

intervalle $\uparrow$

mélanges ?

inflammable dans l'air

peut brûler avec O_2 pur

Figure 28. *Domaine d'inflammabilité des mélanges hydrogène-méthane-air.*

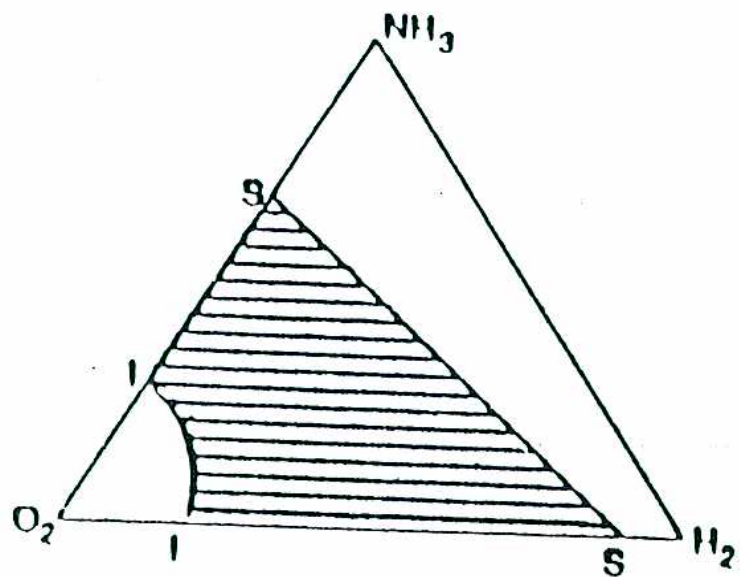
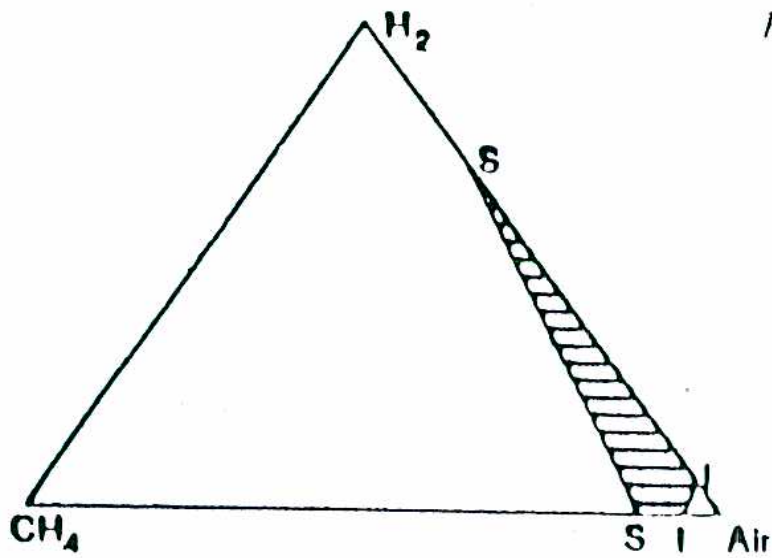
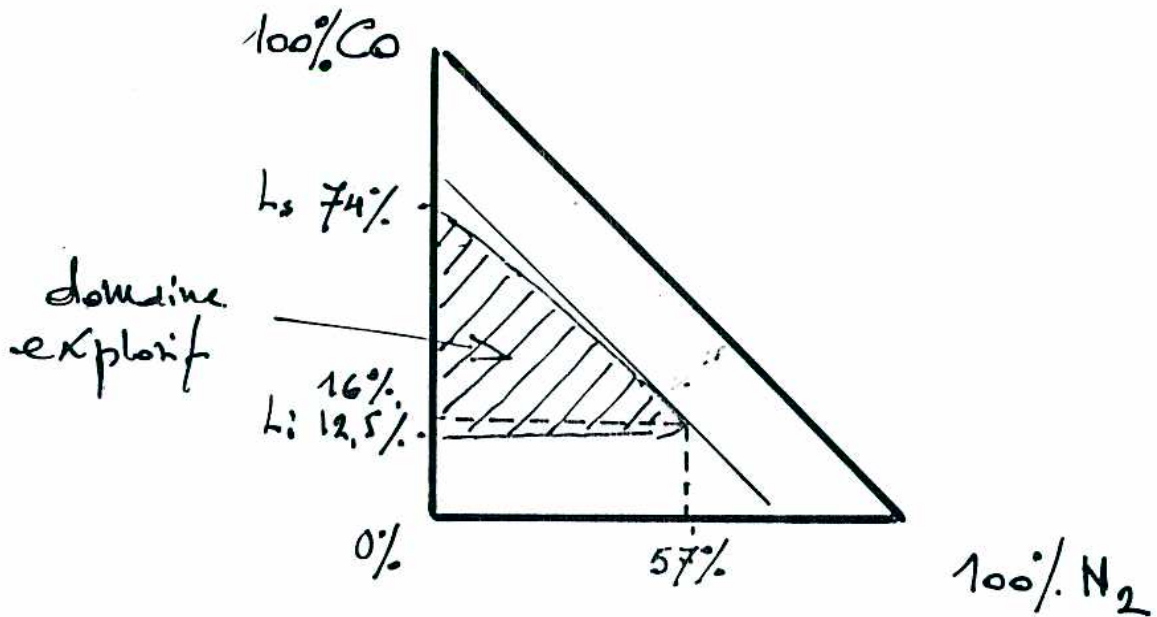


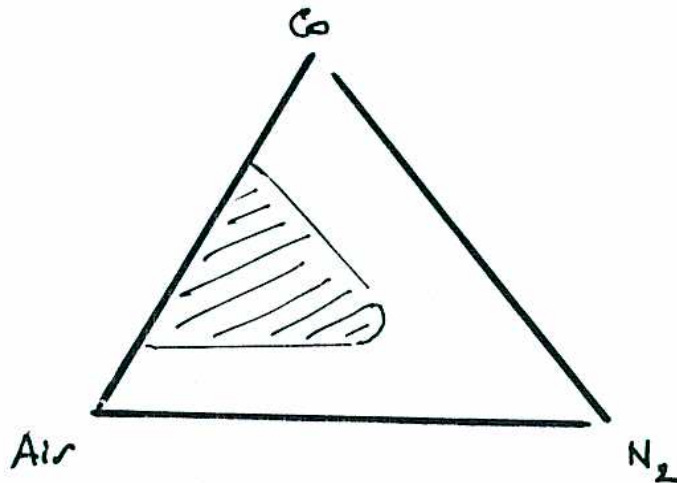
Figure 28bis. *Domaine d'inflammabilité des mélanges hydrogène-ammoniac-oxygène selon Jorissen.*

3/ mélange , gaz Combustible
|
| gaz inerte

N_2 diminish possibility inflammation
 ↓ explosion
 ↓ deflagration

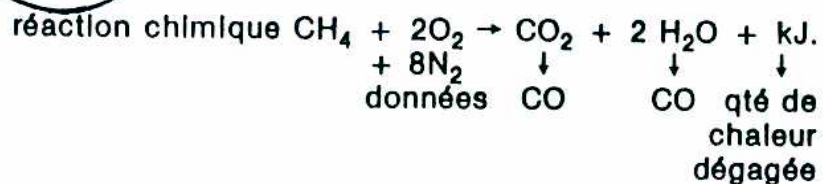


$$\Rightarrow \text{air } 27\% \times 0,21 = 5,6\% \text{ O}_2$$



mélange
al-gaz
 $T_1 p_1$

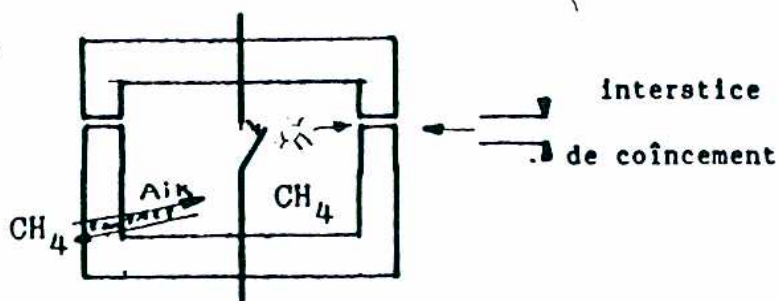
échauffement ou ignition du mélange



On peut calculer T_v = température d'explosion adiabatique statique à volume constant

On peut aussi calculer p_v = pression d'explosion adiabatique statique à volume constant

Application : enveloppe antidéflagrante de matériel électriques conditions initiales du labo T₁ p₁



Ignition du mélange air-CH₄
explosion.

augmentation de la pression jusqu'à p_{II}

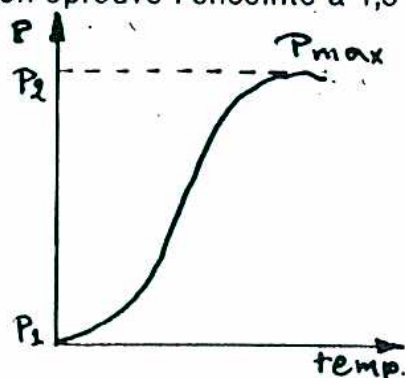
$$\text{CH}_4 \text{ } 8^{05} \text{ kg/cm}^2$$

942

970

825

En pratique on mesure la vitesse de montée en pression et on éprouve l'encelinte à 1,5 p max.

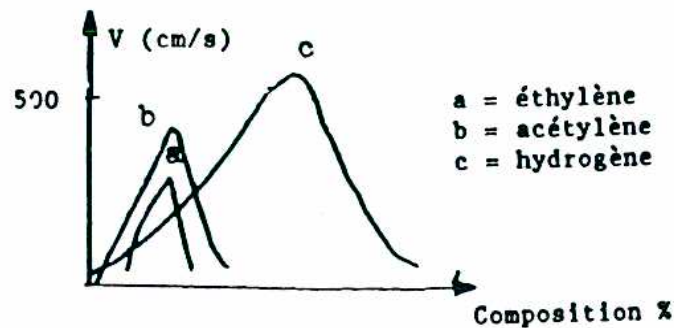
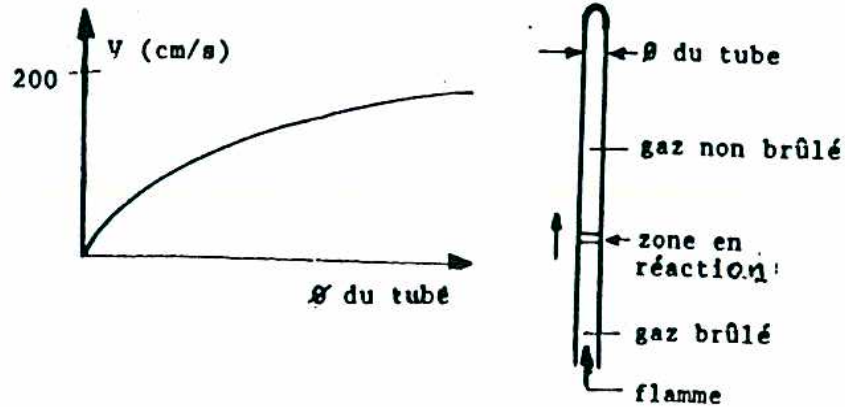


Vitesse de déflagration

C'est la vitesse de la flamme par rapport à un point fixe extérieur

Atmosphère calme

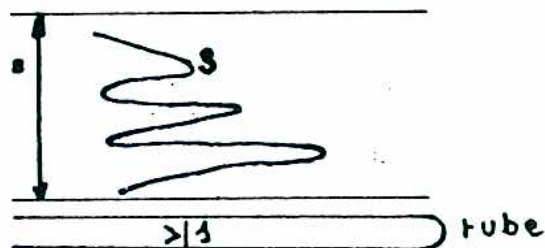
La vitesse de déflagration varie avec le $\varnothing$ du tube



: elle varie avec la composition du mélange air-gaz

Atmosphère turbulente

Si V = vitesse de flamme en atm. calme conduit
 le volume de gaz brûlé/s en atm calme = $s V$ ou galerie
 le volume de gaz brûlé/s en atm turbulente = $S V$



plusieurs surfaces de flamme

La vitesse de flamme en atmosphère turbulente

$$v = \frac{S V}{s}$$

$$\text{avec } \frac{S}{s} \gg 1.$$

Elle peut atteindre 20 m/s jusqu'à 100 m/s

Application de la sécurité

Quand peut-on dire qu'un gaz est inflammable ?

Réponse

Pour certains quand il donne une combustion persistante lorsqu'il forme un jet dans l'air

Pour d'autres quand il a un intervalle d'inflammabilité à la pression d'utilisation

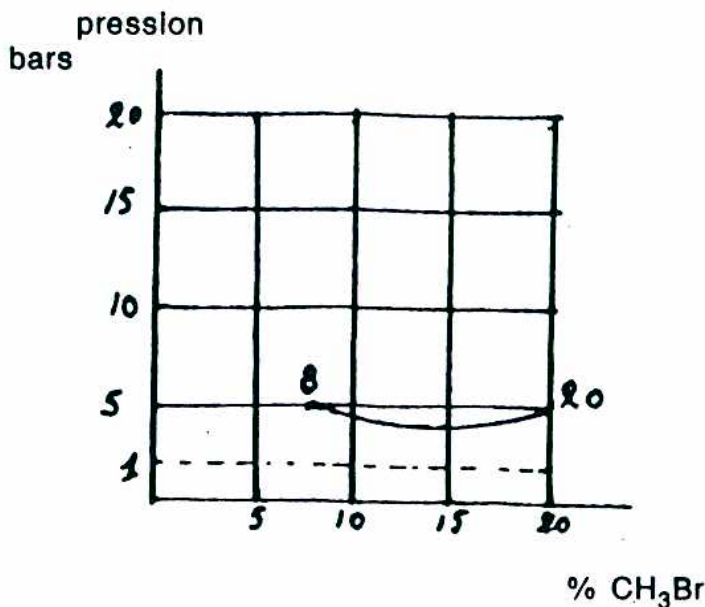
Ex : Le Bromure de Méthyle CH_3Br

Il éteint les flammes lorsqu'il forme un jet dans l'air même en mélange avec un autre gaz combustible

Cependant Jones a montré qu'il avait un intervalle d'inflammabilité

à 5 bars

après un accident survenu en Californie en 1961 dans un grand réservoir sous pression.



à 1 Atm il n'y a pas de propagation de flammes dans un tube de 5 cm de $\varnothing$ mais la flamme se propage dans un tube de 8 cm de façon parallèle.

à 5 bars, il y a un intervalle d'inflammabilité de 8 à 20 %.

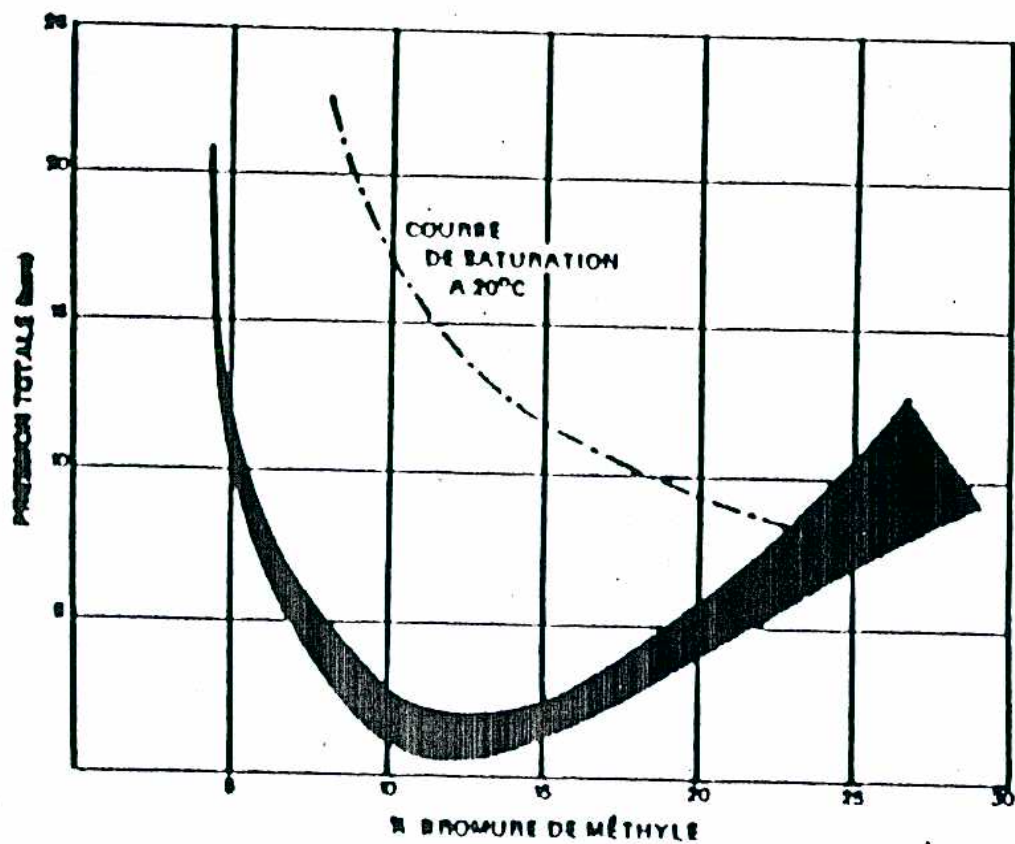


Figure 32. *Domaine d'inflammabilité des mélanges de bromure de méthyle et d'air. L'intervalle entre les deux courbes constitue la zone d'incertitude (explosions marginales).*