



où il est question d'une molécule, mal aimée, mal connue,
mais très importante dans les processus énergétiques

Géoressources, énergies et
transitions

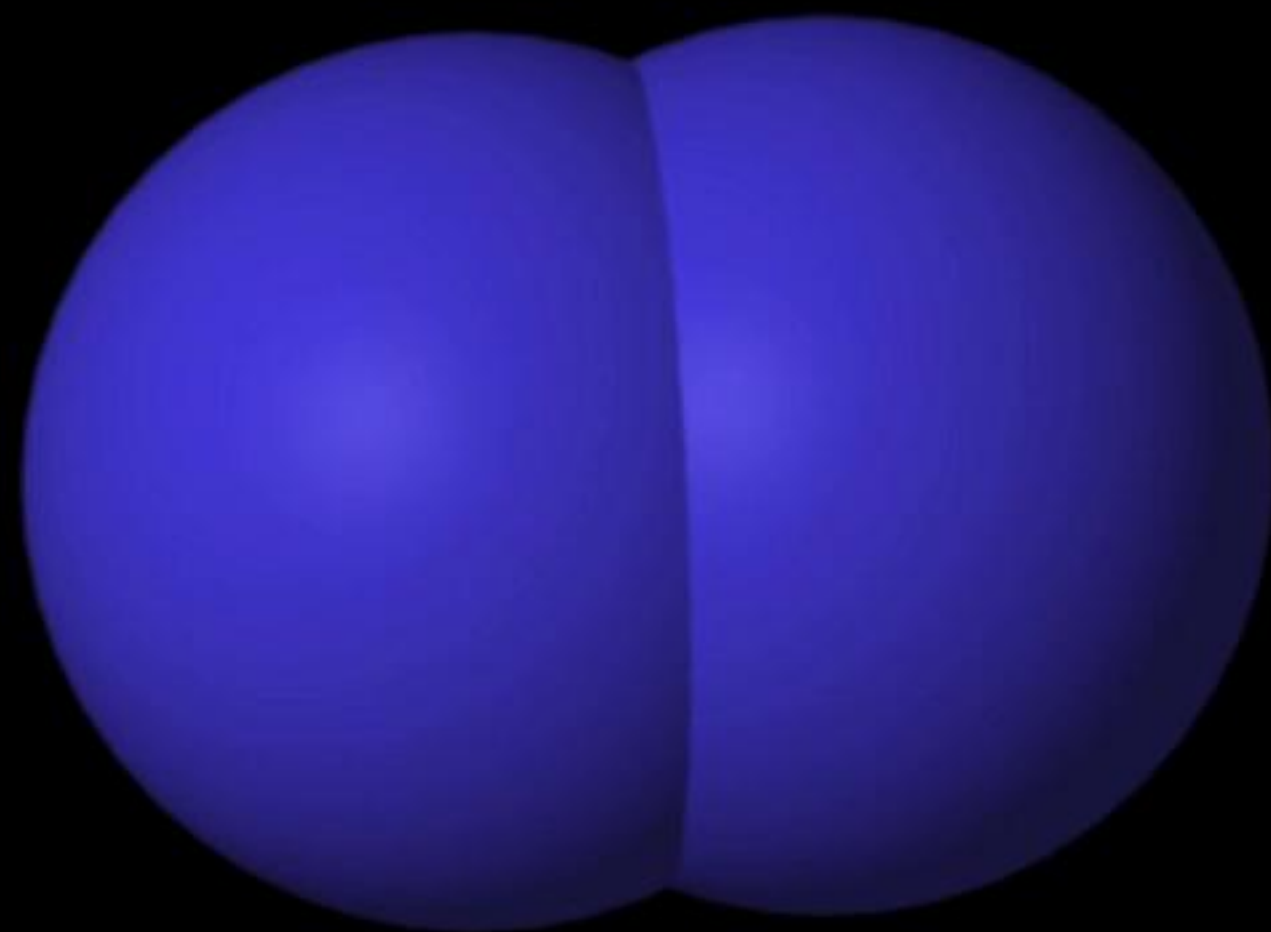
Une molécule qui ressemble au diazote (N₂) ...

Un gaz inodore et incolore

Une structure comparable

Même masse molaire

-> 28 g/mol



N₂, le diazote

Le diazote est
inoffensif



Cette molécule mystère
donne un gaz mortel

?



Toxique



Mutagène



Inflammable

Une teneur de 1000 ppm
dans l'air est mortelle

c'est-à-dire une
molécule sur 1000 !

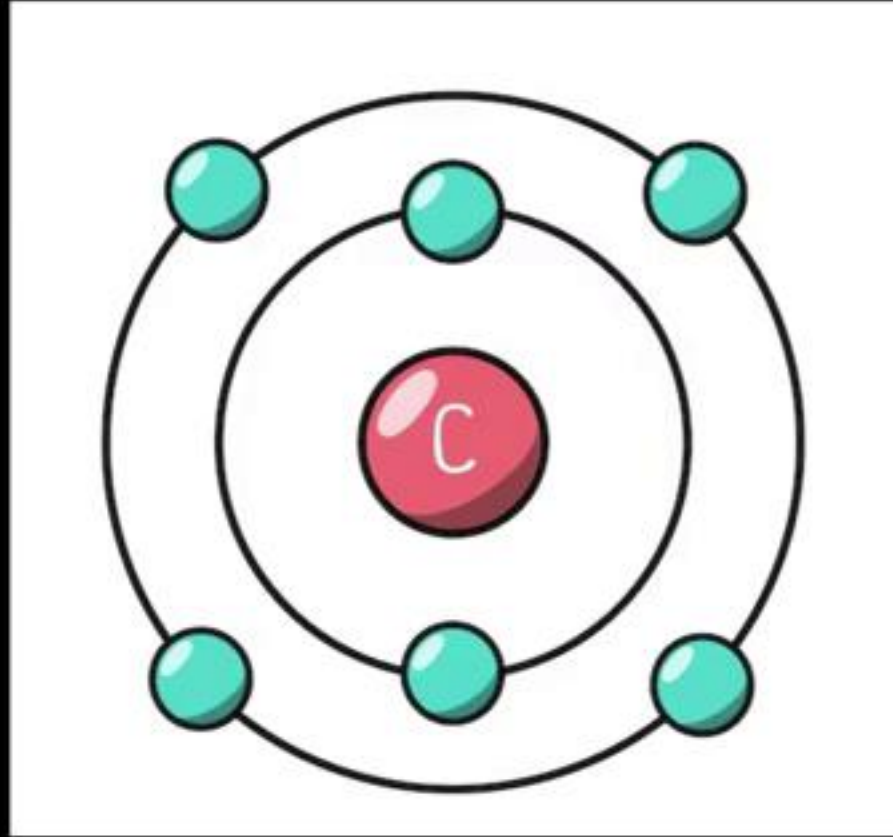


Une teneur de 1000 ppm
dans l'air est mortelle

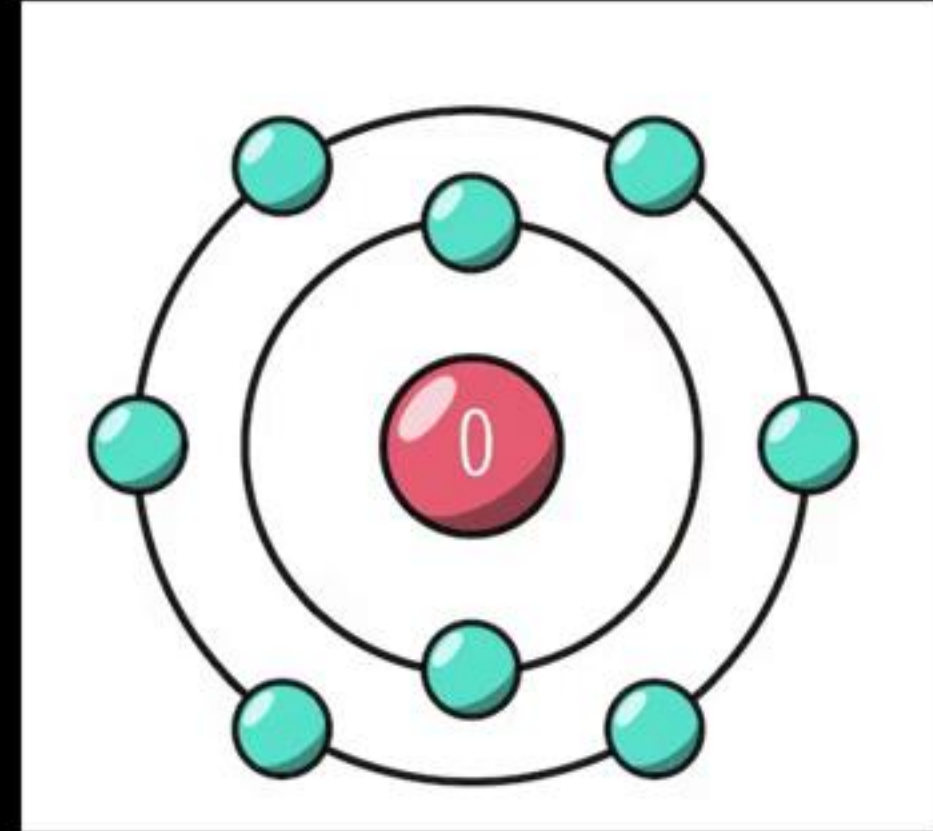
c'est-à-dire une
molécule sur 1000 !



Et pourtant, cette molécule mystère n'est constituée que d'atomes très communs dans les molécules de la vie



L'atome de carbone

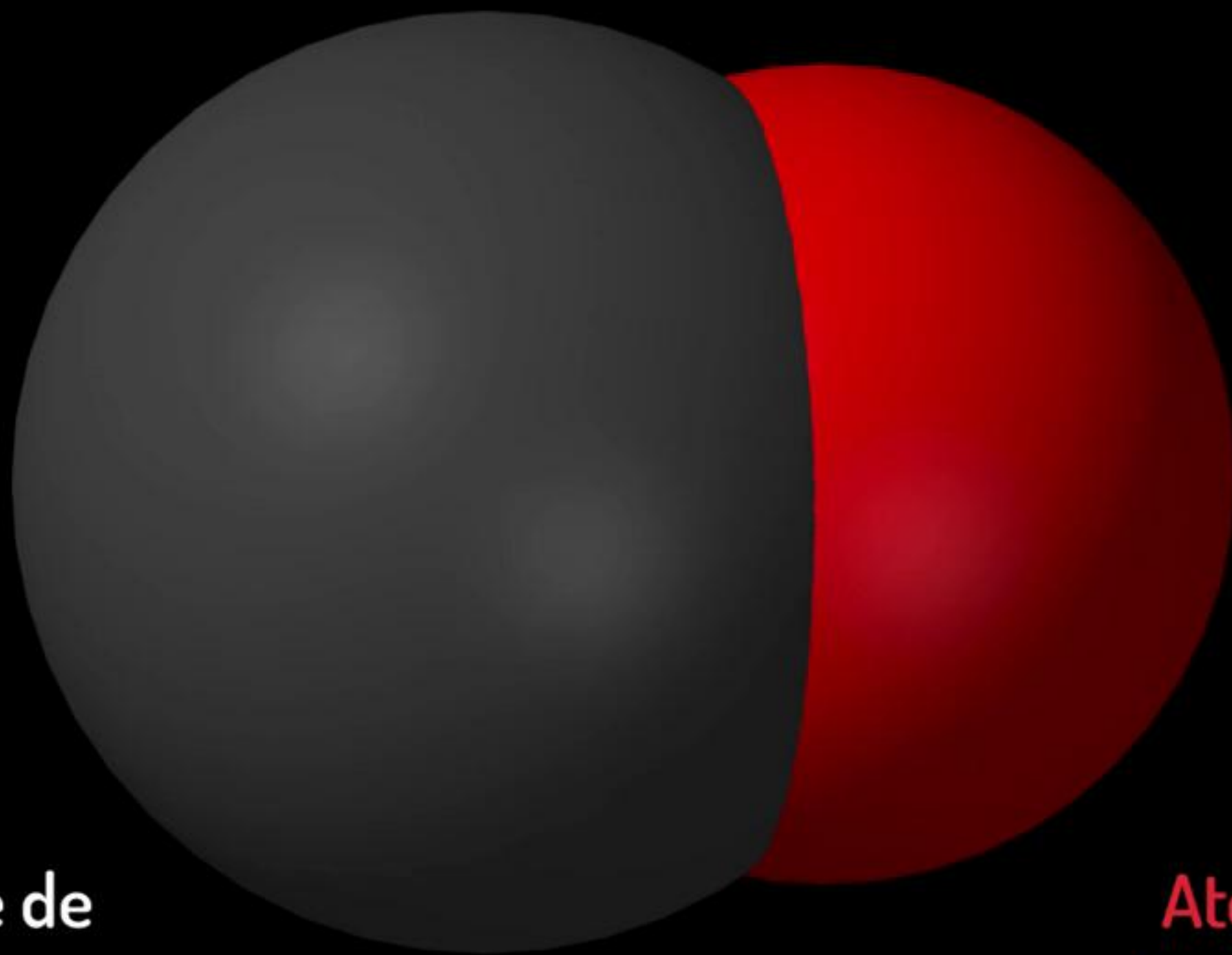


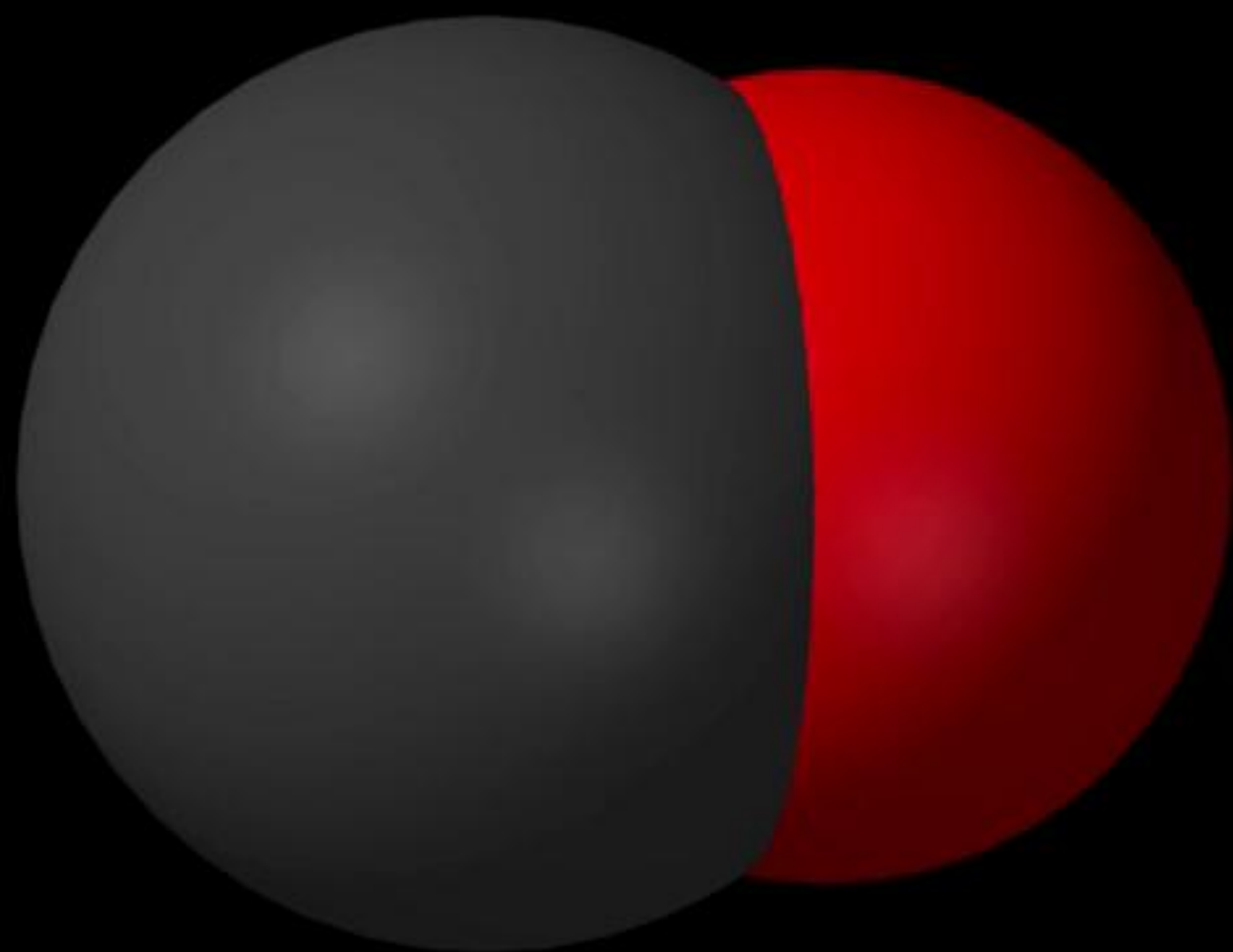
L'atome d'oxygène

Le monoxyde de carbone

Atome de
carbone

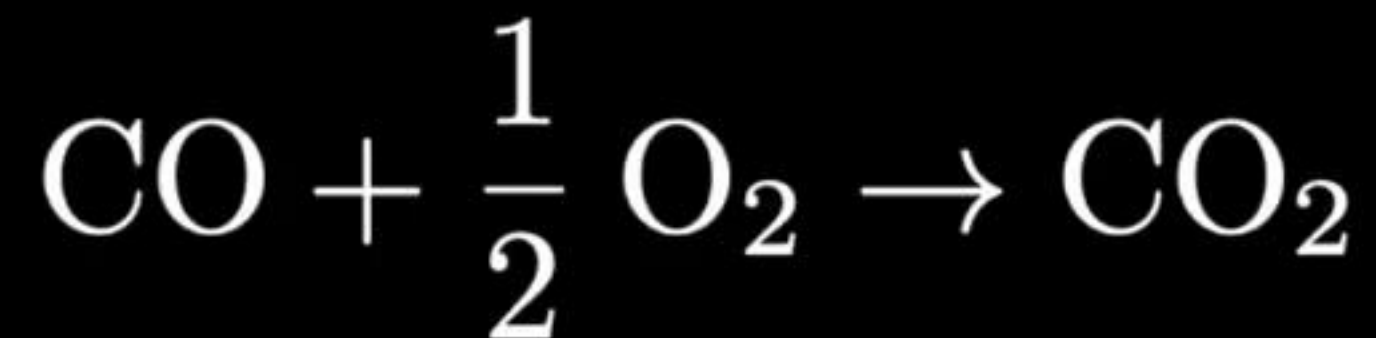
Atome
d'oxygène





Une liaison triple entre un atome de carbone et un atome d'oxygène

Un gaz inflammable en
présence de dioxygène



Le pouvoir de combustion du monoxyde de carbone

$$\frac{283 \text{ kJ mol}^{-1}}{28 \text{ g mol}^{-1}} \simeq 10.1 \text{ kJ/g CO} \simeq 2.8 \text{ Wh/g CO}$$

```
→ atmoTerre git:(main) python3 atmoter.py reaction --t 298.15 --co -1 --o2 -0.5 --co2 1
Atmoter
Reaction

co + 0.5 o2 -> co2

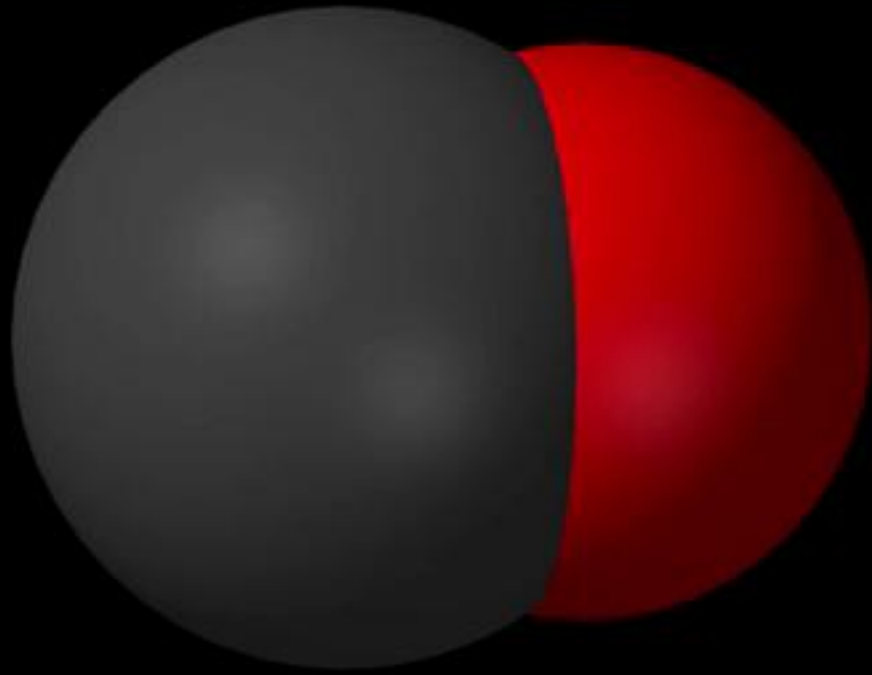
co2  h0  -393.522 kJ/mol  s0  213.795 J/K/mol  g0  -457.265 kJ/mol
co   h0  -110.527 kJ/mol  s0  197.653 J/K/mol  g0  -169.457 kJ/mol
o2   h0   0.000 kJ/mol   s0  205.147 J/K/mol  g0   -61.165 kJ/mol

deltaH0 :  -282.995 kJ
deltaS0 :   -86.431
deltaG0 :  -283.889 kJ
T0      :   3284.560 K
logK    :      115
K       :   5.78e+49 bar^-0.50

→ atmoTerre git:(main) █
```

Programme AtmoTer

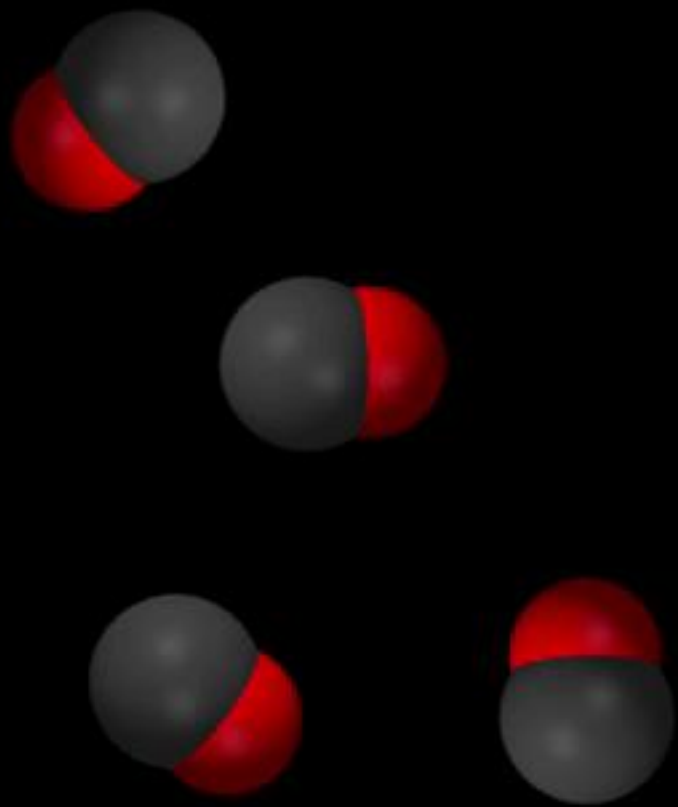
Avec ses 10 kJ/g
ou 2.8 Wh/g,



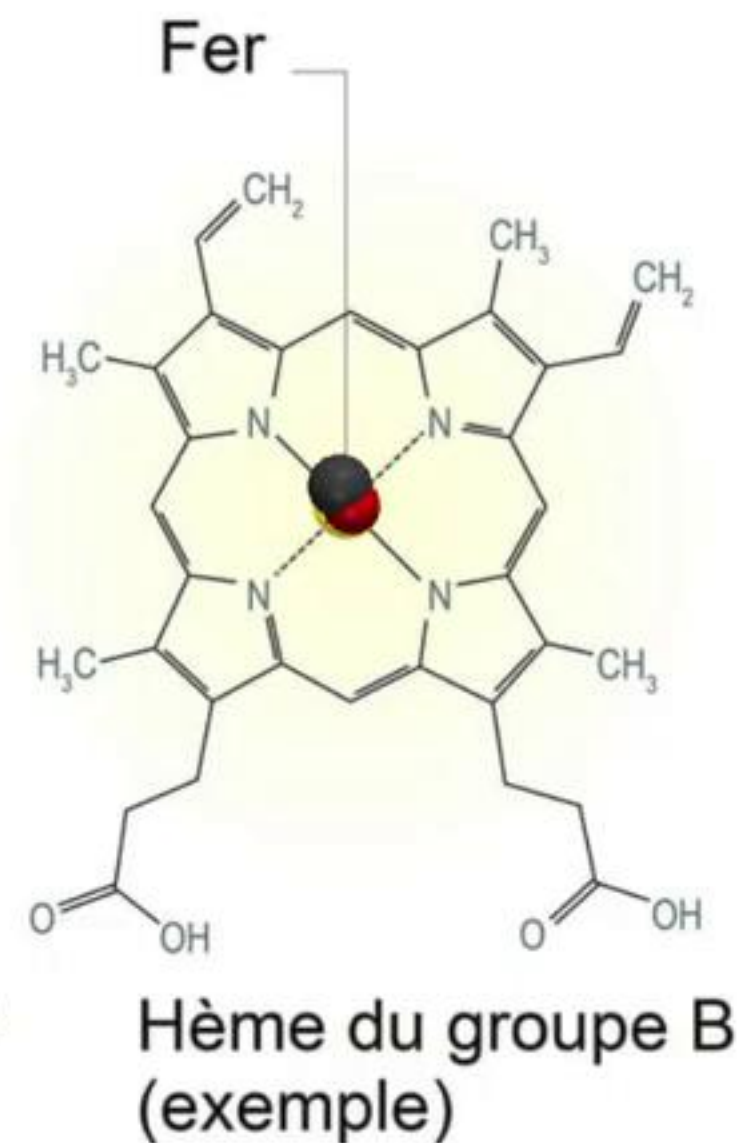
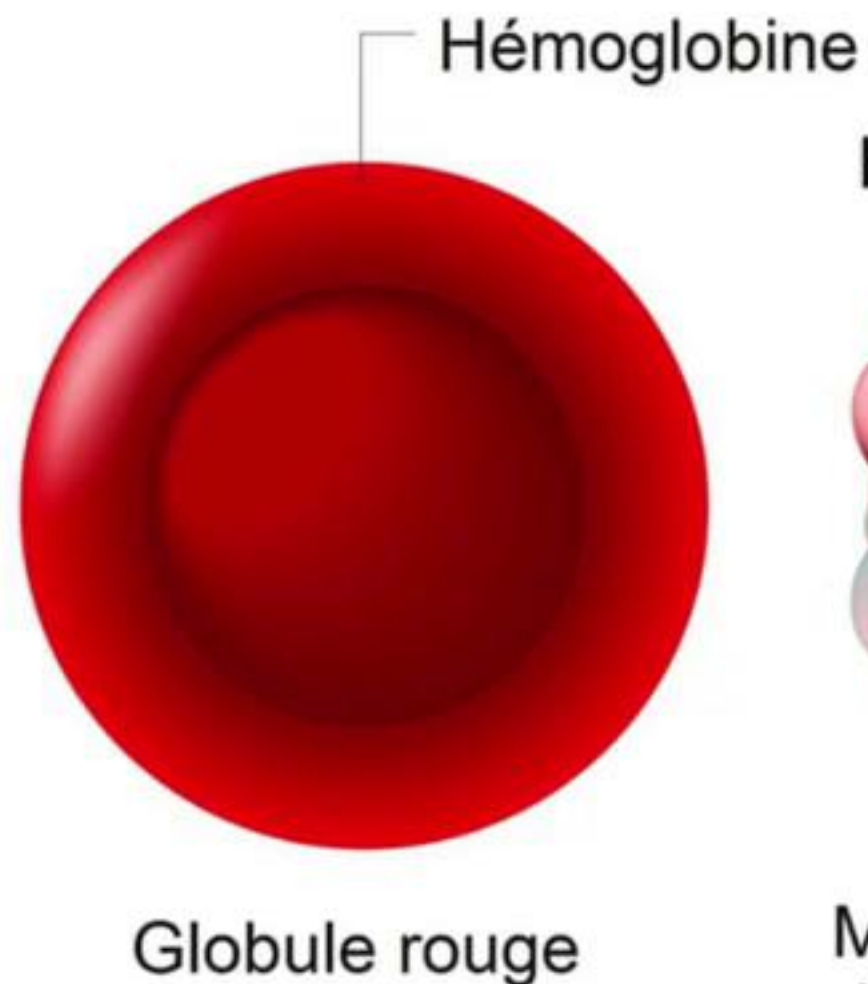
le monoxyde de carbone
n'est pas un combustible
très énergétique

mais c'est une molécule très
réactive et elle présente une
grande affinité pour les métaux

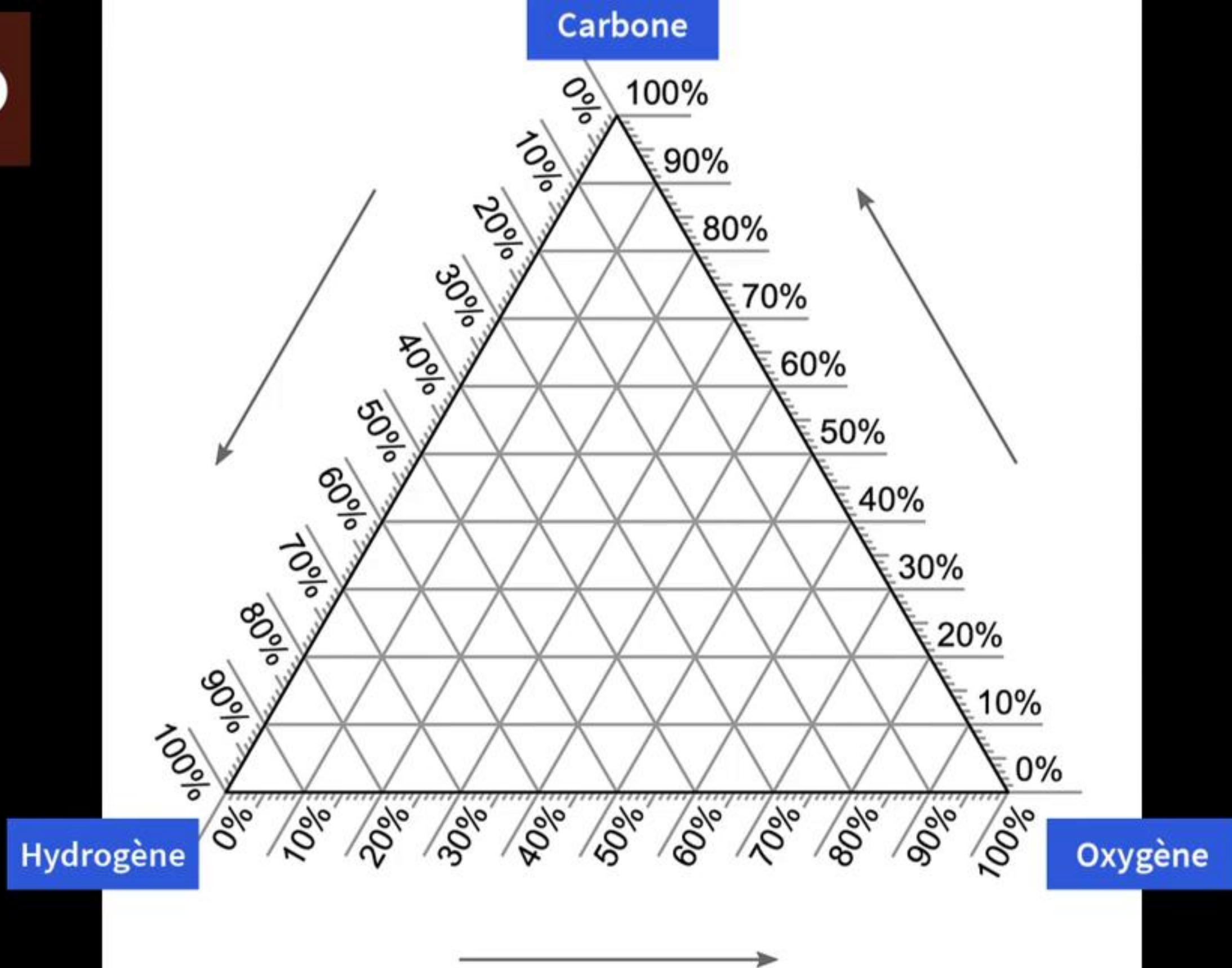
La toxicité du monoxyde de carbone



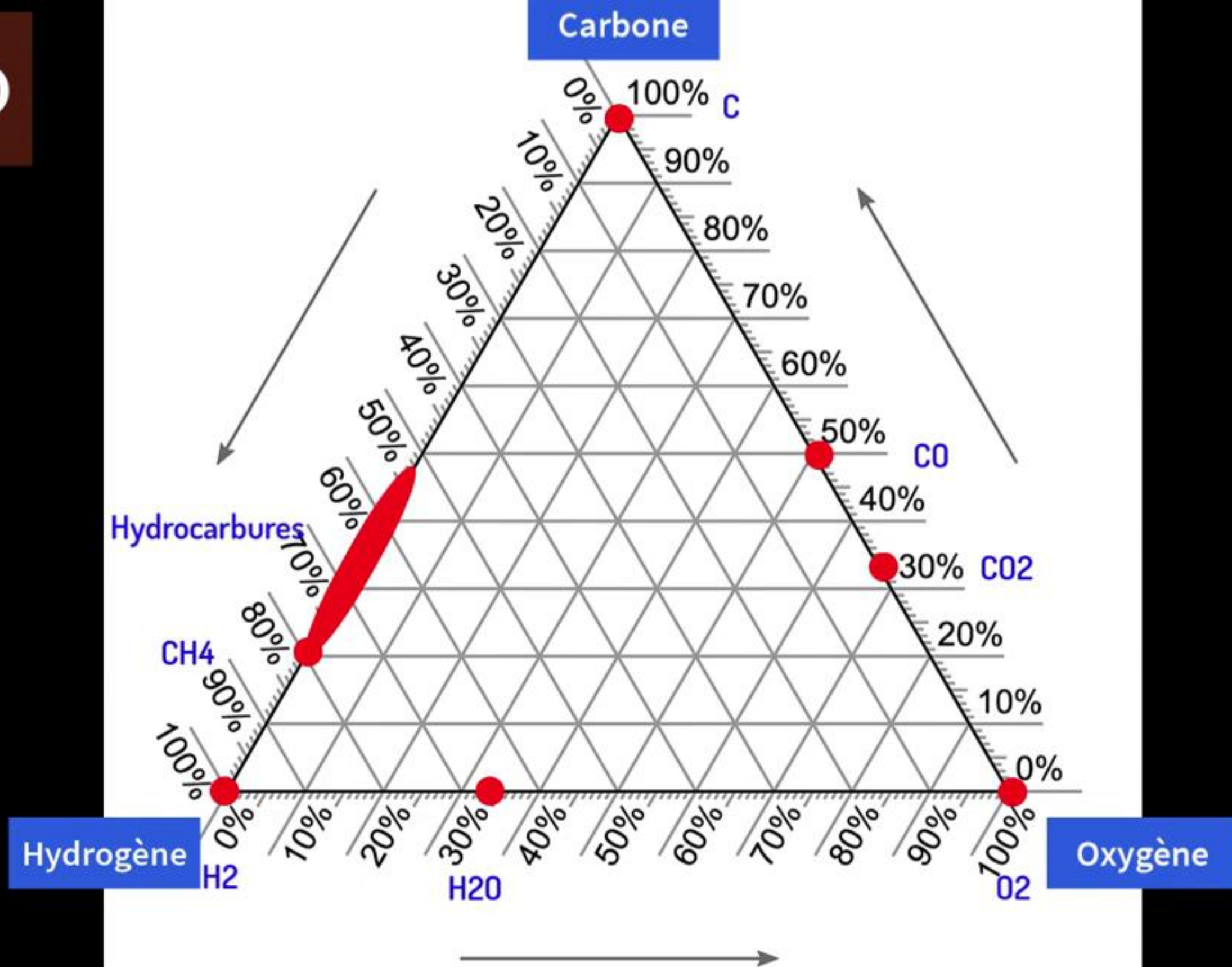
STRUCTURE DE L'HEMOGLOBINE



Le diagramme CHO



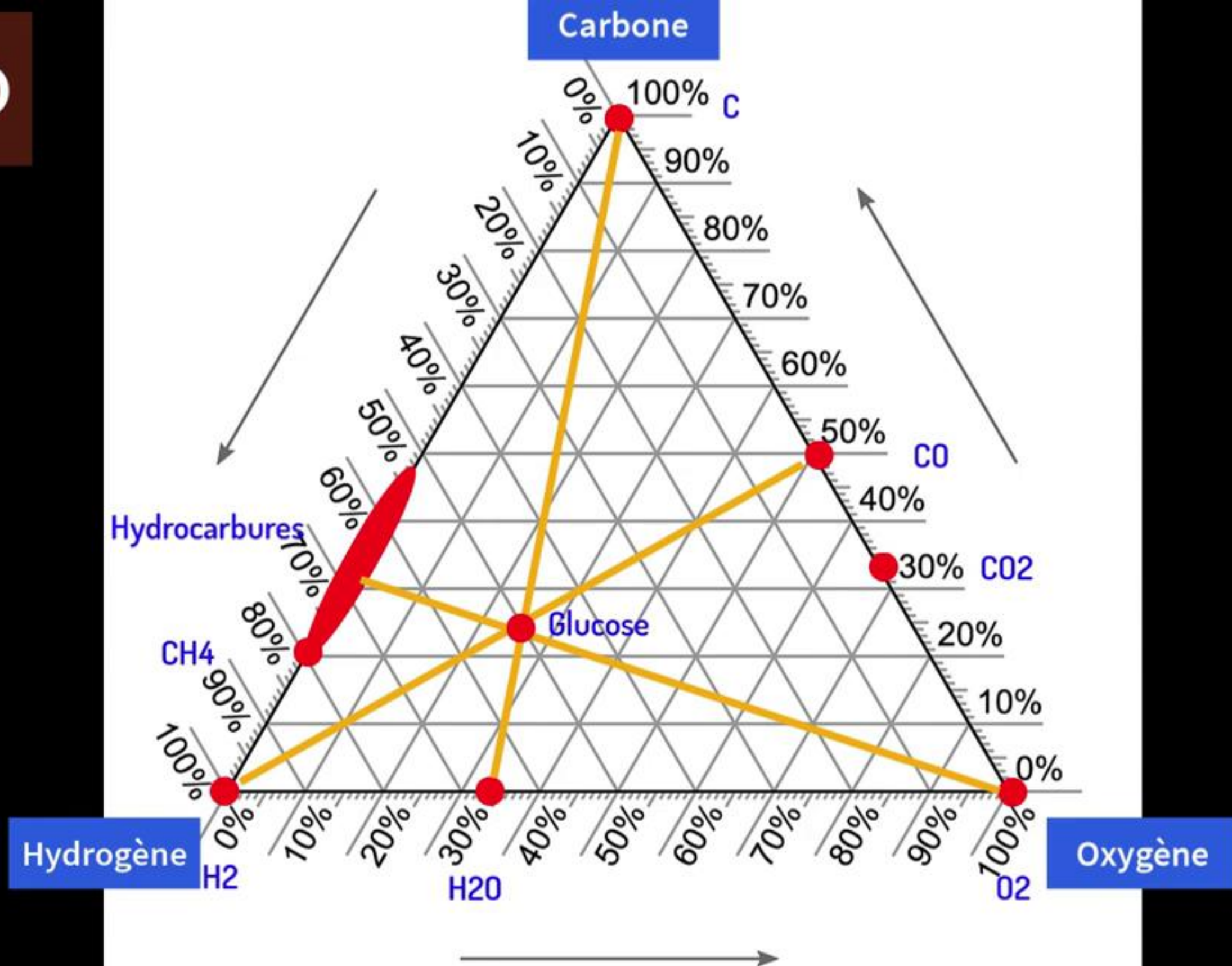
Le diagramme CHO



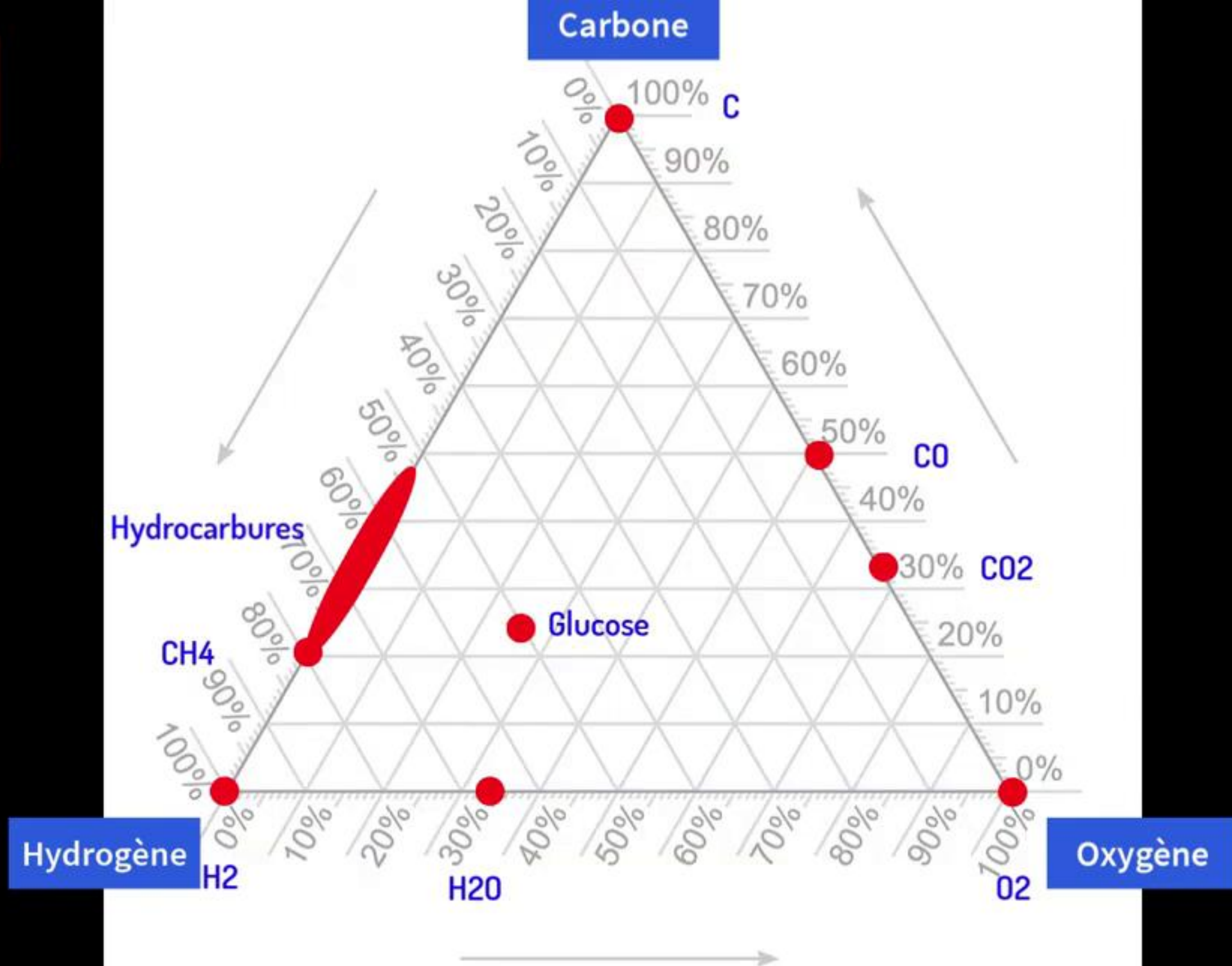
Le diagramme CHO



- le segment reliant le CO au pôle Hydrogène
- le segment reliant le pôle Carbone à H₂O
- le segment reliant le pôle Oxygène à C_nH_{2n} (hydrocarbures cycliques saturés)



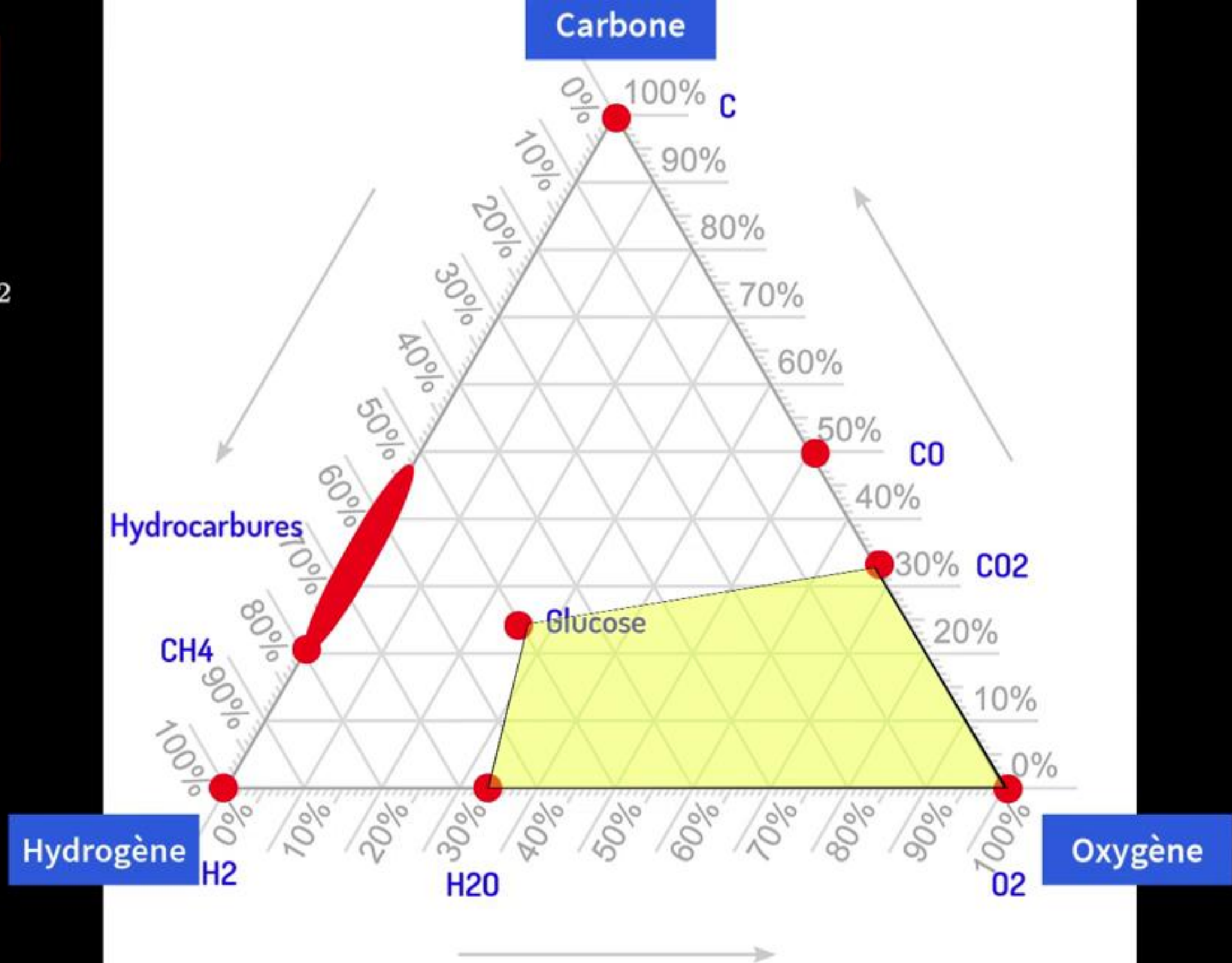
La photosynthèse



La photosynthèse



Pas de photosynthèse possible en dehors de ce polygone !

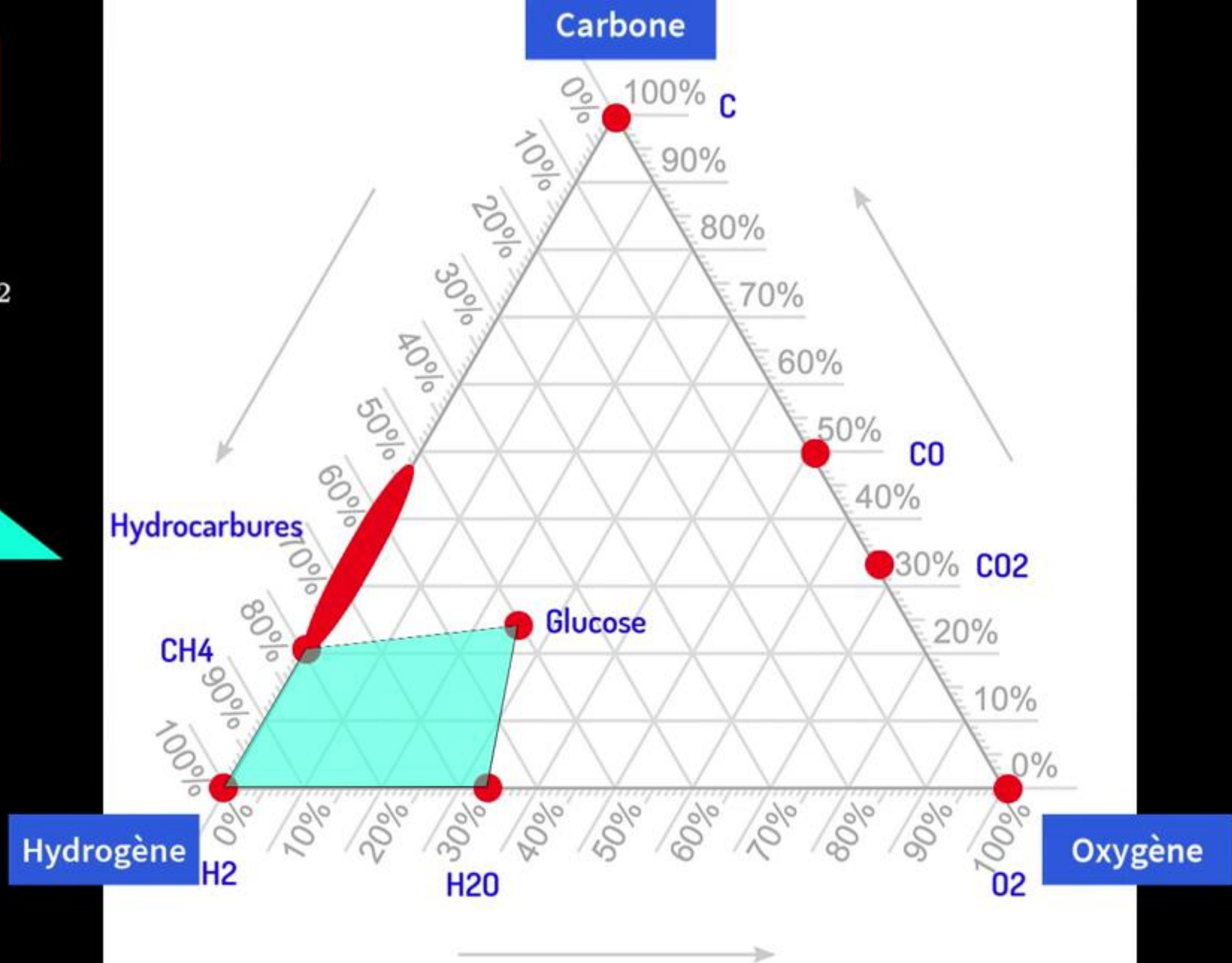


La photosynthèse



Cette zone est trop riche en hydrogène, et trop pauvre en carbone et en oxygène pour la photosynthèse

mais on peut imaginer d'autres formes de vie à base de H₂, H₂O, CH₄ et glucose !

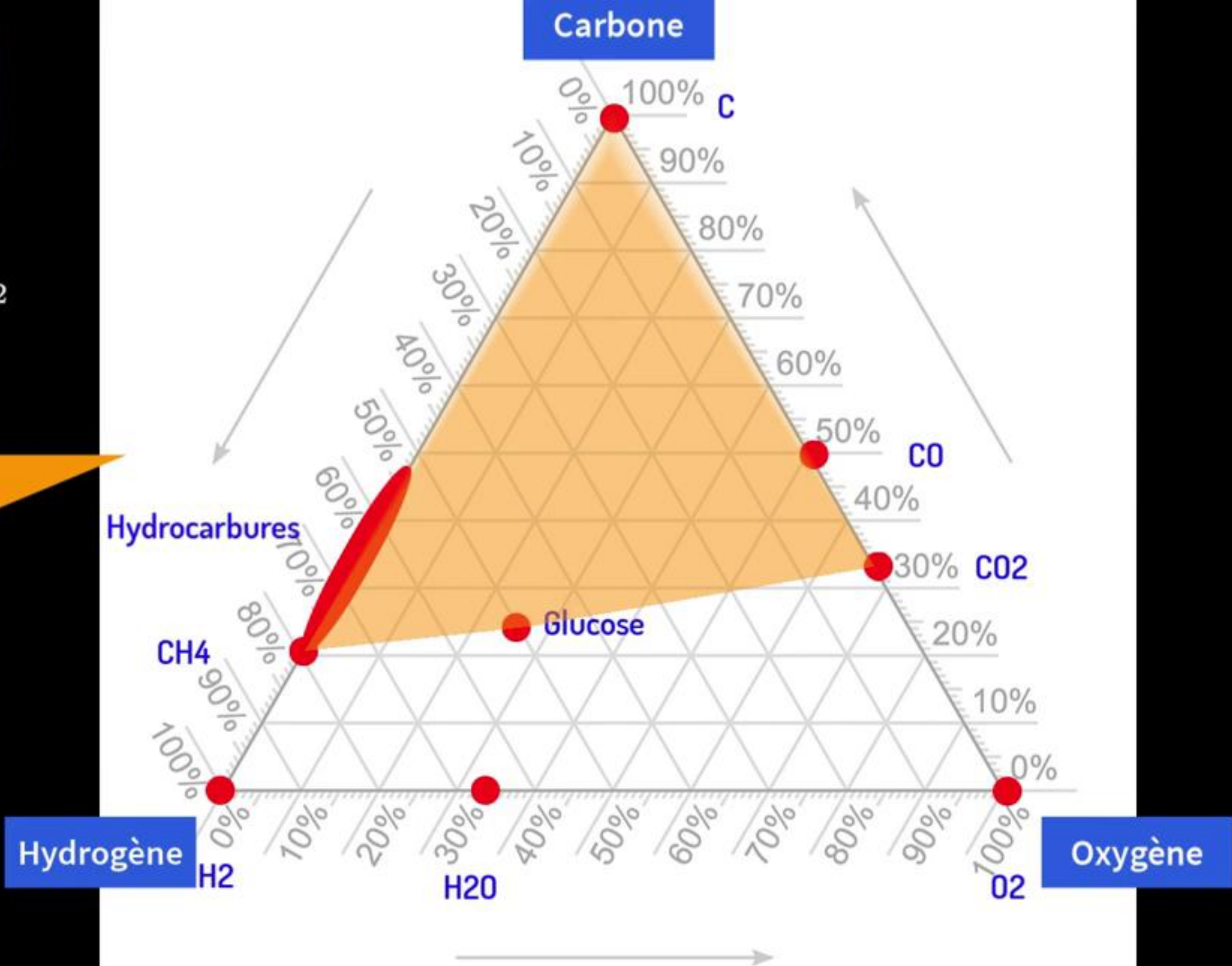


La photosynthèse



Cette zone est trop riche en carbone, et trop pauvre en hydrogène et en oxygène pour la photosynthèse

mais peut-être des formes de vie à base de CH₄, hydrocarbures, C, CO et glucose ?

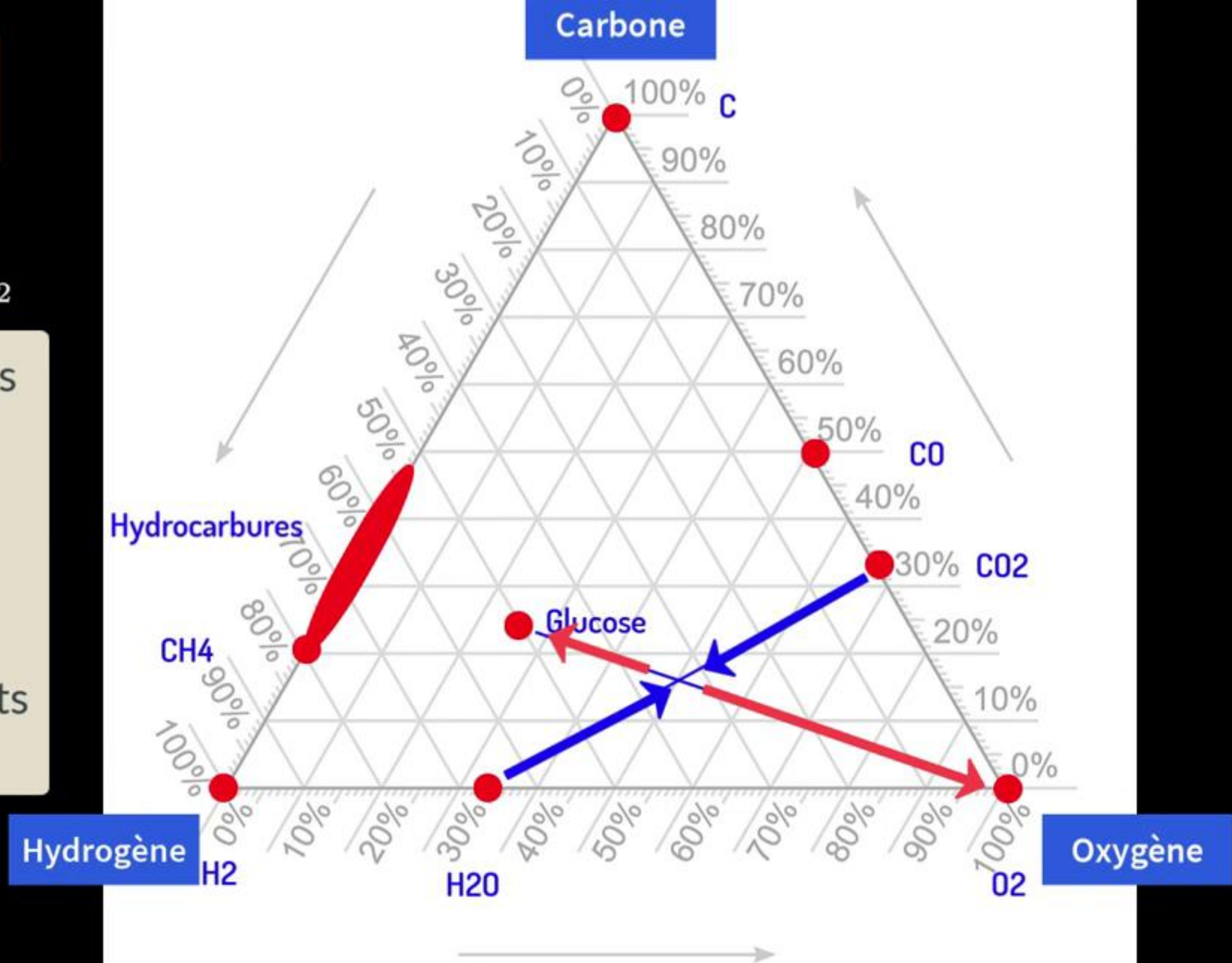


La photosynthèse



La réaction se représente par des flèches reposant sur:

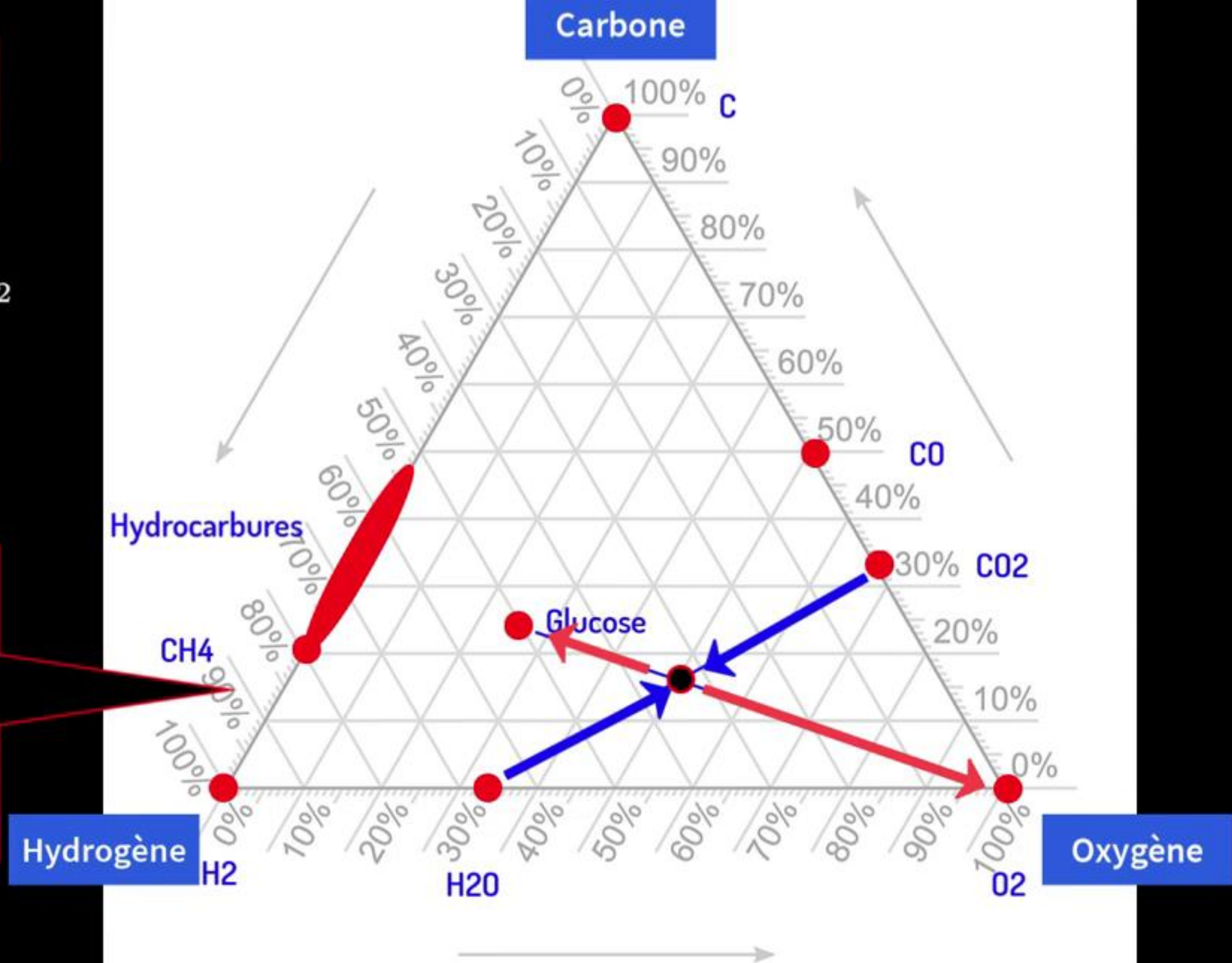
- les segments reliant les réactants -> **flèches convergentes**
- les segments reliant les produits -> **flèches divergentes**



La photosynthèse



La composition globale optimale en carbone, oxygène et hydrogène pour faire de la photosynthèse

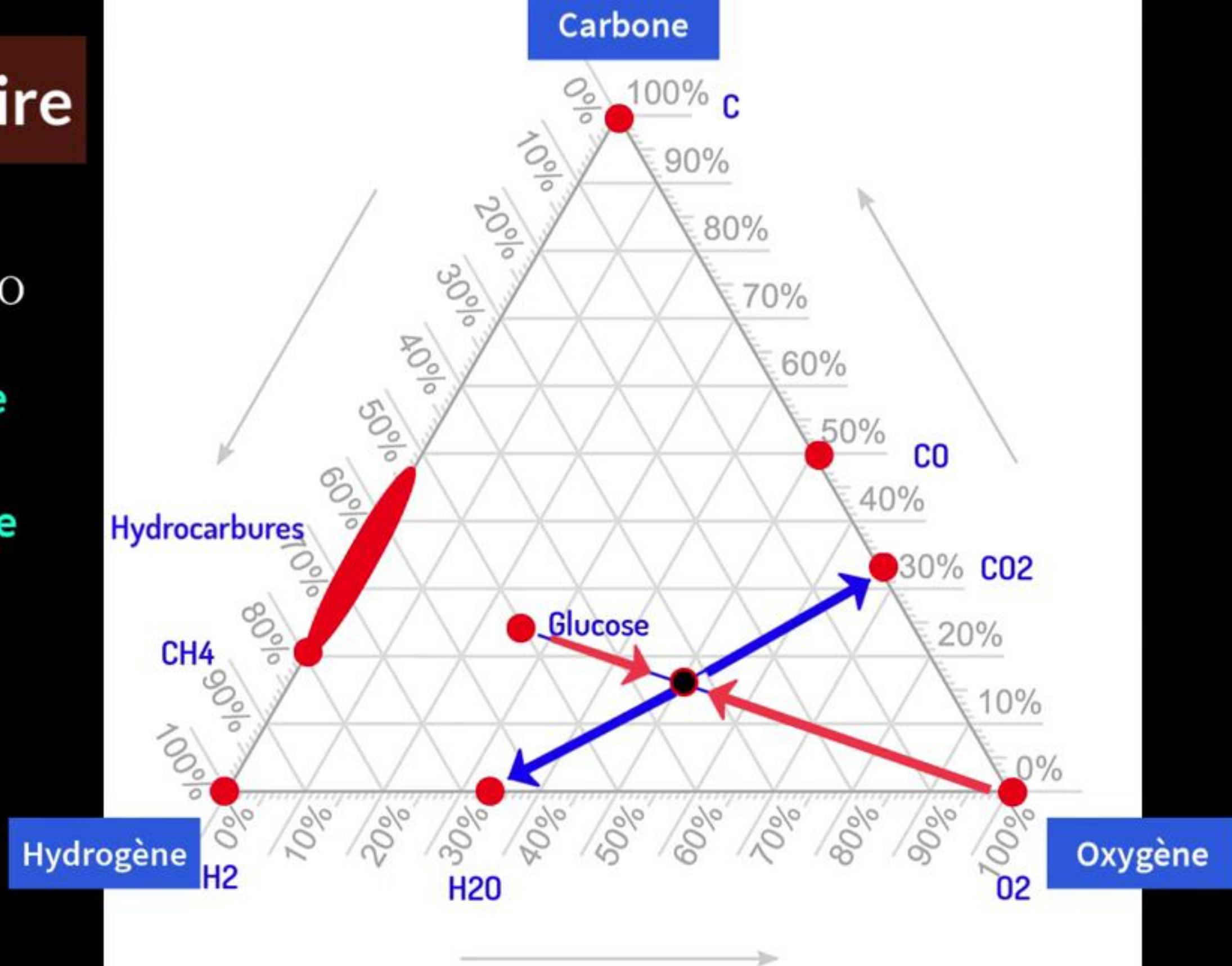


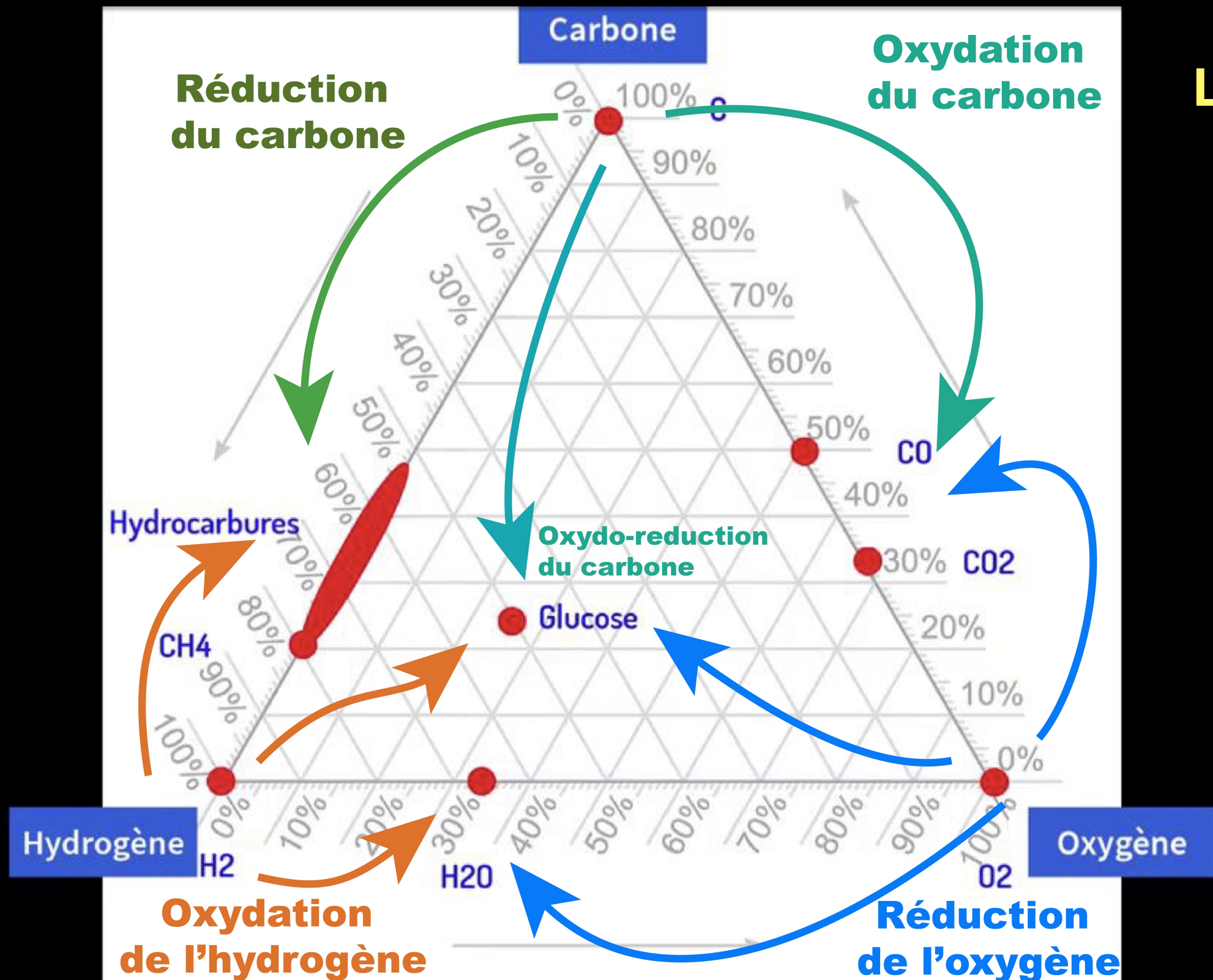
La respiration cellulaire



C'est aussi la réaction de combustion du glucose en présence de dioxygène

On inverse le sens des flèches !





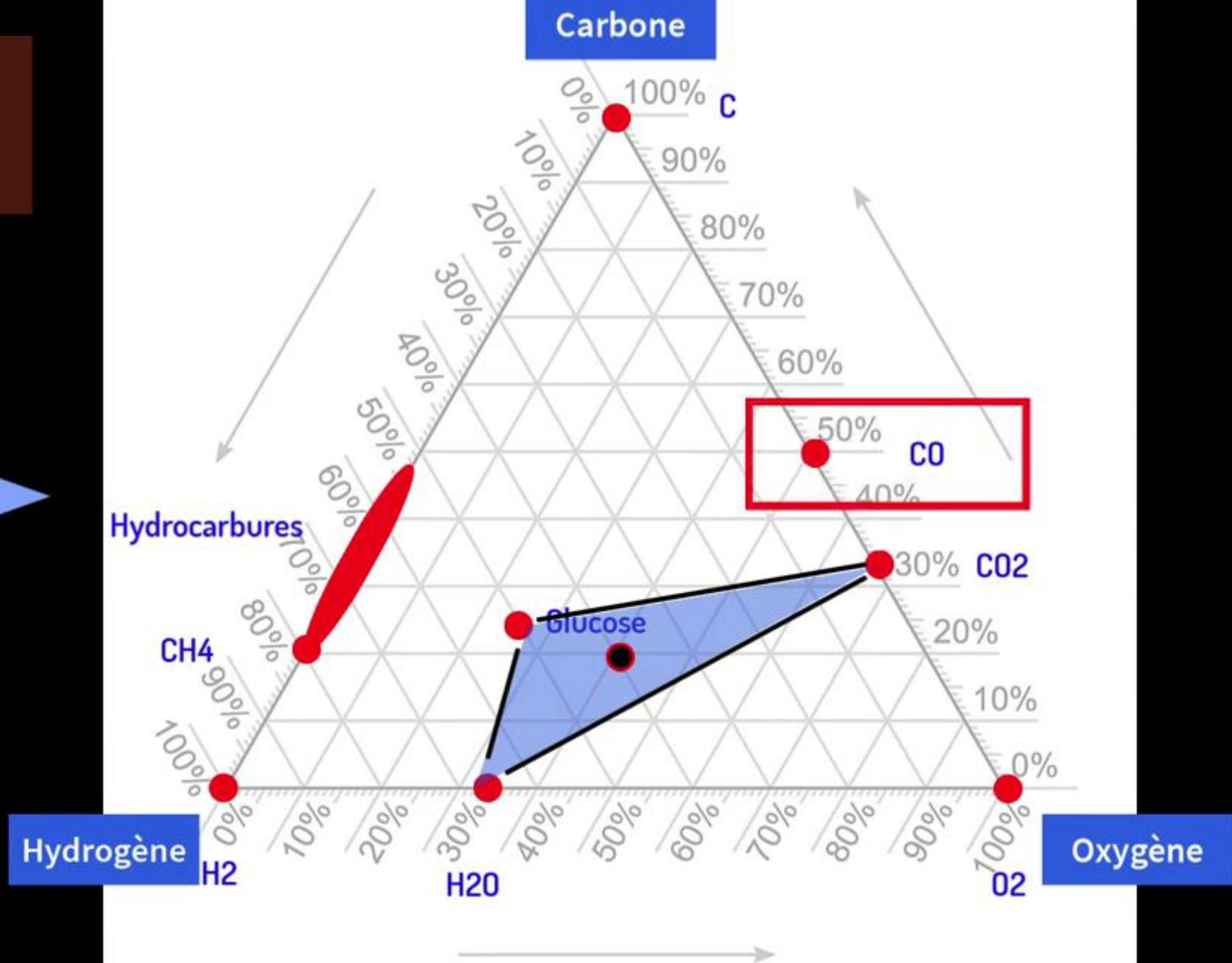
La vie ?

= Des transferts d'énergie par le biais de réactions d'oxydo-réduction (échanges d'électrons entre des molécules plus ou moins stables) au sein de structures dissipatives (cellules et organismes vivants)

En cas de combustion incomplète ...

Composition globale dans un secteur plus riche en carbone et hydrogène, et plus pauvre en oxygène

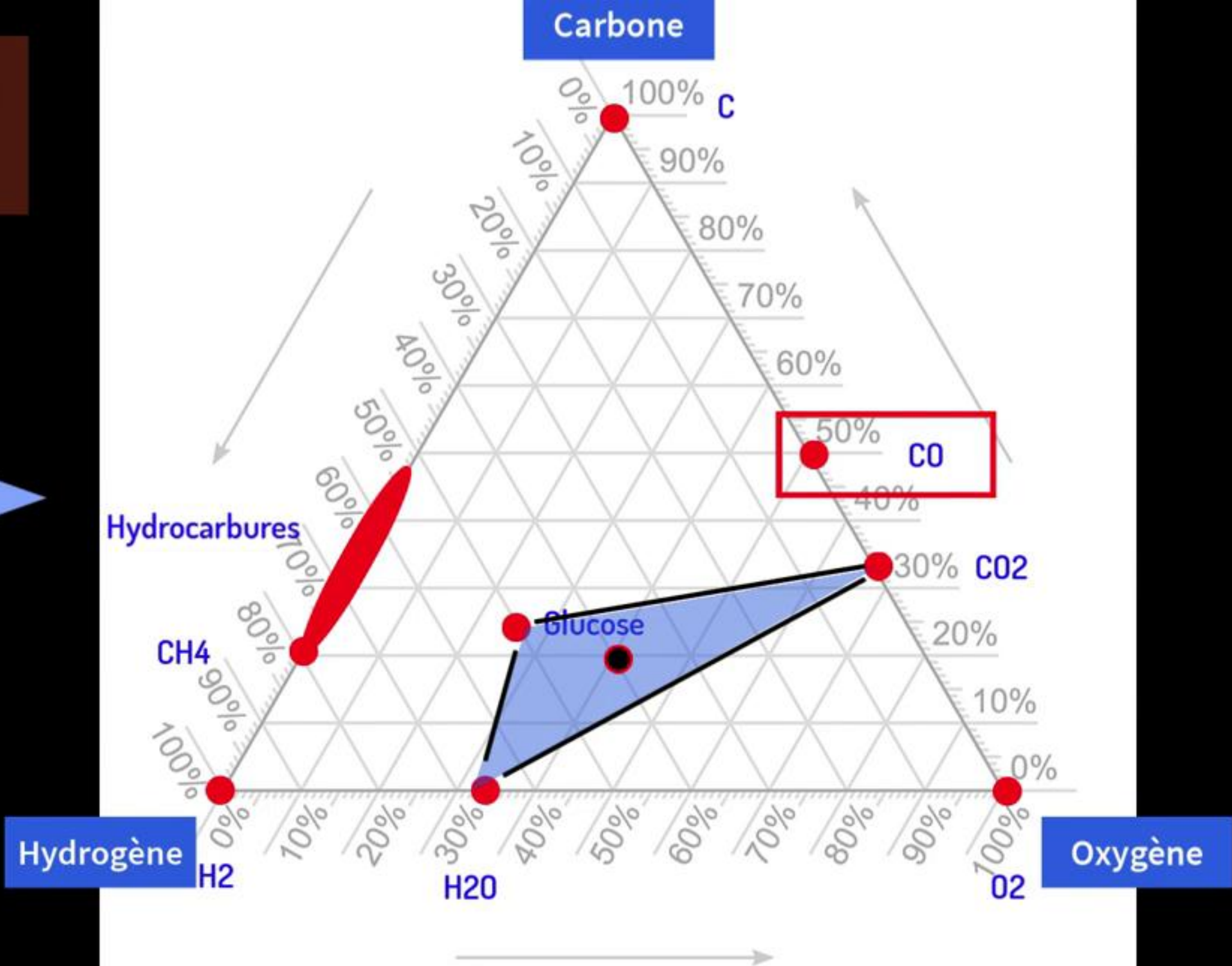
Tout le dioxygène va être consommé, mais il restera du glucose !



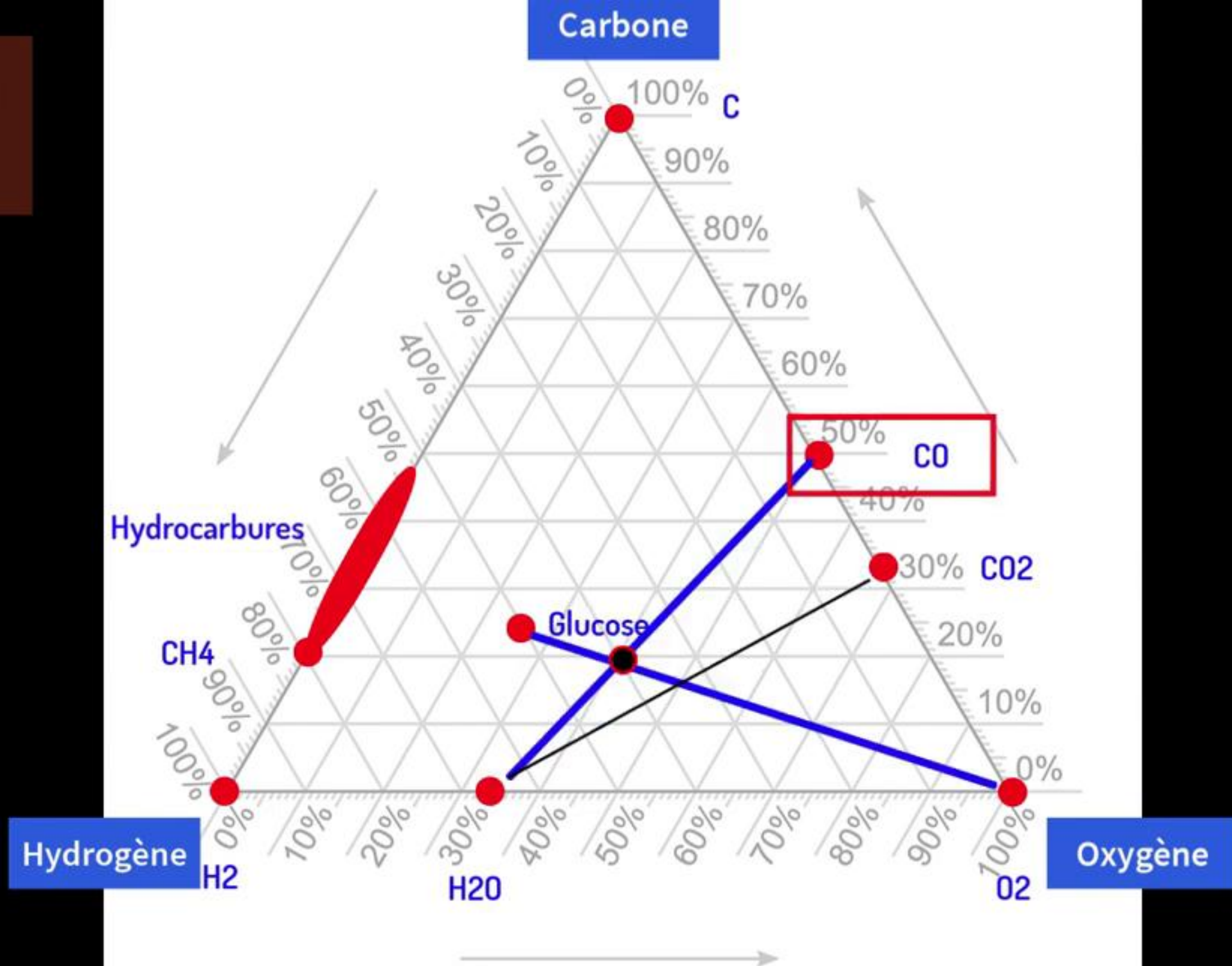
En cas de combustion incomplète ...

Composition globale dans un secteur plus riche en carbone et hydrogène, et plus pauvre en oxygène

Tout le dioxygène va être consommé, mais il restera du glucose !



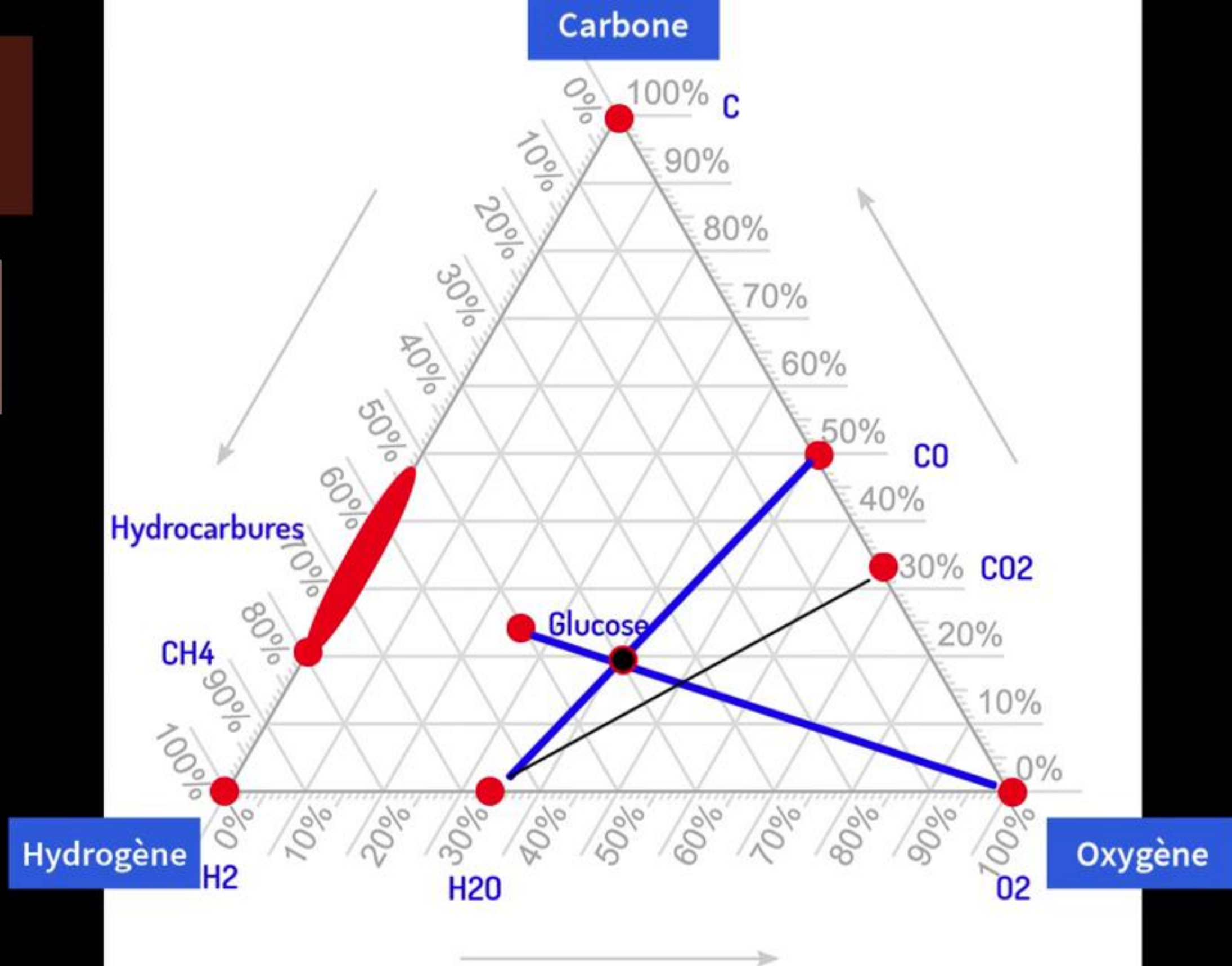
En cas de combustion incomplète ...



En cas de combustion incomplète ...

Quand je manque de dioxygène,

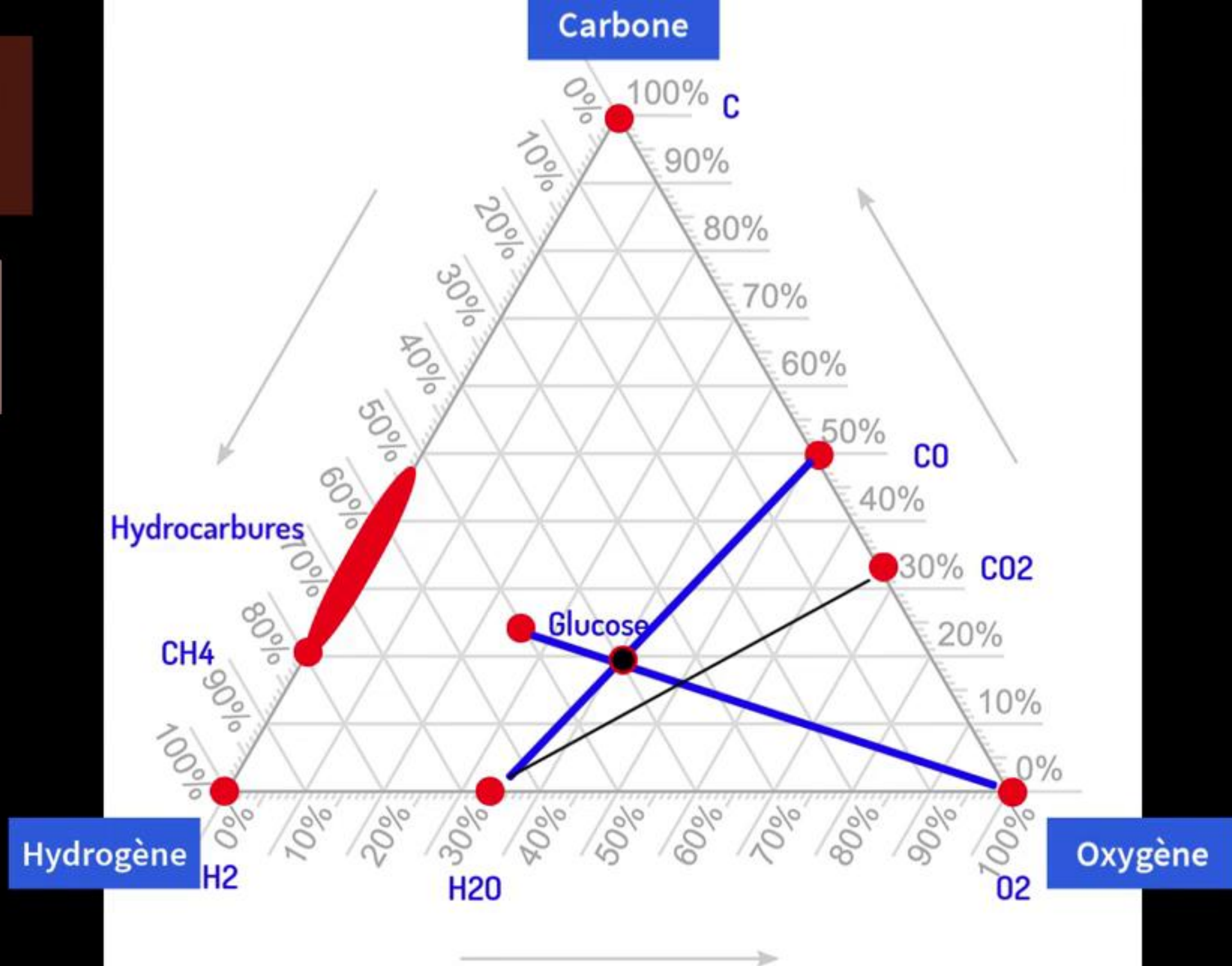
- soit on fait une combustion **incomplète** en produisant du **dioxyde de carbone**
- soit on fait une combustion **complète** en produisant du **monoxyde de carbone**



En cas de combustion incomplète ...

Quand je manque de dioxygène,

- soit on fait une combustion **incomplète** en produisant du **dioxyde de carbone**
- soit on fait une combustion **complète** en produisant du **monoxyde de carbone**



Le monoxyde de carbone, un gaz inflammable et explosif

Un carburant envisagé et fabricable sur Mars pour le voyage retour vers la Terre ?

NASA Technical Memorandum 107267
AIAA-96-2943

Experimental Evaluation of the Ignition Process
of Carbon Monoxide and Oxygen
in a Rocket Engine

182



Feu de mine de
charbons

**Des avantages d'un combustible
sous forme gazeuse**

Transportable
par gazoduc

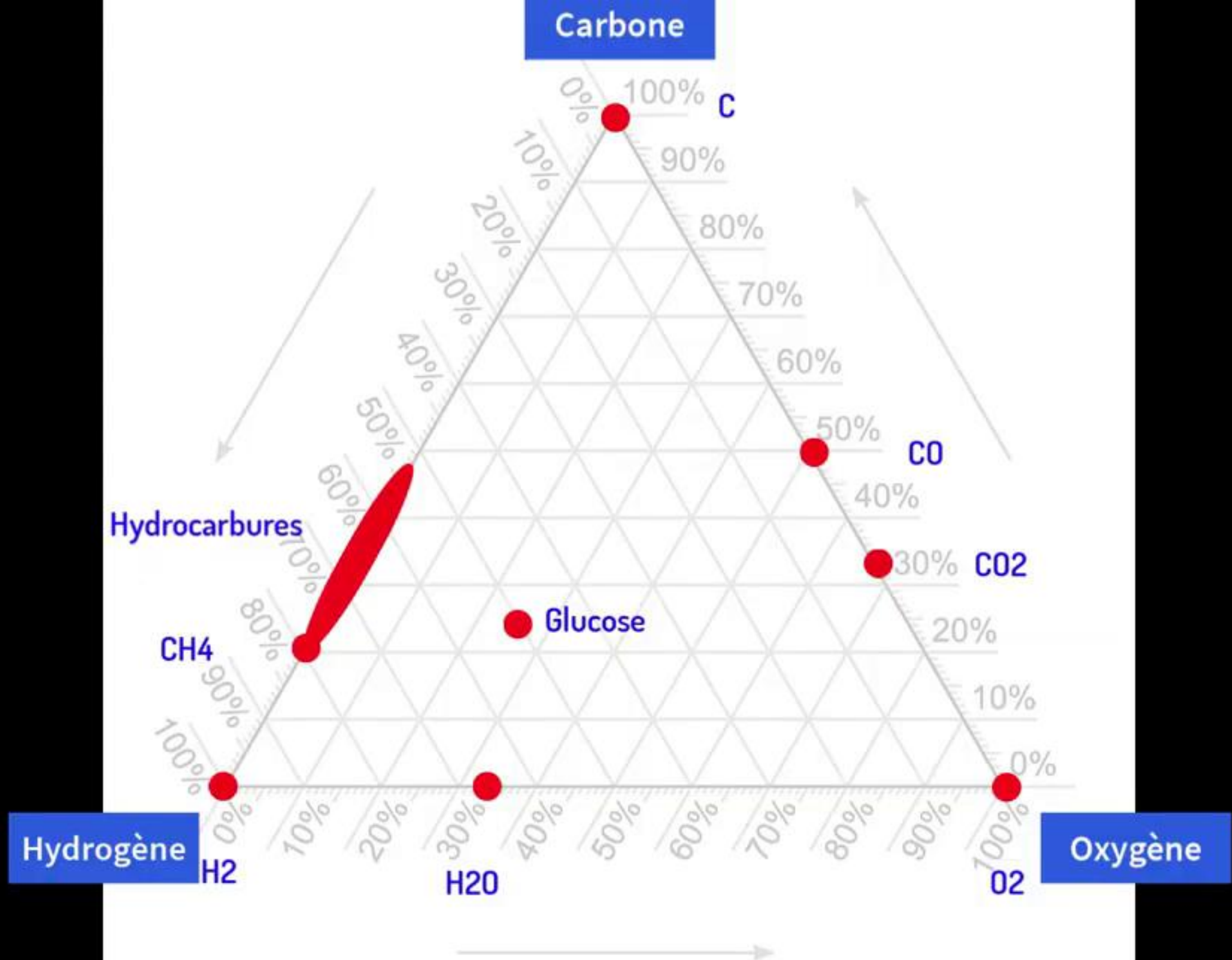


Stockable dans
des bonbonnes

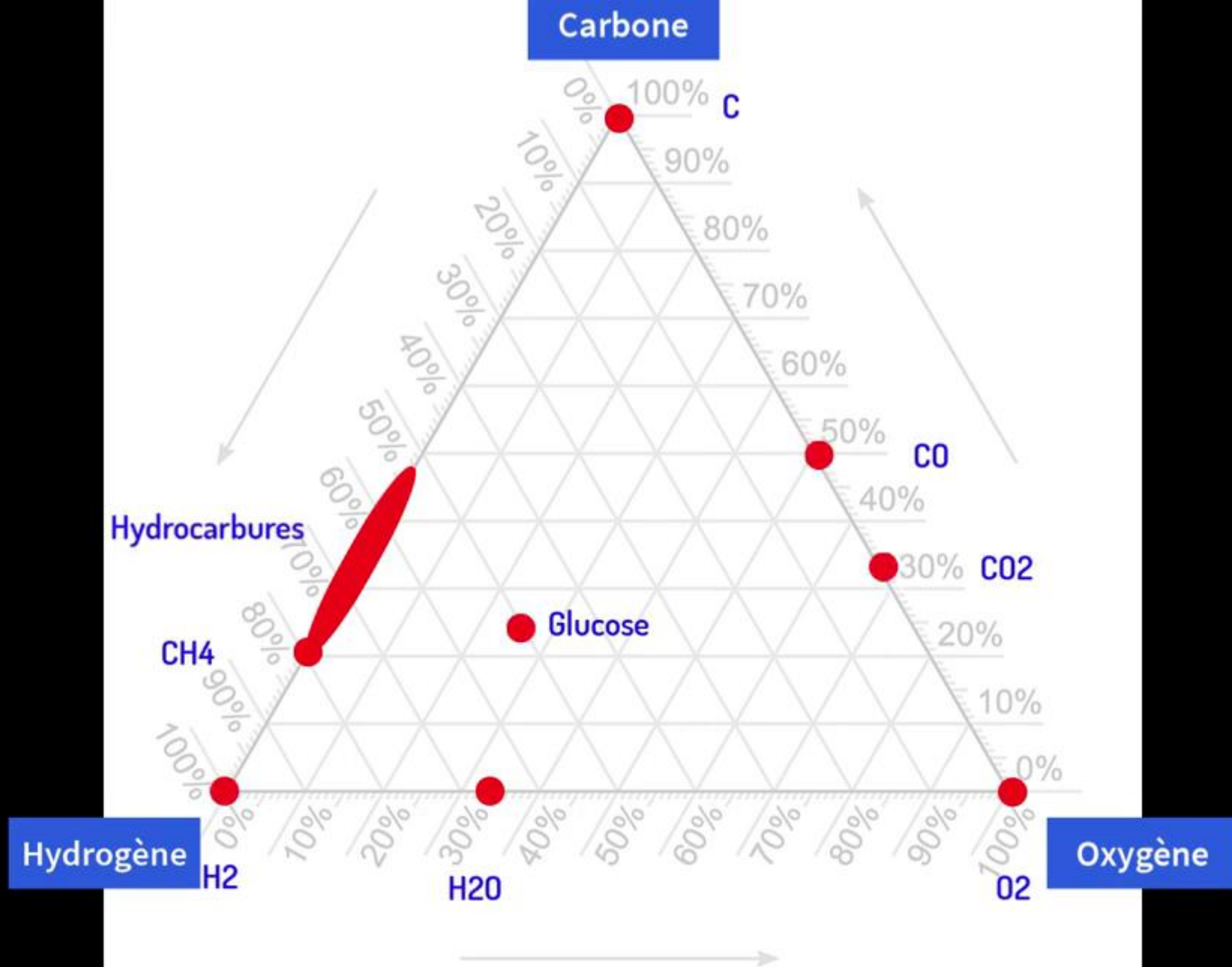


Exploitable par les
moteurs thermiques à
combustion

Toute une série de réactions chimiques ...



Les processus biologiques



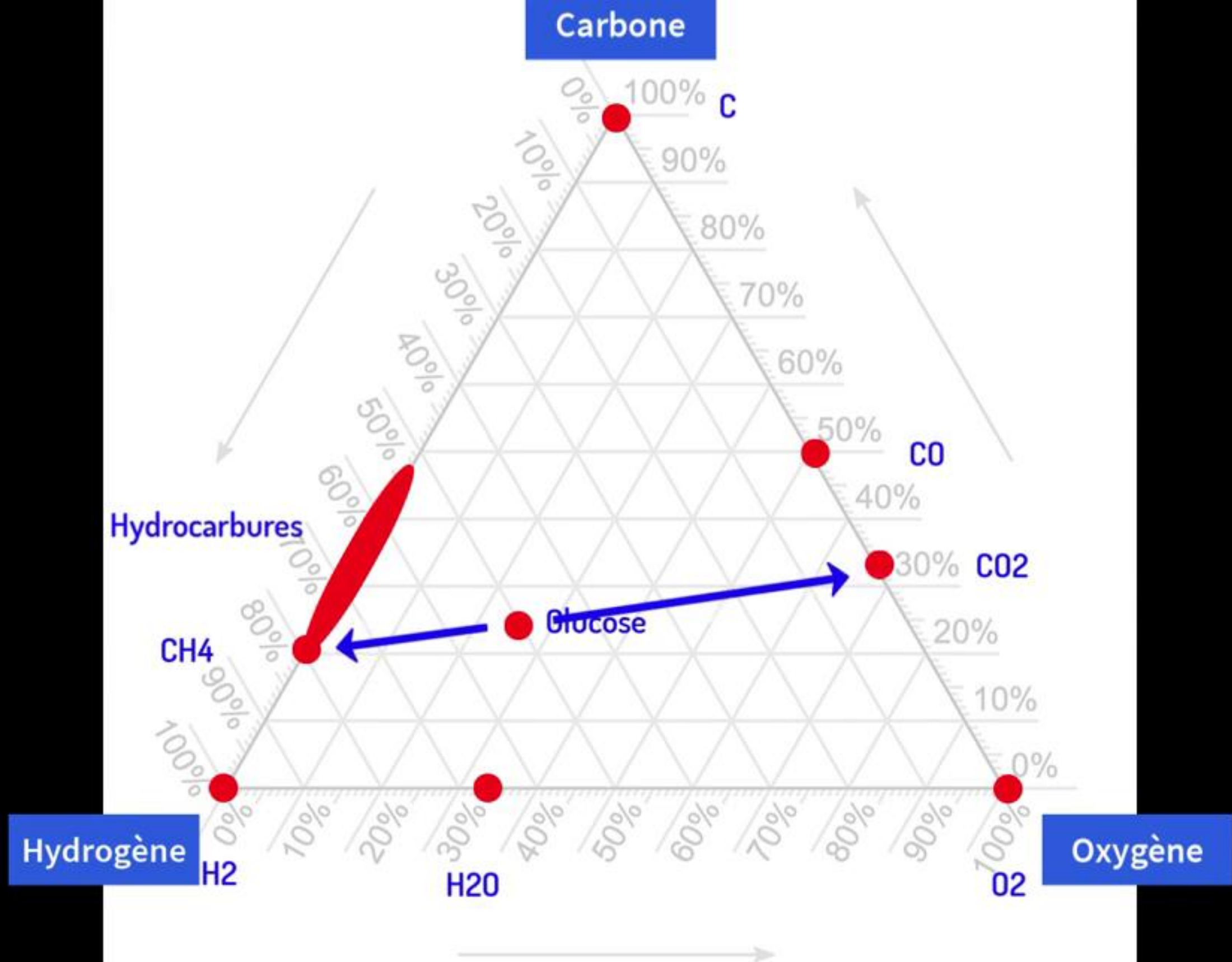
Les processus biologiques

En conditions
anaérobies

La méthanogénèse: une fermentation



Production de
méthane biogénique



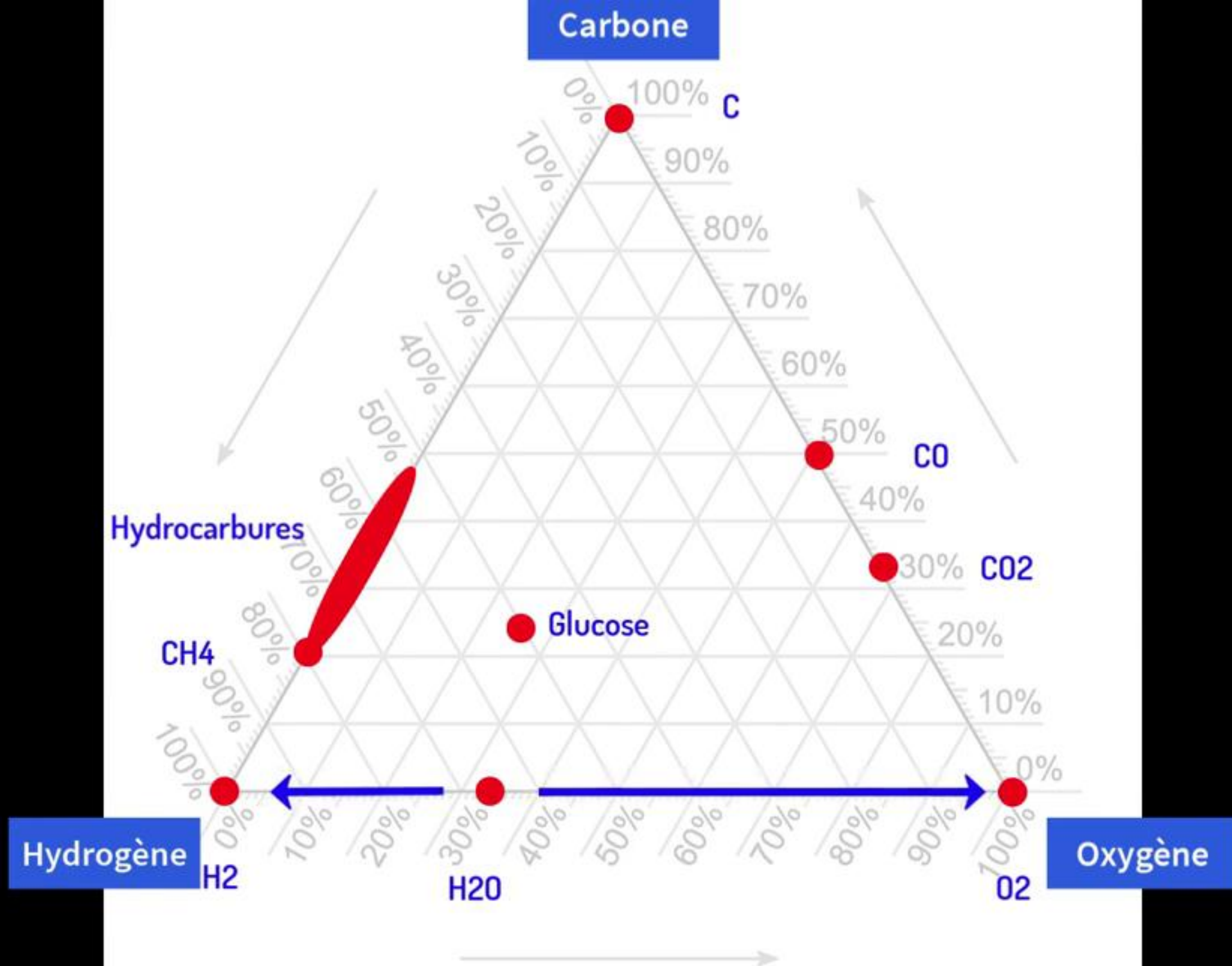
Les processus biologiques

Une photosynthèse primitive

La bio-photolyse de l'eau



Les rendements sont
faibles

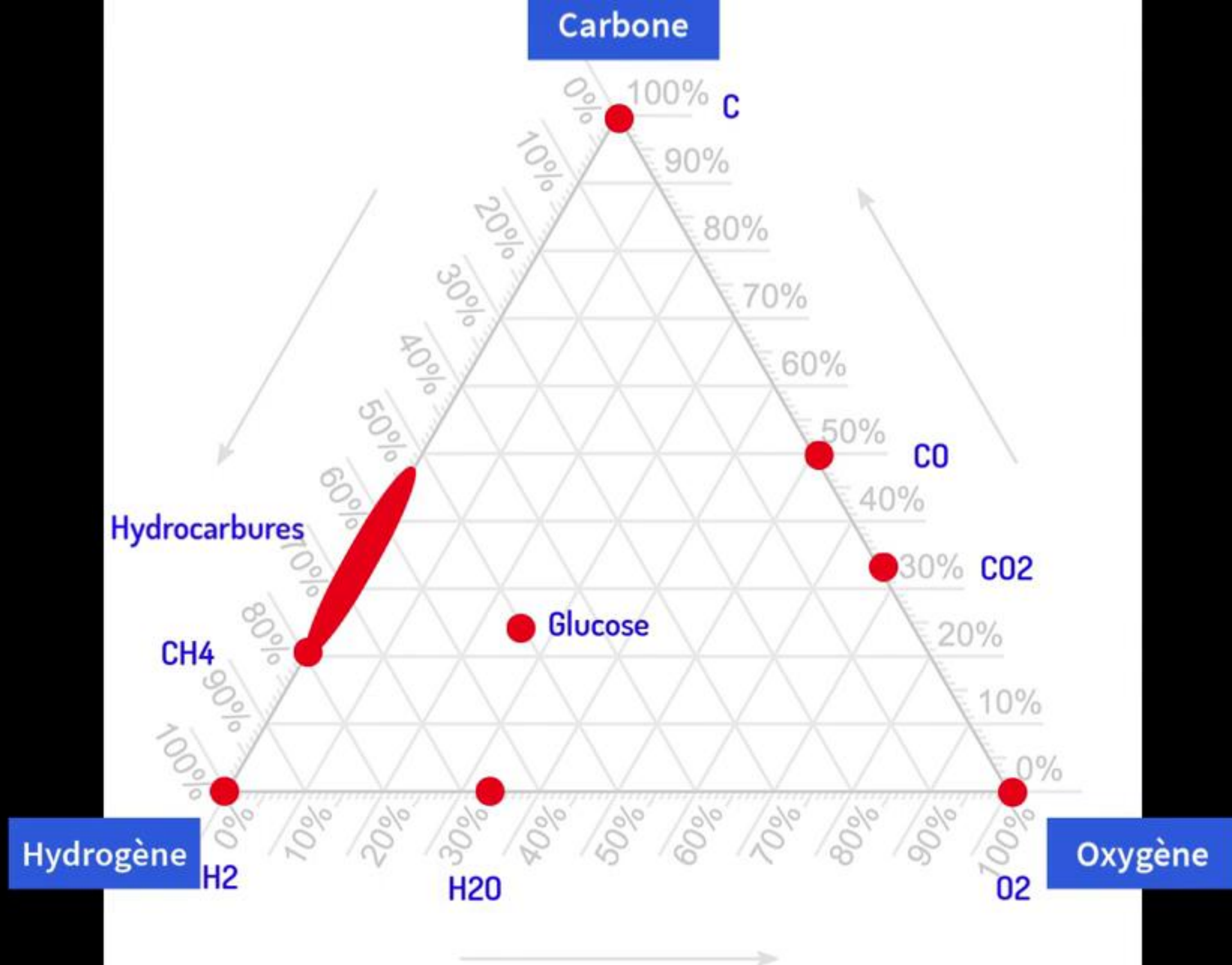


Les processus thermiques

- Casser des liaisons chimiques
- Faire partir les volatils: H_2O , CO_2 , CO , CH_4 ou H_2



Faire une pyrolyse



Hydrogène

H_2

H_2O

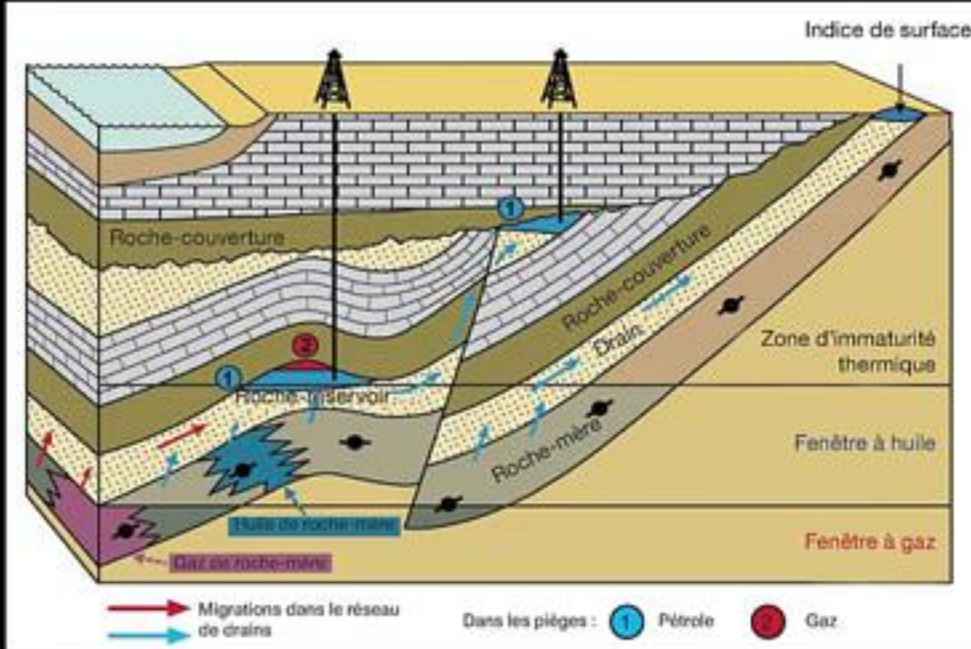
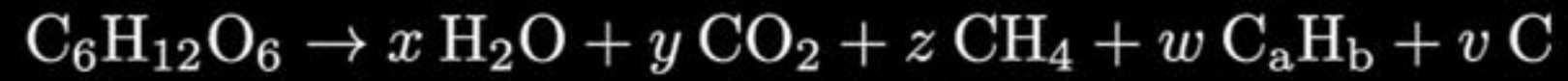
Carbone

C

Oxygène

O_2

Les processus thermiques



Des phénomènes géologiques qui se produisent dans des roches riches en matière organique dans les bassins sédimentaires, sur le long terme à des températures entre 50°C et 200°C

Hydrogène

H₂

Hydrocarbures

CH₄

Carbone

100% C

0%

CO

Glucose

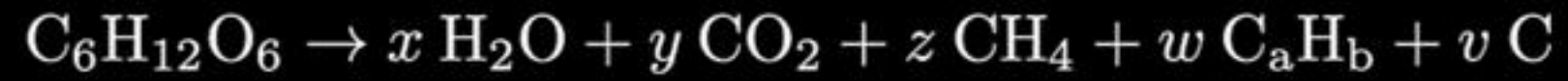
CO₂

Oxygène

O₂

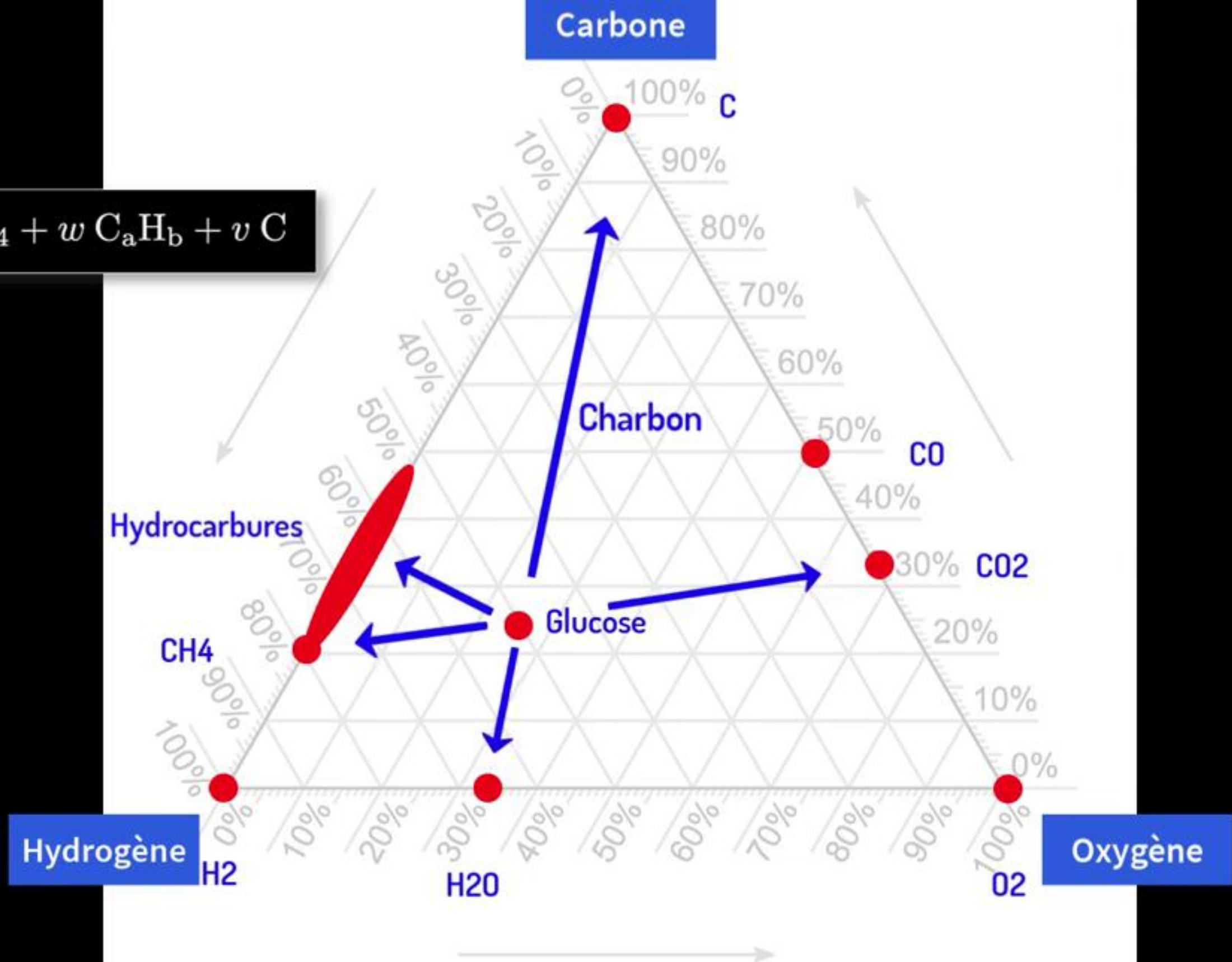
H₂O

Les processus thermiques



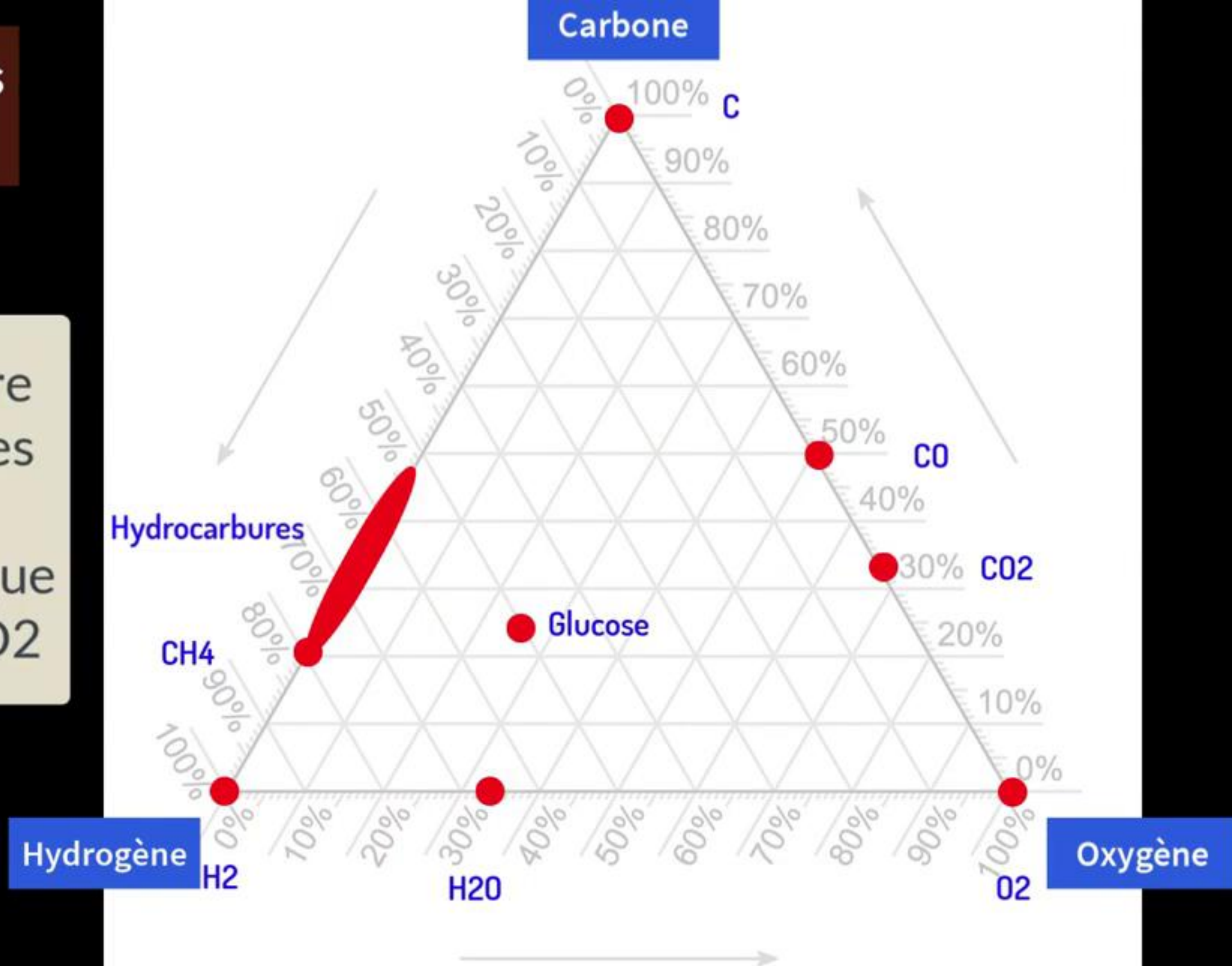
Maturation thermique de la matière organique avec libération de H_2O , CO_2 et CH_4 , et formation d'un résidu liquide/solide hydrocarboné

Formation des énergies fossiles: gaz naturel, pétrole et charbons



Les processus thermiques de haute température

À plus haute température ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$), des molécules comme CO et H_2 deviennent plus stables que les molécules H_2O et CO_2

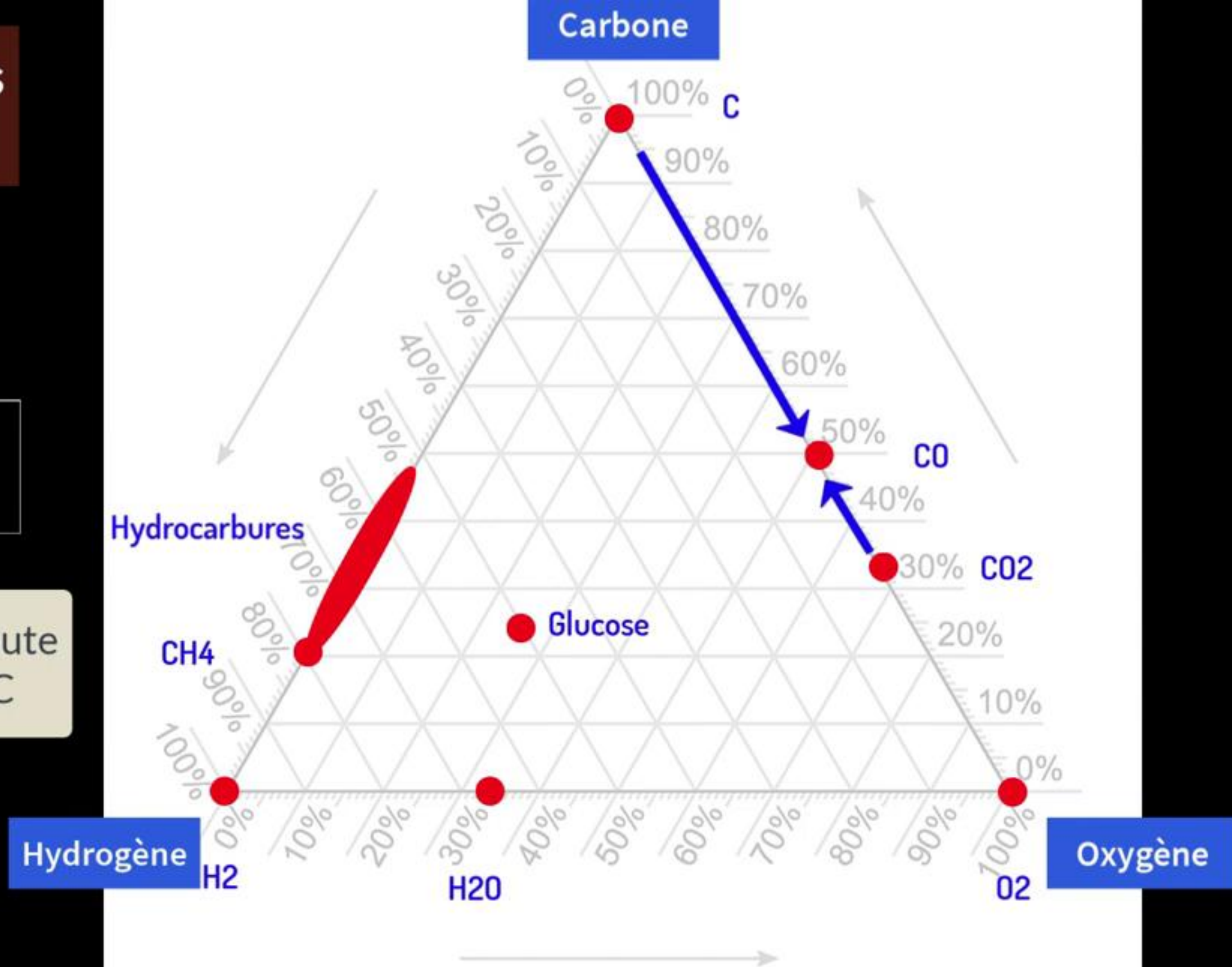


Les processus thermiques de haute température

La réaction inverse de Boudouard



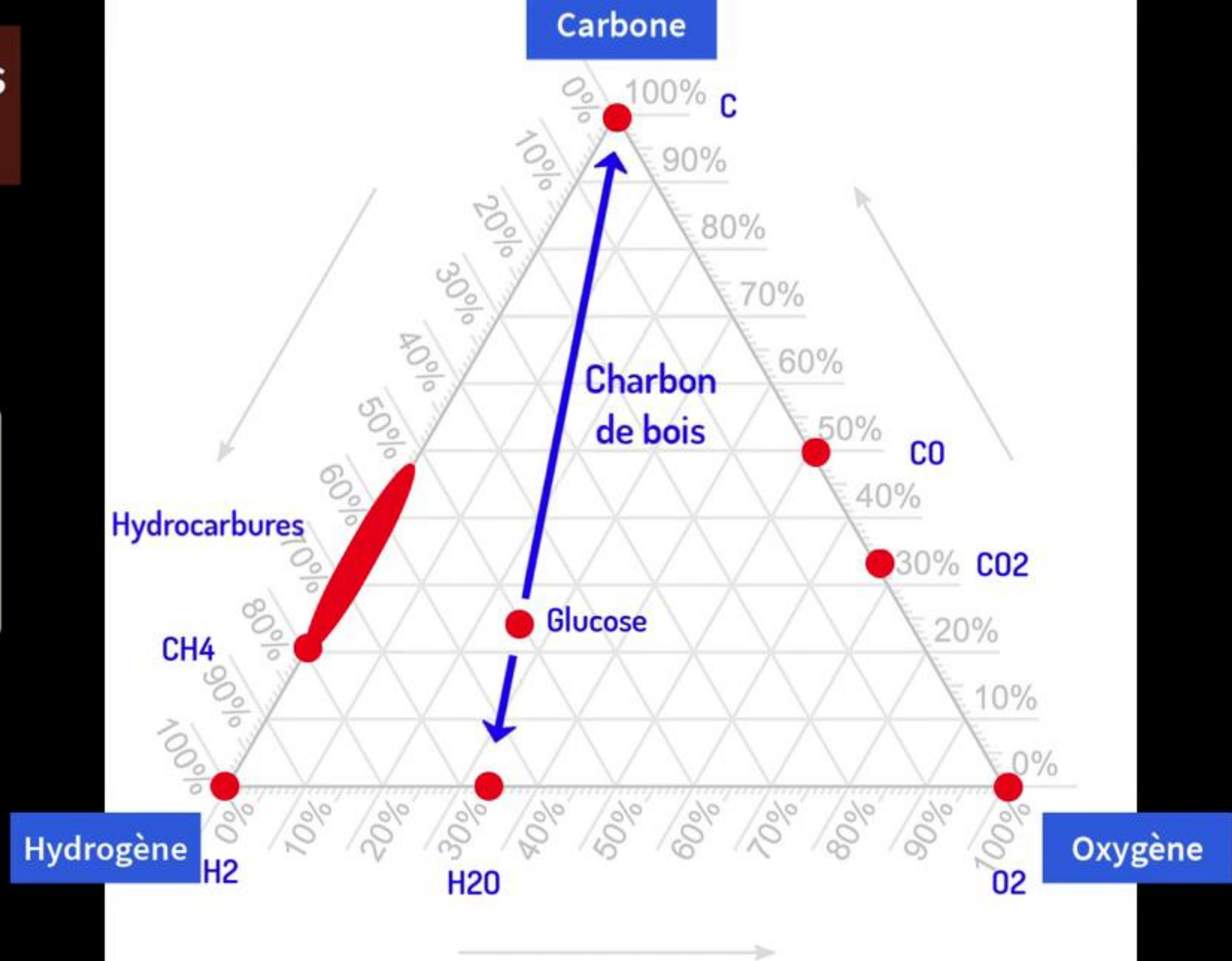
Cette réaction est favorisée à haute température, à plus de 1000°C



Les processus thermiques de haute température

Le charbon de bois

Pyrolyse lente à partir de bois, dans des conditions pauvres en O_2 , à des températures $\sim 400^\circ C$

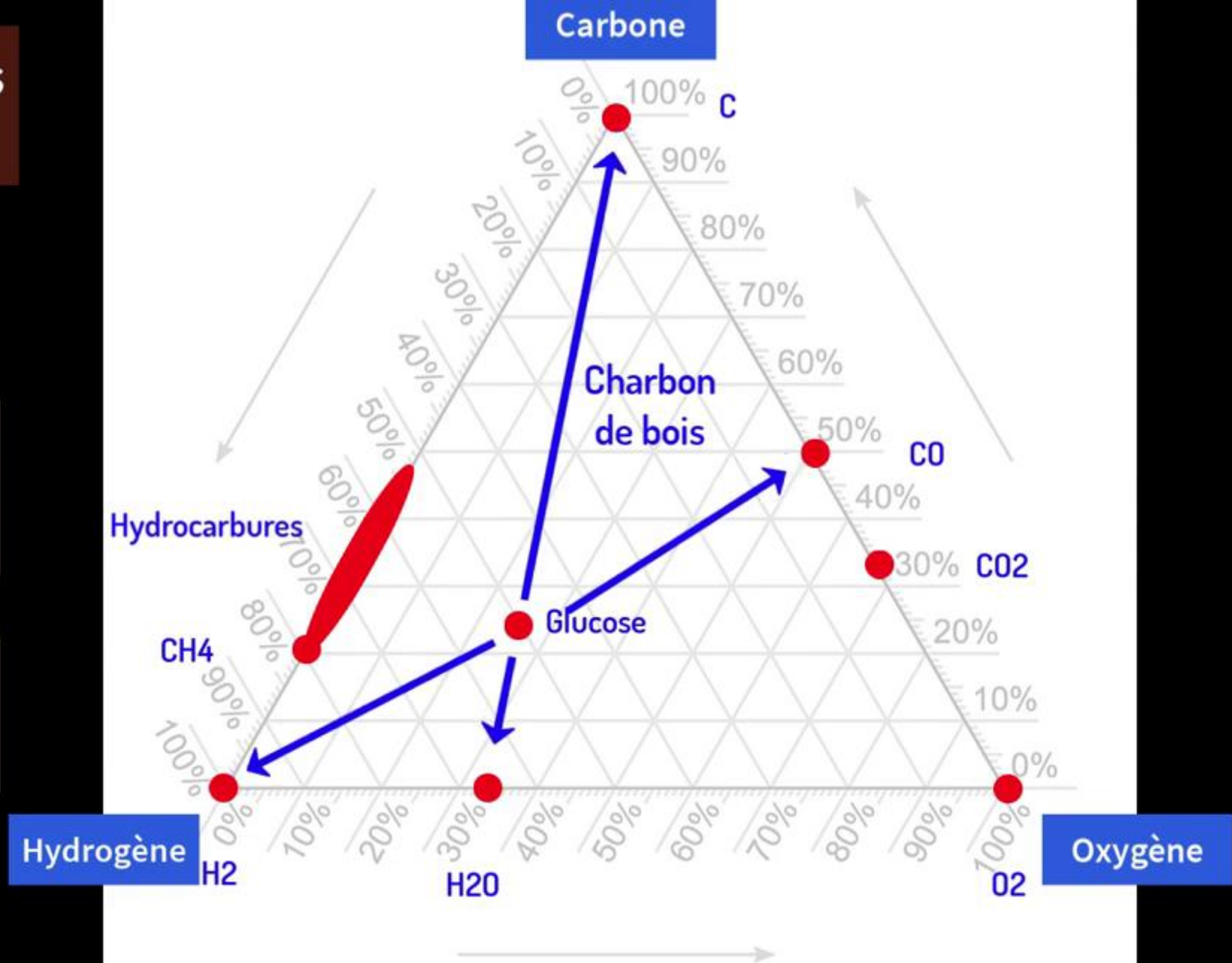


Les processus thermiques
de haute température

Le gaz de bois

Un gaz manufacturé
≠ gaz naturel

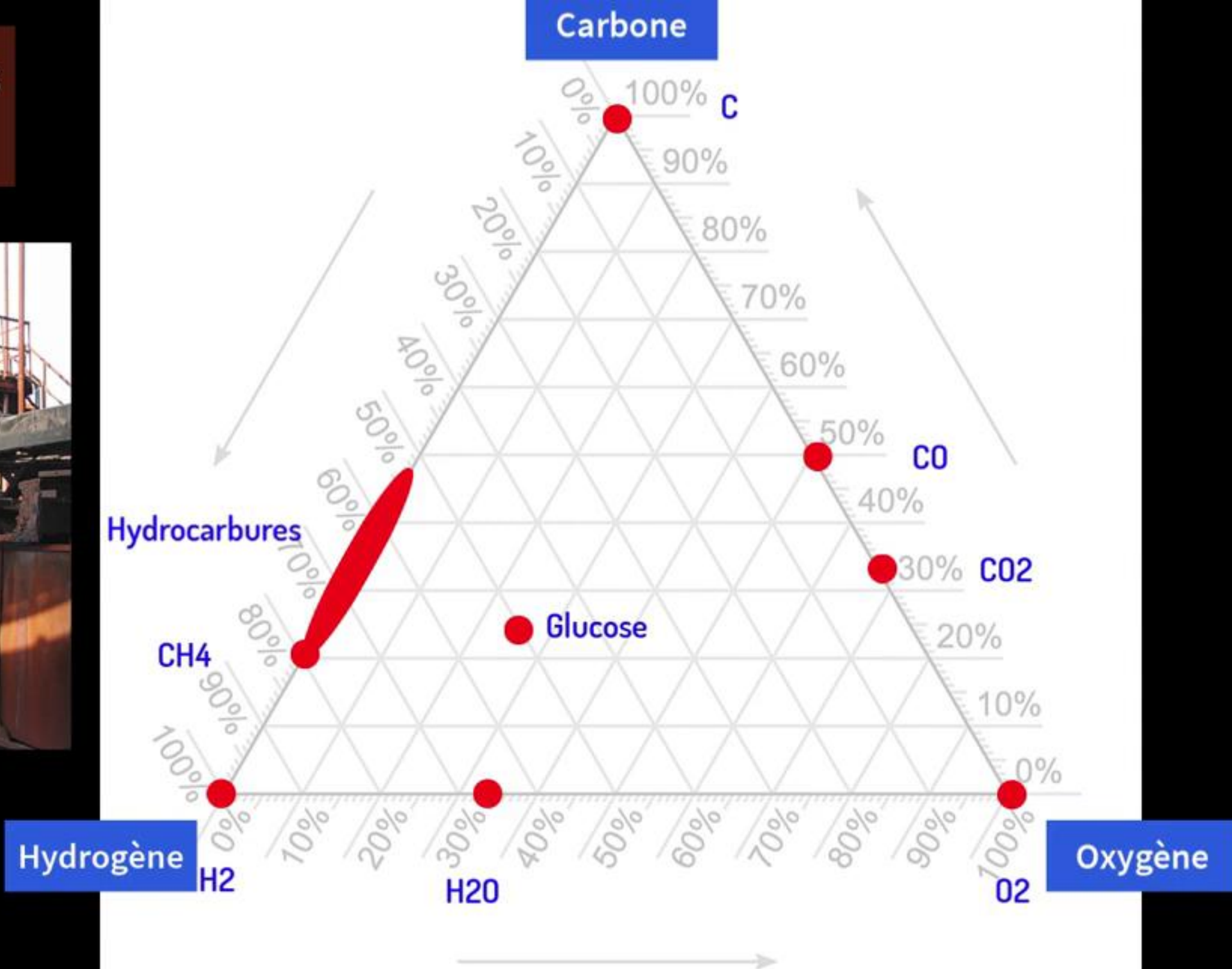
Un gaz de synthèse
ou syngaz



Les processus thermiques de haute température

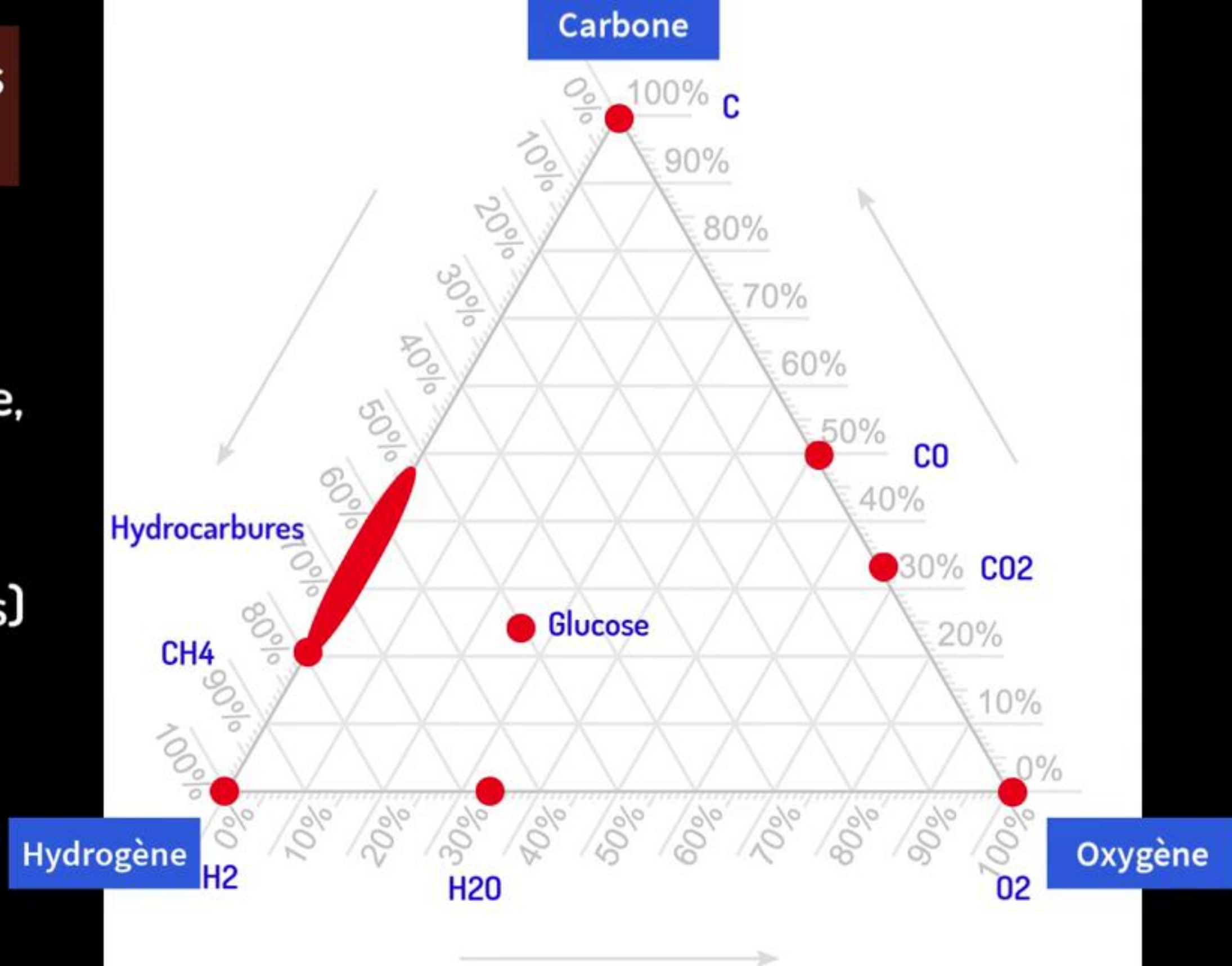


Vestiges d'une usine à gaz mise hors service en 1928



Les processus thermiques de haute température

La gazéification vise à produire un gaz de synthèse, $H_2 + CO$, par une pyrolyse lente de combustibles solides (biomasse, charbons) ou non (gaz naturel)



Les processus thermiques
de haute température

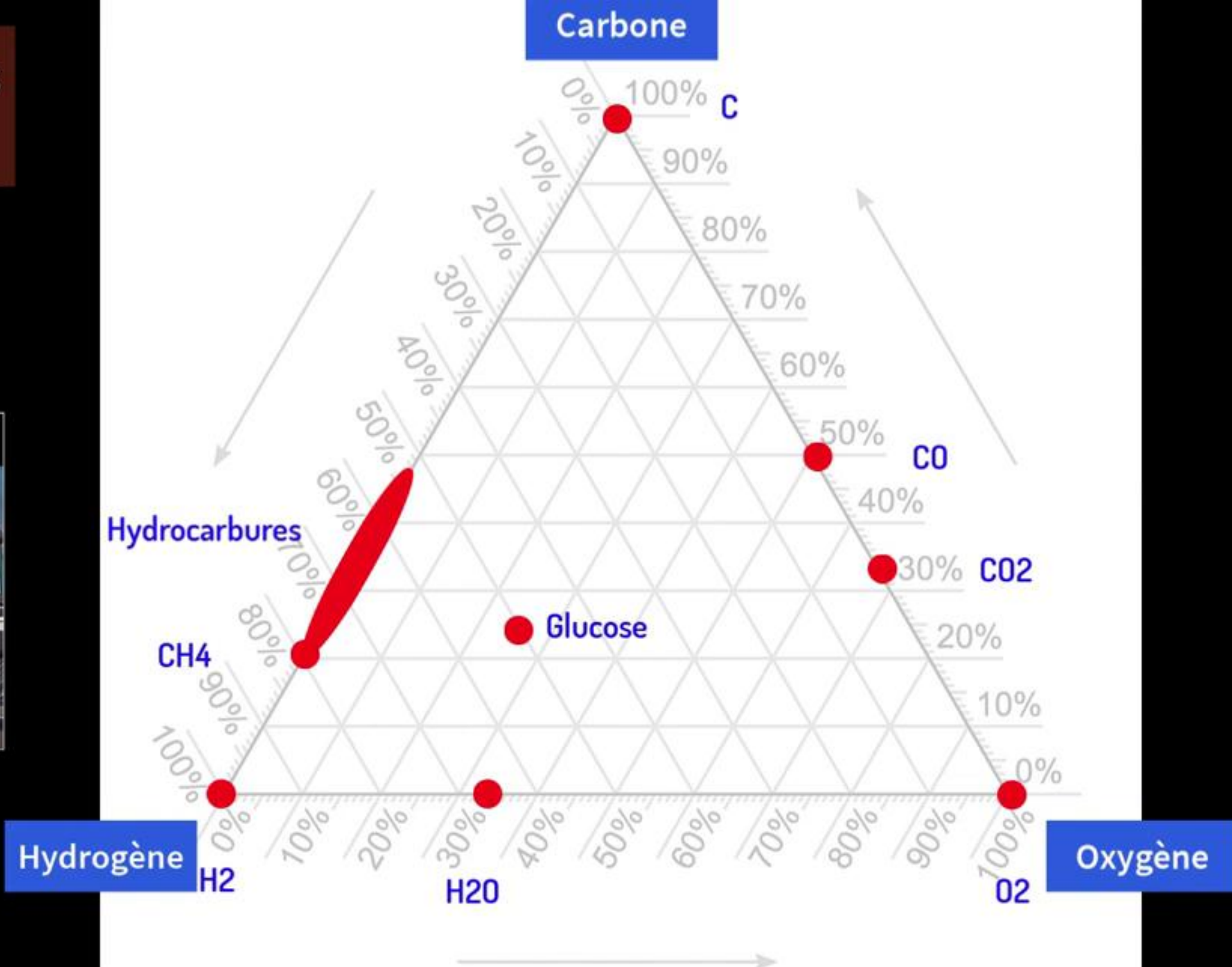
Le vaporeformage à haute température

Géoressources, énergies et transitions

Le scandale
de l'hydrogène
noir !

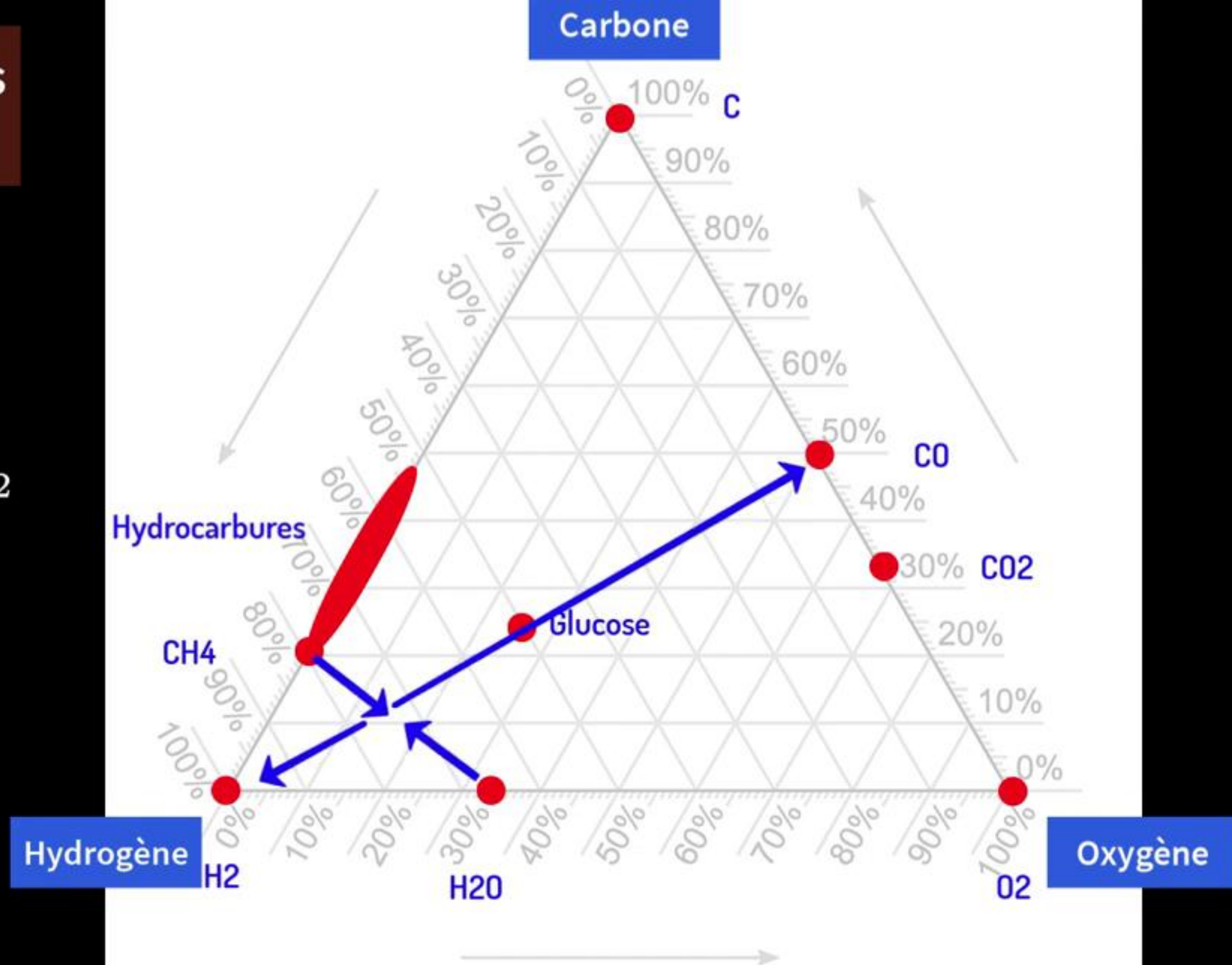
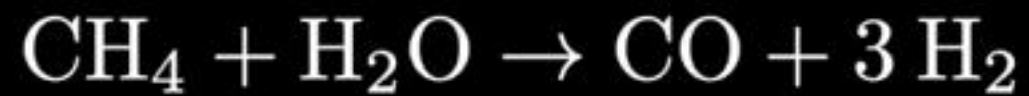


Voir cette vidéo



Les processus thermiques
de haute température

Le vaporeformage à haute température

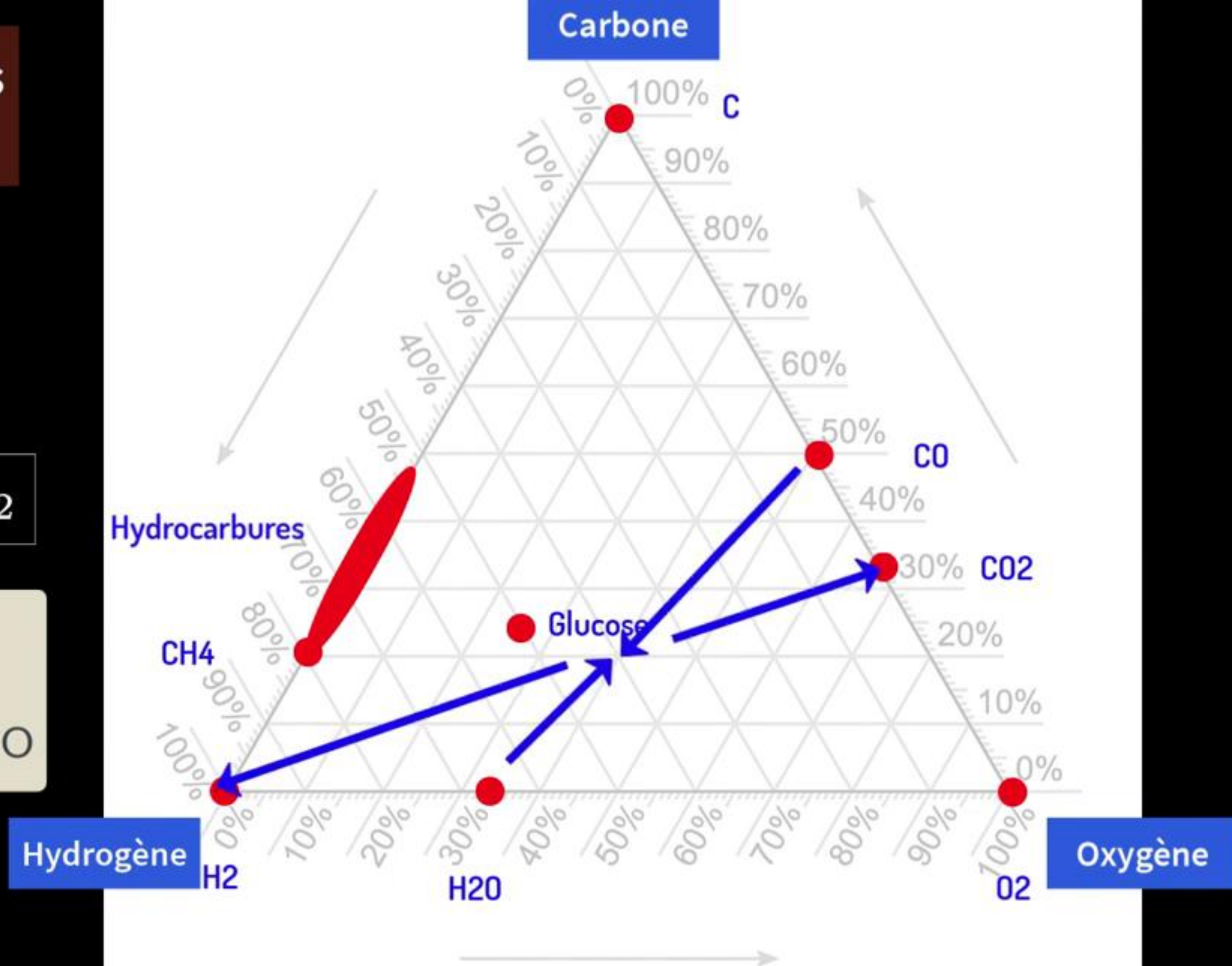


Les processus thermiques de haute température

La réaction du gaz à l'eau



Une réaction qui modifie la composition initiale du gaz de synthèse en le débarrassant du CO

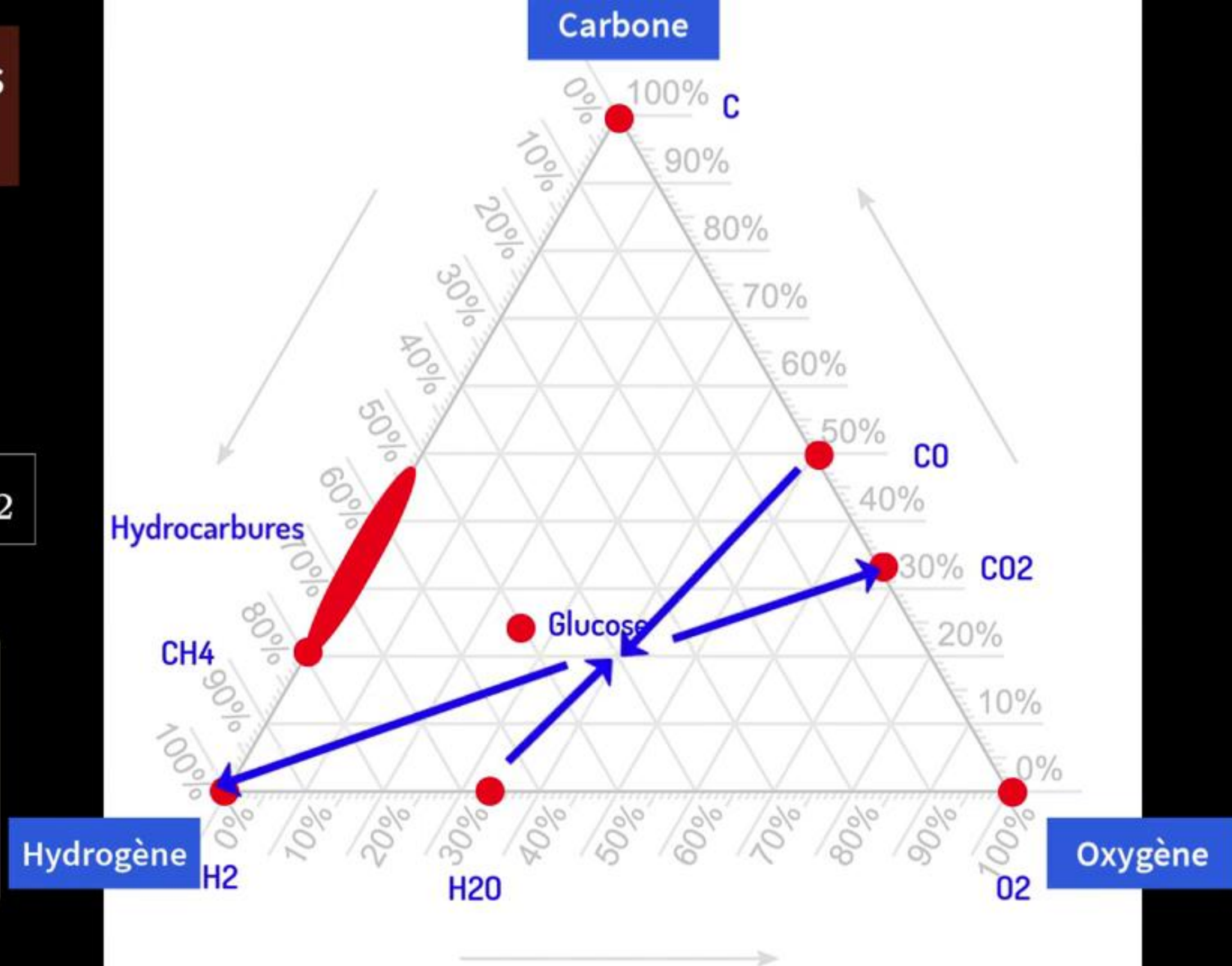


Les processus thermiques de haute température

La réaction du gaz à l'eau



Cette réaction a lieu dans les unités basse température de vaporeformage des raffineries pour la production d'hydrogène gris et noir

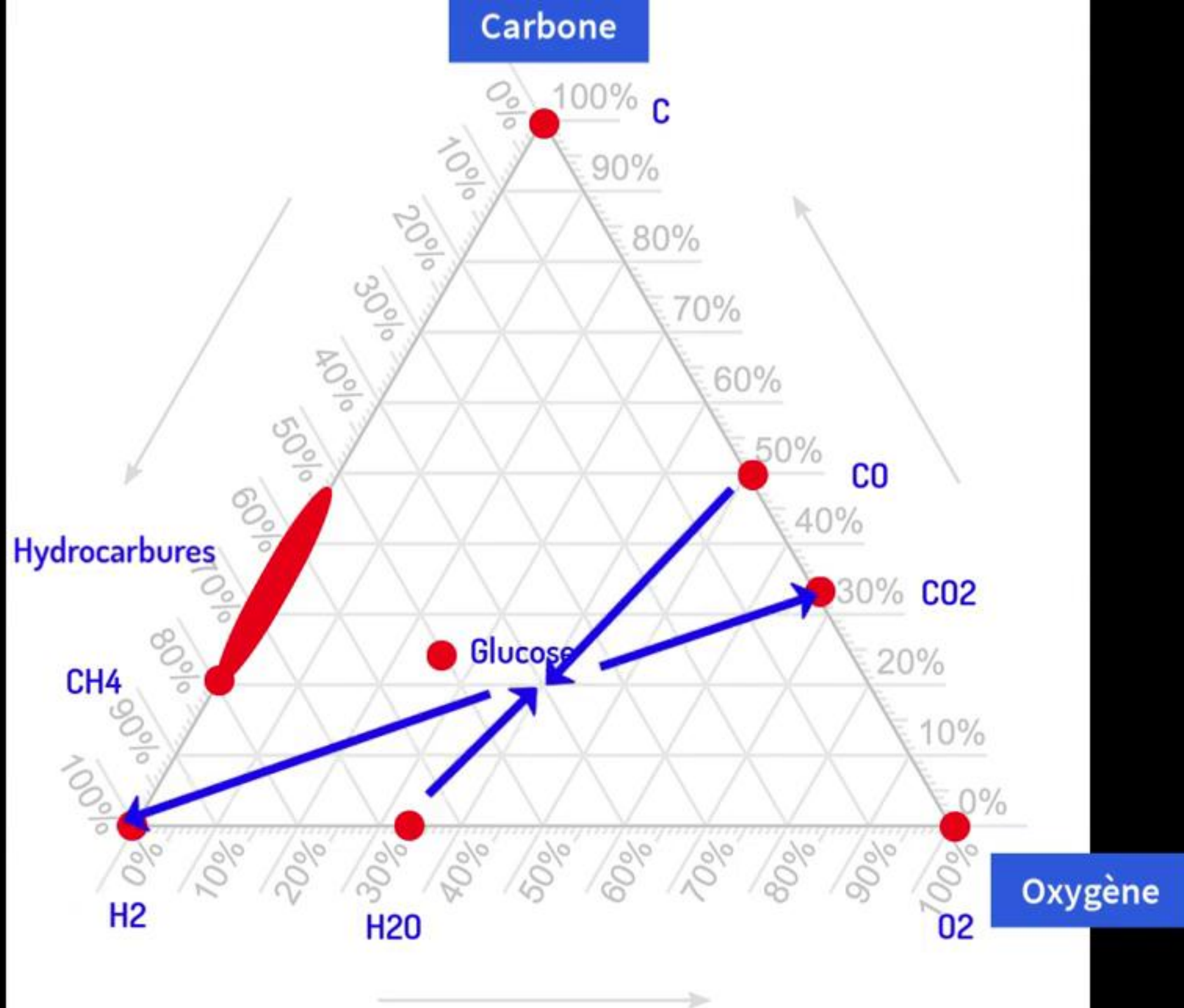


Les processus thermiques de haute température

La réaction du gaz à l'eau



Cette réaction est aussi à l'origine du gazogène, un gaz de synthèse enrichi en H_2



Les processus thermiques de haute température

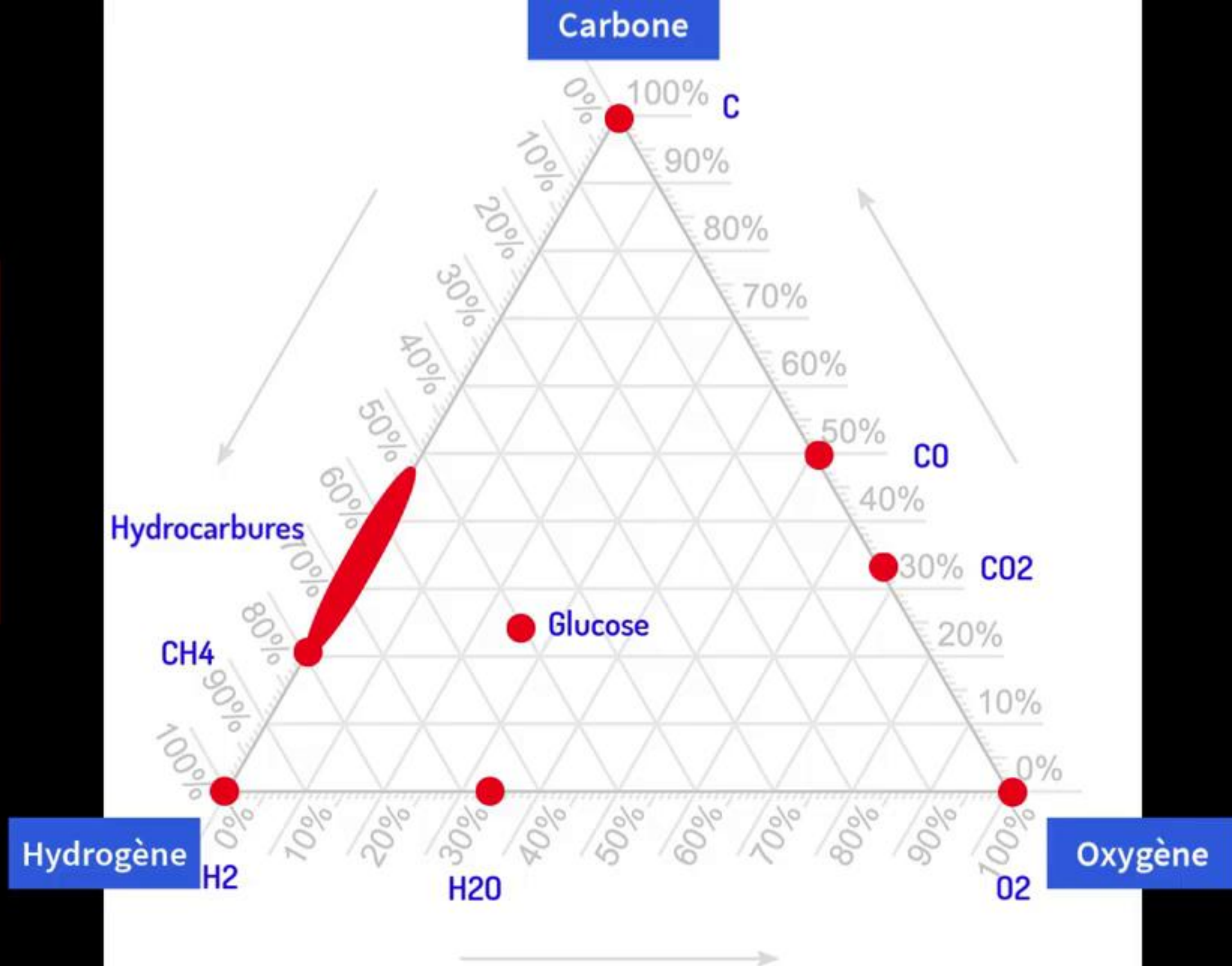
La réaction du gaz à l'eau



Cette réaction est aussi à l'origine du gazogène, un gaz de synthèse enrichi en H₂



La fabrication de gaz et de carburant hydrocarboné synthétique

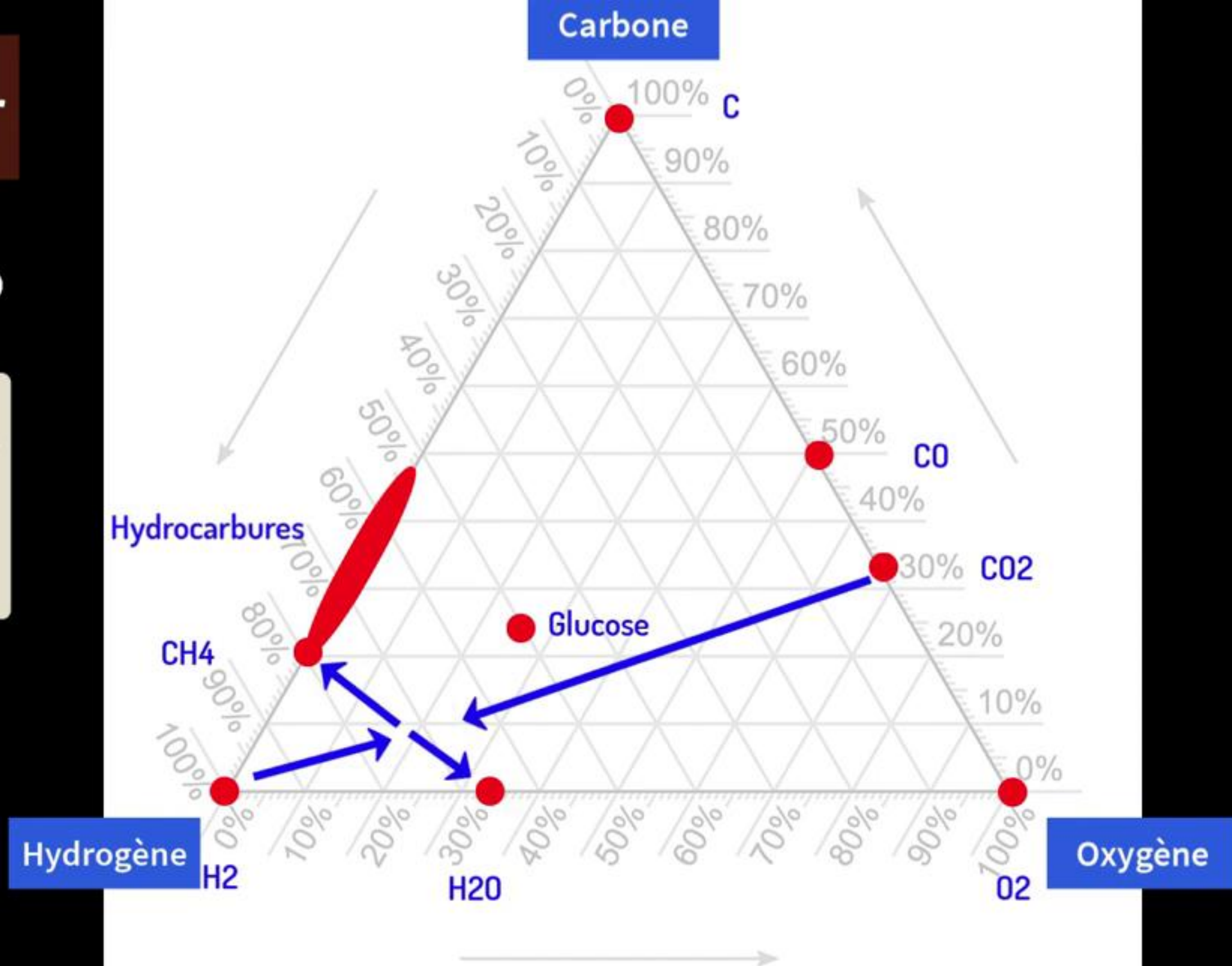


La réaction de Sabatier

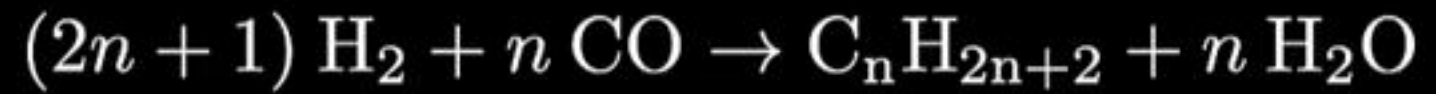


Réaction de fabrication de méthane synthétique à partir de gaz manufacturé

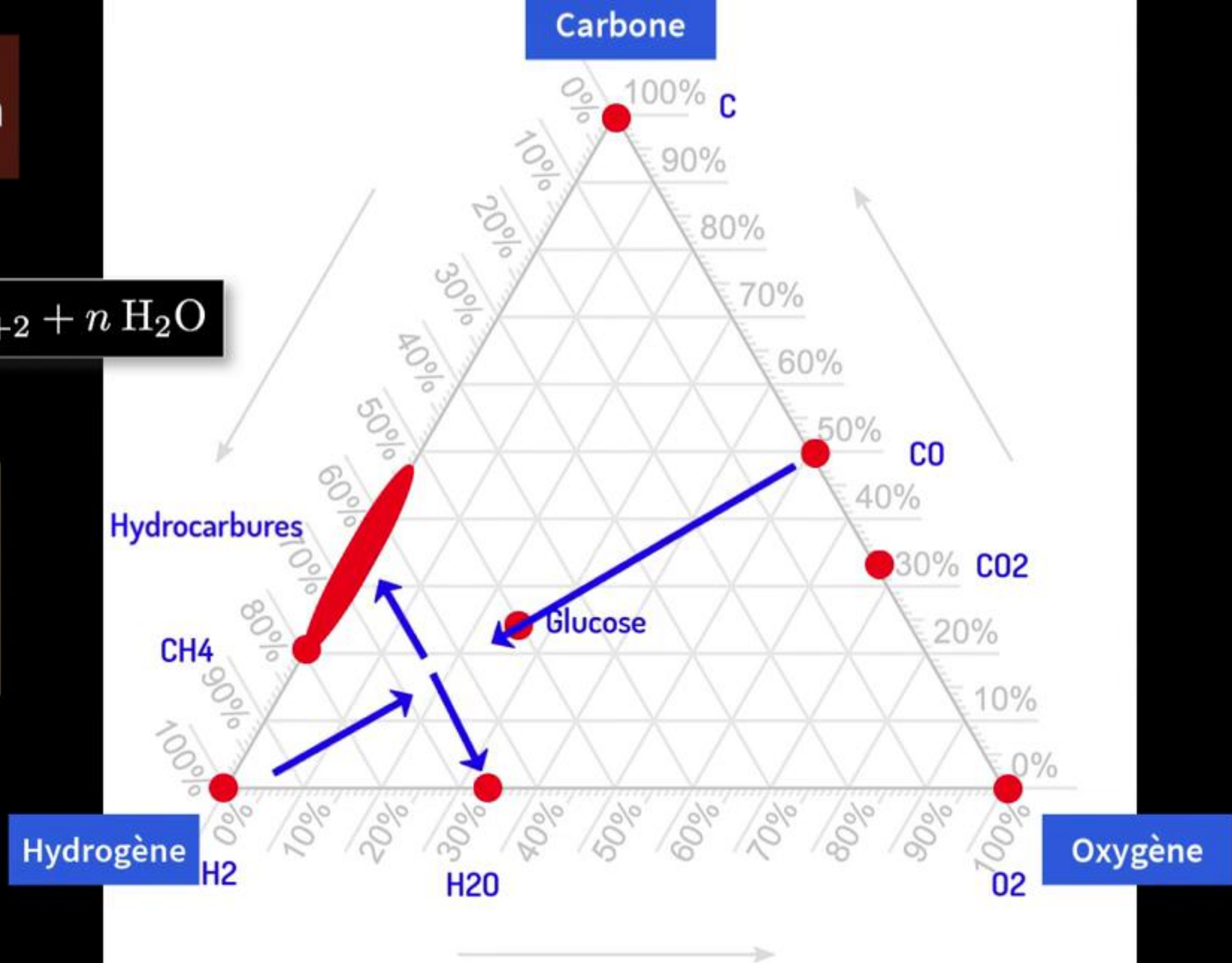
Réaction de méthanation



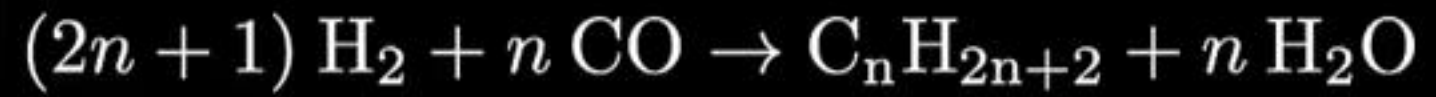
Le procédé Fischer-Tropsch



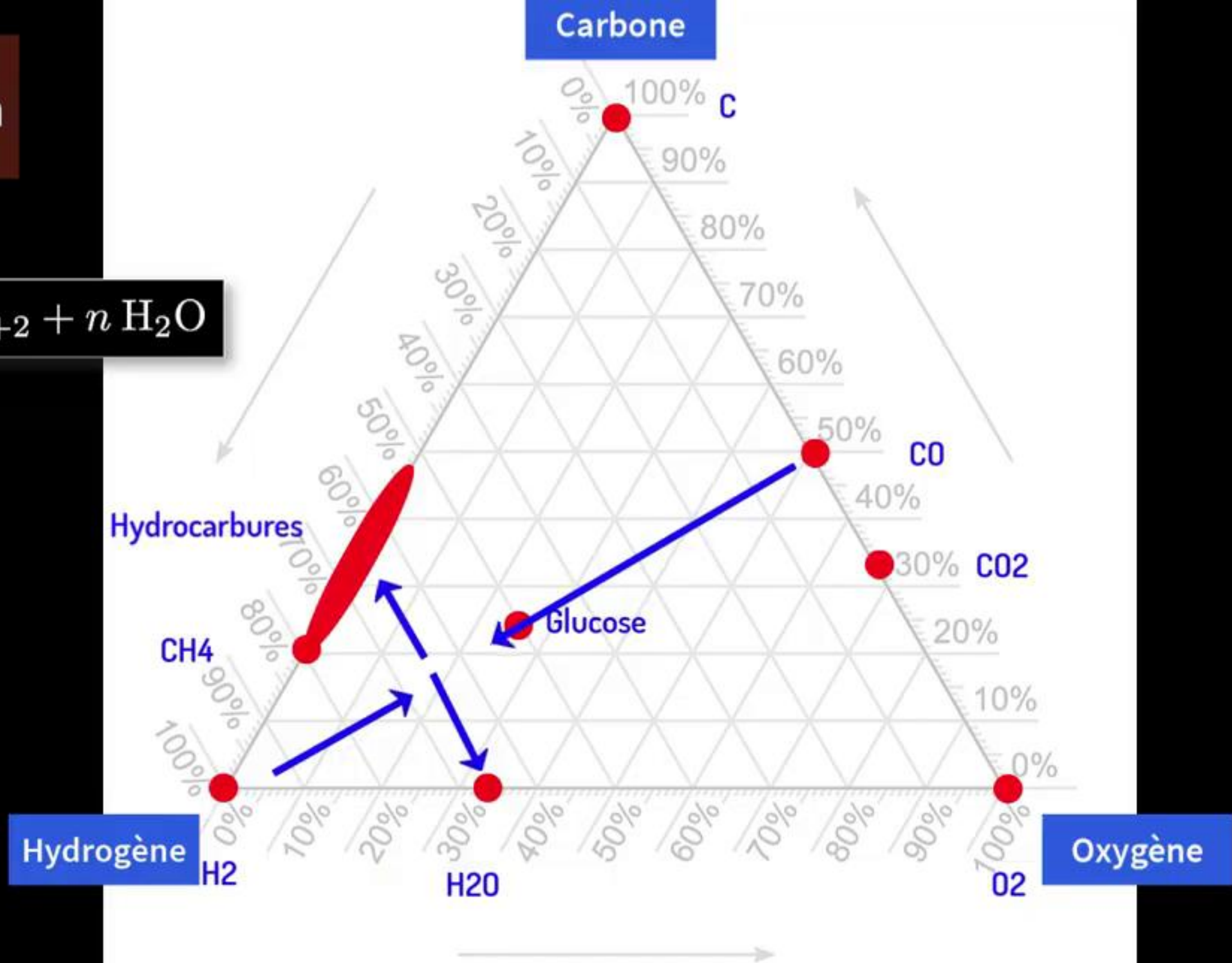
Réaction de fabrication de carburant hydrocarboné synthétique à partir de gaz manufacturé



Le procédé Fischer-Tropsch



Usine de fabrication de carburant synthétique à l'époque nazie



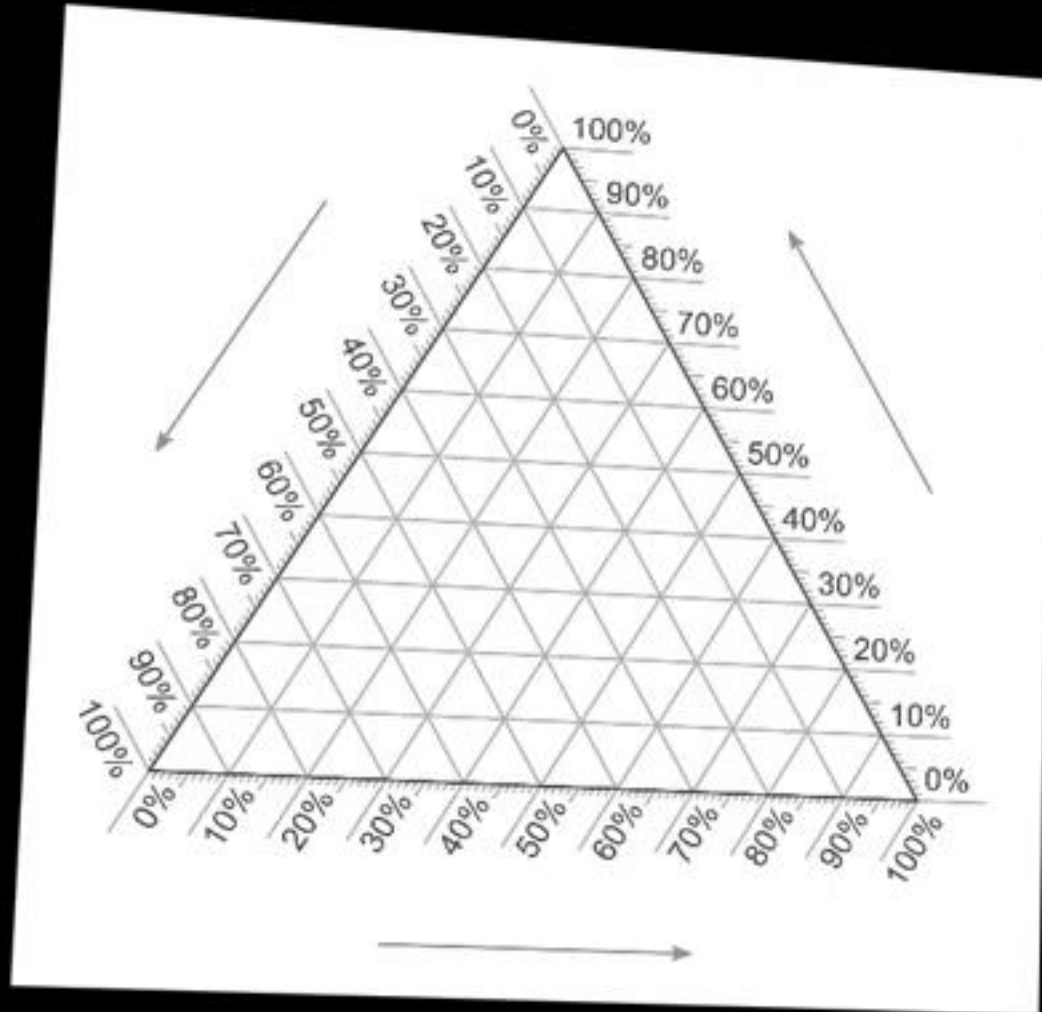
En résumé

Savoir utiliser un
diagramme ternaire

Savoir utiliser le
diagramme CHO

Savoir y placer les
espèces chimiques

Savoir y dessiner les réactions
chimiques par des flèches en
croix



En résumé

La méthanogénèse

Le charbon de bois

La respiration
cellulaire

Le gazogène

La réaction de
Sabatier

Le procédé
Fischer-Tropsch

La gazéification

La photosynthèse

La bio-photolyse
de l'eau

Le gaz de bois

La fermentation
sombre

La réaction du
gaz à l'eau

La réaction de
Boudouard

Le gaz
manufacturé

Le vaporeformage

