

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Propriétés des mélanges

Un mélange est formé de plusieurs substances mélangées, appelées les constituants.

Un mélange est appelé homogène, si les substances dont il est constitué ne peuvent pas être discernées séparément par la vue

Un mélange est appelé hétérogène, si les substances dont il est constitué peuvent être distinguées par la vue

Définitions

***Une combustion* est une réaction chimique entre un comburant et un combustible qui produit de l'énergie (chaleur et lumière).**

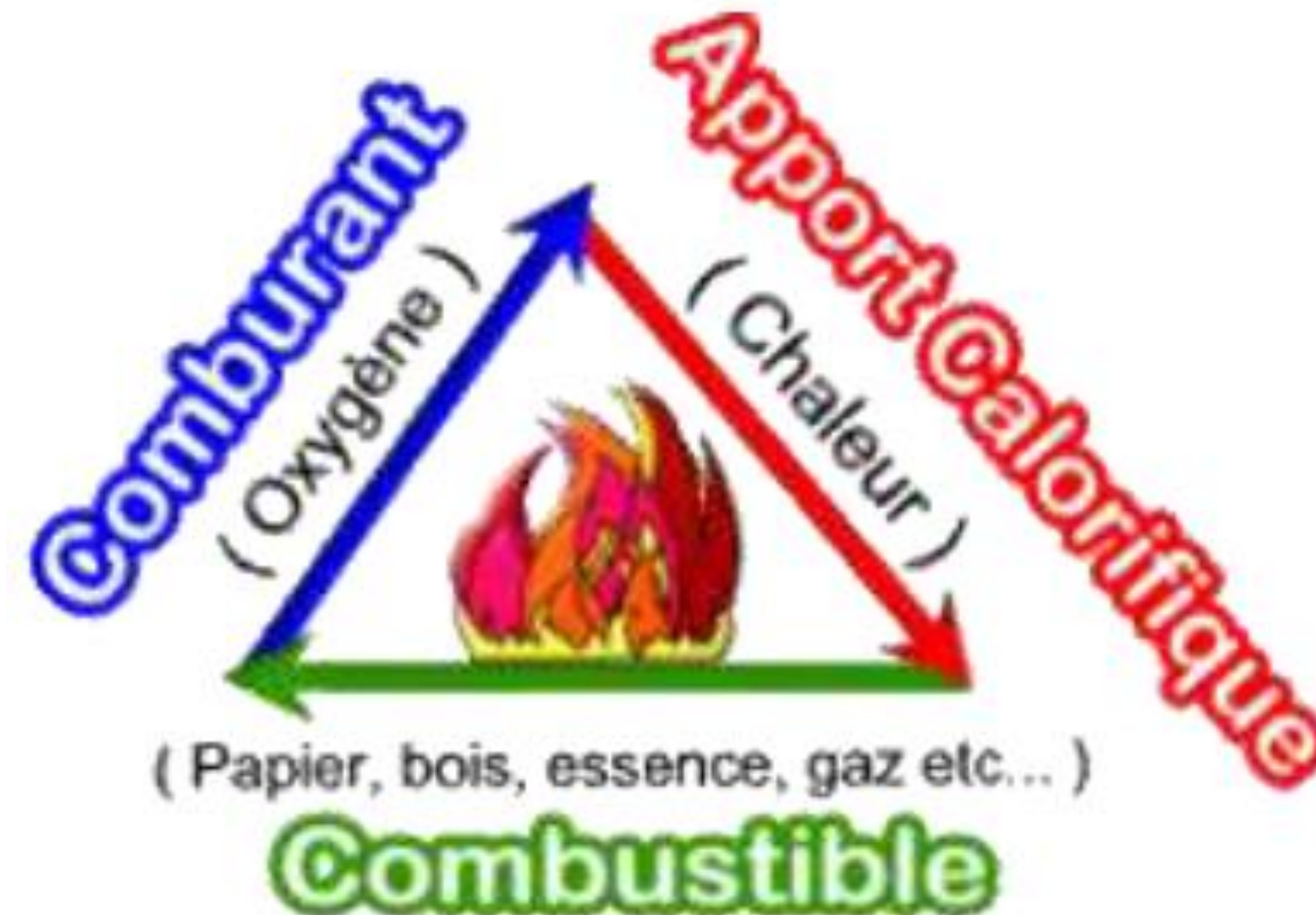
***Un combustible* est une substance qui peut brûler en présence d'un comburant.**

***Un comburant* est une substance (dans l'air c'est le dioxygène) qui permet la combustion d'un combustible.**

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Le triangle du feu

Le triangle du feu montre les trois éléments indispensables pour une combustion

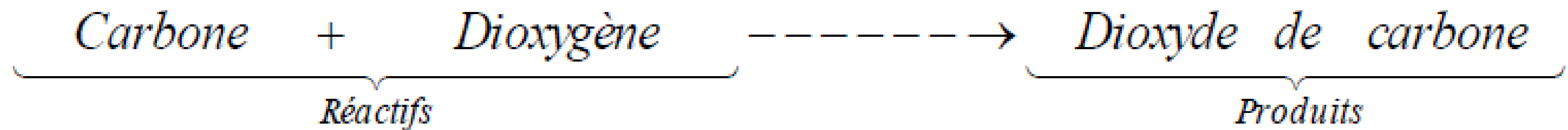


Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Bilan de la transformation chimique

On donne ci-dessous le bilan de la transformation chimique traduisant la combustion du carbone.

On place à gauche de la flèche les noms des réactifs séparés par le signe + et à droite de la flèche le nom du ou des produits.



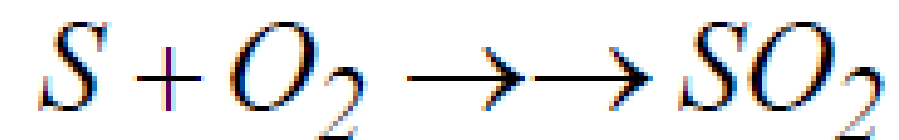
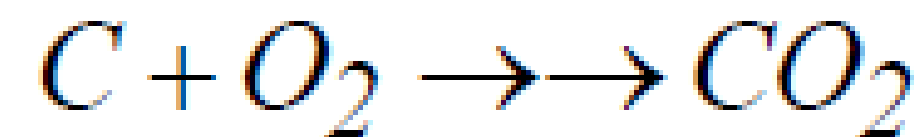
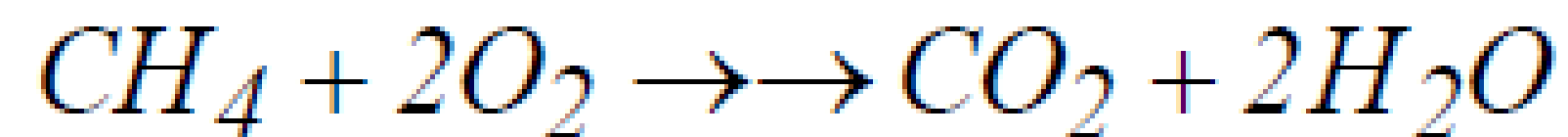
Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Réactifs et produits :

Au cours d'une transformation chimique, les substances qui réagissent entre elles et qui disparaissent sont appelées les réactifs, celles qui sont formées sont appelées les produits.

Combustion stoechiométrique :

La combustion est stoechiométrique (neutre) lorsqu'il y a exactement assez de comburant pour oxyder totalement le combustible , les fumées ne contiennent ni oxygène, ni combustible



La combustion stoechiométrique conduit à la température de combustion la plus élevée. Par conséquent, elle est considérée comme combustion idéale.

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

- En mélange stœchiométrique (mélange qui contient la quantité d'air juste nécessaire pour brûler le combustible présent) d'un hydrocarbure de formule C_nH_m et d'air sec atmosphérique, on a en supposant la combustion complète :



Avec ΔH_c , enthalpie de combustion

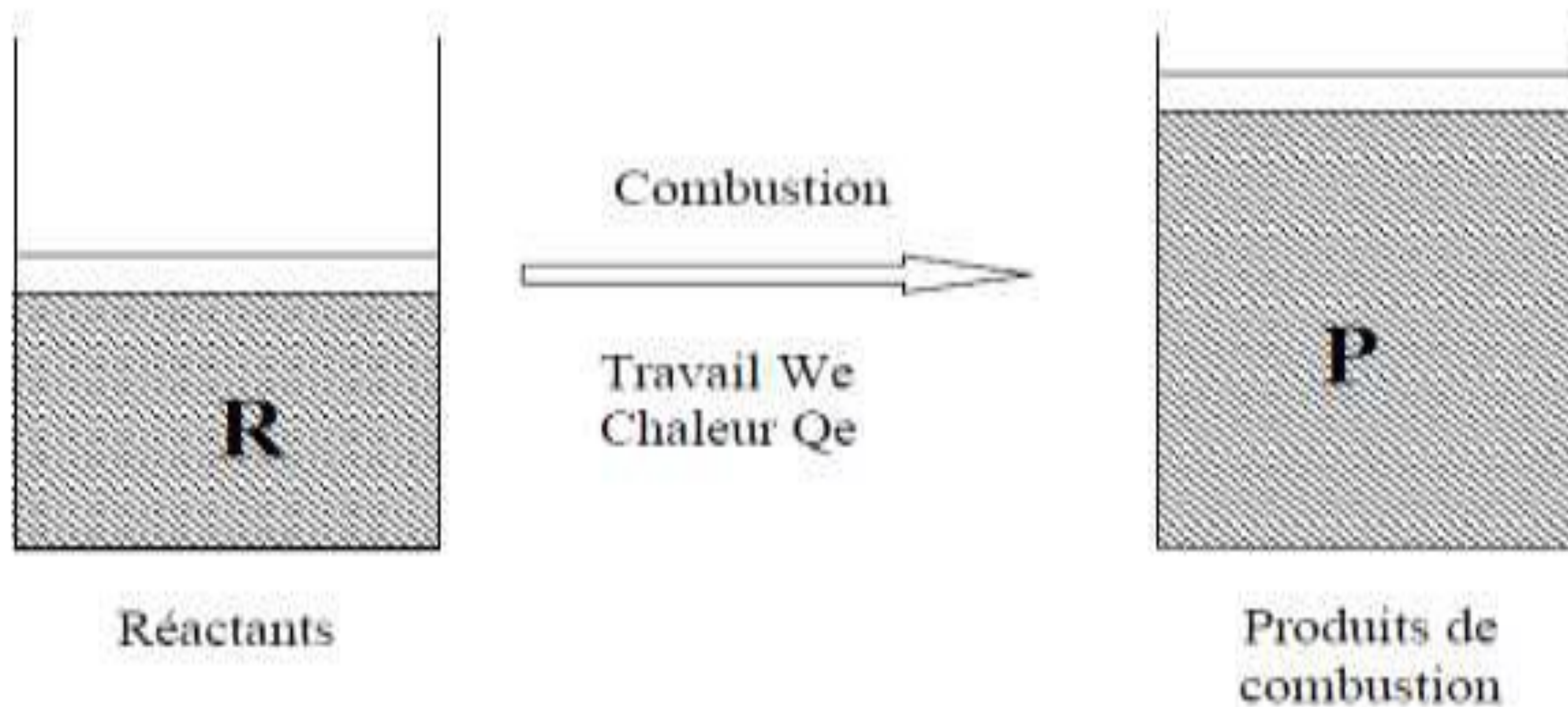
Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Thermodynamique de la combustion

Premier principe

1°) Premier principe en système fermé

Considérons un mélange combustible enfermé dans un récipient:



Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Le système hachuré est un système fermé. Le premier principe s'écrit donc:

$$We + Qe = U_P - U_R$$

On peut écrire aussi la conservation de la quantité de matière:

$$m_P = m_R = m$$

Les chimistes ont coutume d'utiliser pour origine des fonctions thermodynamiques (indice 0), les conditions 25°C, 760mmHg. On pose donc:

$$U'_P = U_P - U_{P0} \quad , \quad U'_R = U_R - U_{R0}$$

Où U_{R0} et U_{P0} sont les énergies internes respectivement des réactants et des produits de combustion dans les conditions de référence donc :

$$We + Qe = U'_P - U'_R + (U_{P0} - U_{R0})$$

Il est commode d'écrire : $We + Qe - (U_{P0} - U_{R0}) = (U'_P - U'_R)$

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

La variation d'énergie interne due au changement de composition chimique dans les conditions normales : $(U_{P0} - U_{R0})$ apparaît dans le premier membre, donc comme un transfert de chaleur. C'est ce qu'on appelle chaleur de réaction isochore

$$We + Qe - (U_{P0} - U_{R0}) = (U'_P - U'_R) \quad Qc = -(U_{P0} - U_{R0})$$

Le premier principe peut donc s'écrire pour un système fermé avec combustion

$$We + Qe + Qc = (U'_P - U'_R)$$

Qc : est positive dans le cas d'une réaction exothermique (cas des combustions), négative dans le cas d'une réaction endothermique. Les produits d'une réaction exothermique étant plus stables que les gaz frais, leur énergie interne, dans les mêmes conditions de pression et de température est plus faible donc:

$$U_{P0} < U_{R0} \Leftrightarrow Qc > 0$$

Si les réactifs et produits peuvent être considérés comme des mélanges de gaz parfaits, alors:

$$u'_P - u'_R = \int_{298}^{T_p} C_{v_p} dT - \int_{298}^{T_r} C_{v_R} dT$$

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

$$u'_P - u'_R = C_{v_p}(T_P - 298) - C_{v_R}(T_R - 298)$$

Si : C_{vp} et C_{vr} sont voisins

Et que la température des réactifs
 T_R est souvent proche de 298K.

Alors on peut écrire

$$u'_P - u'_R = C_{v_p}(T_P - T_R)$$

2) Premier principe en système ouvert

$$h'_P - h'_R = C_{p_p}(T_P - T_R)$$

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique PC est la chaleur de réaction de la combustion complète rapportée à l'unité de quantité de combustible

$$PC = \frac{Q_c}{m_c}$$

Dans le milieu scientifique, on l'exprime souvent en **kJ/kg** de combustible.

Néanmoins, suivant le domaine d'application, on peut l'exprimer dans d'autres unités plus pratiques, par exemple, en **kWh/m³** pour le gaz ou **kWh/litre** pour le fuel.

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Une combustion est une réaction chimique. Les réactifs sont le combustible (corps qui brûle) et le comburant (corps qui aide à brûler). Le comburant est généralement le dioxygène.

Cette réaction s'accompagne toujours d'un dégagement de chaleur (réaction exothermique).

Combustible + comburant → produit(s) de la combustion

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Combustion complète

Quand il y a assez de dioxygène (réactif en excès), la combustion d'une matière première est complète. Elle produit du dioxyde de carbone et de l'eau (avec les hydrocarbures).

Combustion incomplète

Quand il n'y a pas assez de dioxygène, la combustion est dite incomplète. Elle risque de former du monoxyde de carbone, du carbone ou les deux à la fois.

Remarque : une combustion complète produit plus d'énergie (transférée sous forme de chaleur) qu'une combustion incomplète.

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Quelques combustions complètes

Combustion du carbone

La combustion complète du carbone, contenu dans le charbon, produit du dioxyde de carbone.

carbone + dioxygène → dioxyde de carbone

Équation de la réaction : $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Combustion du propane

La combustion complète du propane (gaz de chauffage ou domestique) produit aussi du dioxyde de carbone et de l'eau.

propane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau

Équation de la réaction : $C_2H_6 + 7/2 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O$

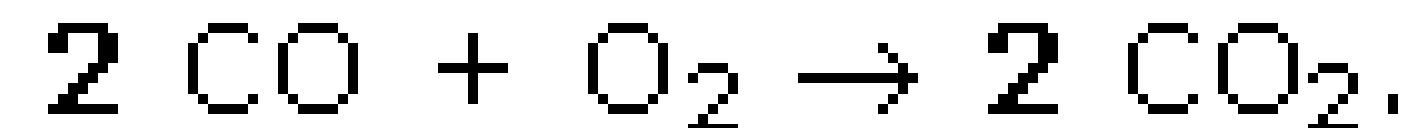
Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Quelques combustions incomplètes

Combustion incomplète du carbone

La combustion incomplète du carbone peut produire (dans certaines conditions) du monoxyde de carbone selon l'équation suivante :

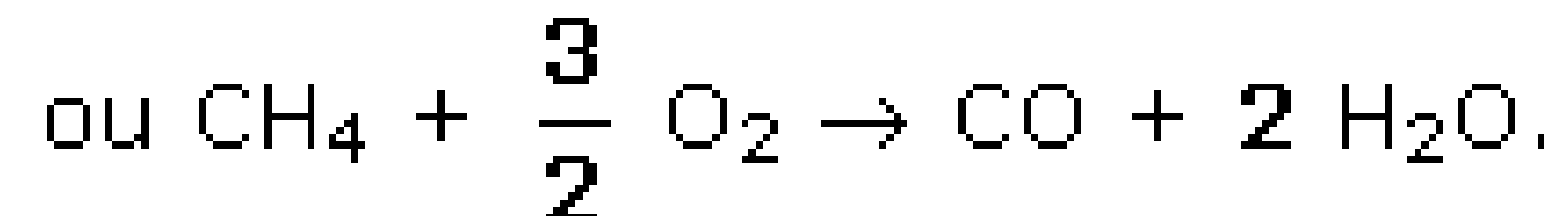
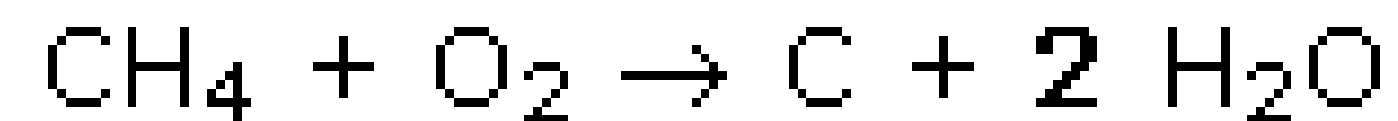
Puis, le monoxyde de carbone produit réagit lui-même avec le dioxygène de l'air :



Combustion incomplète du méthane

La combustion incomplète du méthane produit du carbone ou du monoxyde de carbone et de l'eau.

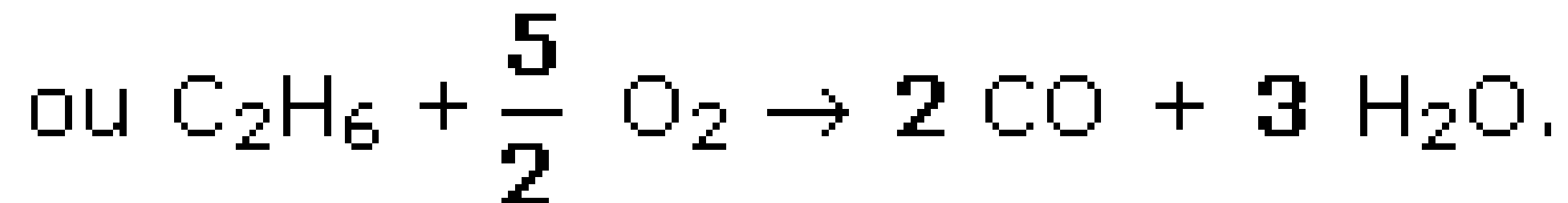
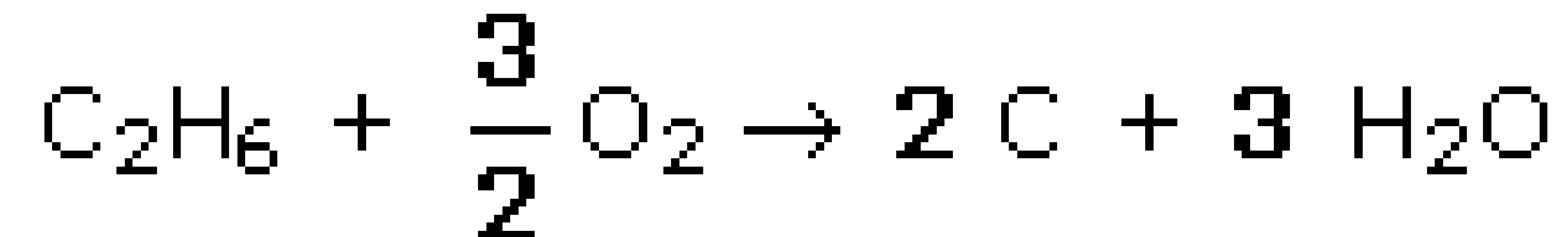
Équations possibles de la réaction :



Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

Combustion incomplète du propane

La combustion incomplète du propane produit aussi du monoxyde de carbone ou du carbone et de l'eau :



L'essentiel

Une combustion est une réaction chimique exothermique mettant en jeu un combustible et un comburant (par exemple, les hydrocarbures avec le dioxygène de l'air).

La combustion complète d'un hydrocarbure produit du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'eau (H₂O).

La combustion incomplète d'un hydrocarbure risque de produire du monoxyde de carbone, ou du carbone, et de l'eau.

Chapitre 4 : Thermodynamique de la combustion

APPLICATIONS

EXERCICE

Ecrire la réaction de combustion du propane C_3H_8 .

Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à n atomes de carbones vaut :

$(662 n + 260) \text{ kJ.mol}^{-1}$?

Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ vaut 15°C .

Quelle est la température finale de l'eau ?

Les masses molaires sont : $[C] = 12 \text{ g/mol}$, $[H] = 1 \text{ g/mol}$