



Programme interdisciplinaire Energie du CNRS 2007-2011

*Projet COCASE :
Optimisation du couplage des procédés de combustion
et de capture du CO₂ par membranes*

- PIE Montpellier, 29 Mars 2011 -

E. Favre (responsable scientifique) et B. Belaïssaoui

LRGP (Laboratoire Réactions et Génie des Procédés), Nancy

S. de Persis, L. Pillier, V. Osorio et I. Gökalp

ICARE (Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement), Orléans

G. Cabot, M. Boukhalfa, M.S Cabot et X. Petit

CORIA (Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermique), Saint Etienne du Rouvray.

J.M. Most

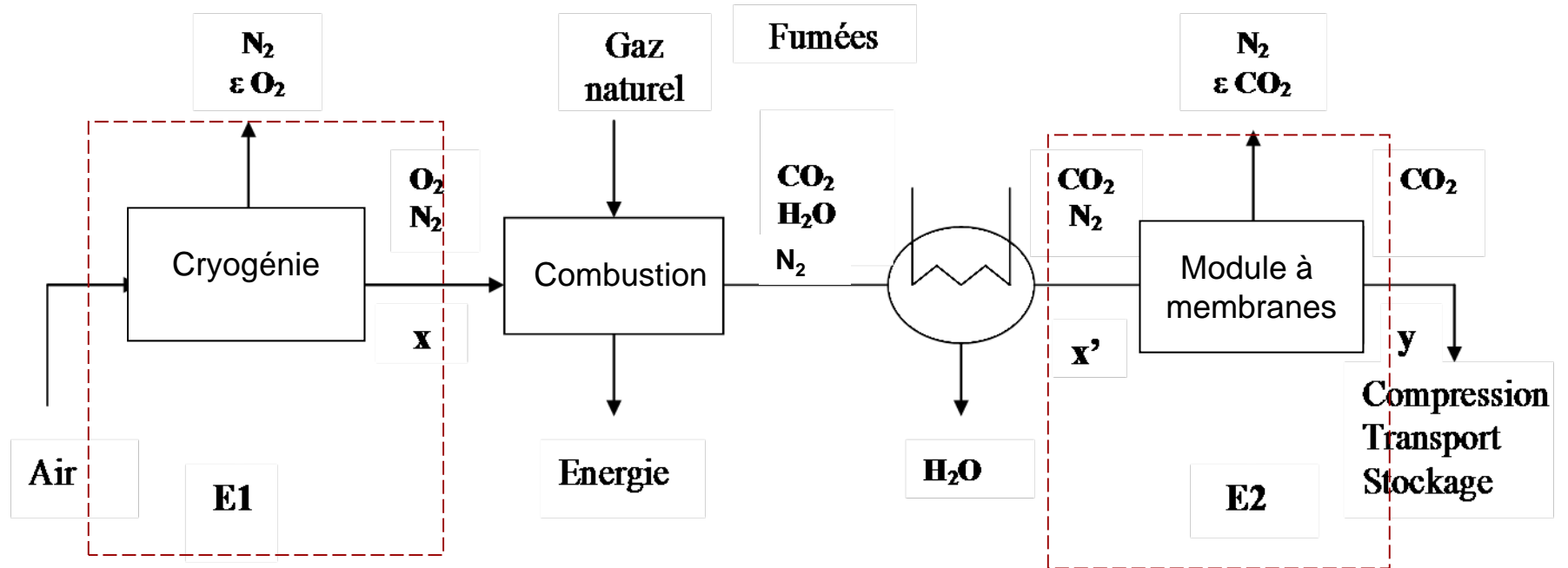
Institut Pprime, Poitiers

Objectifs du projet COCASE

- Minimiser le coût de la capture de CO₂ pour une unité alimentée au gaz naturel
 - Garantir l'efficacité de la combustion
 - Respecter les normes concernant les émissions polluantes

Quelle solution technologique ?

Schéma de principe du procédé hybride



Enrichissement
modéré en O₂



Séparation d'effluents plus
concentrés en CO₂

[CO₂] >= 30% # Postcombustion
(4% CO₂)

Oxycombustion # [O₂] : 40- 80%
(100%O₂)

Enjeux → (E1 + E2) ? < E1 ou E2

Partenaires impliqués dans le projet

Capture



Etude de la capture de CO_2 dans des mélanges gazeux par module membranaire de perméation gazeuse

Combustion



Etude expérimentale de la combustion prémélangée dans les chambres de turbines à gaz



Etude expérimentale de l'oxycombustion non-prémélangée (flamme de diffusion) du méthane dilué en CO_2

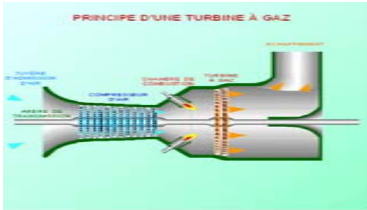


Détermination des conditions de combustion avec une flamme laminaire prémélangée

Principaux résultats

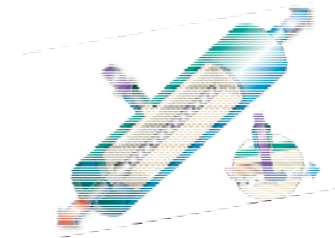
I- Combustion:

Condition de combustion respectant le cahier des charges



II- Capture :

Simulation des performances de séparation



III- Synthèse et intégration

Analyse énergétique du couplage turbine à gaz/capture par membrane

Principaux résultats (I) : Combustion

I- Recherche des conditions de combustion qui respectent le cahier des charges (ICARE, CORIA, LCD)

Cahier des charges

● Critères liés au fonctionnement de la turbine à gaz :

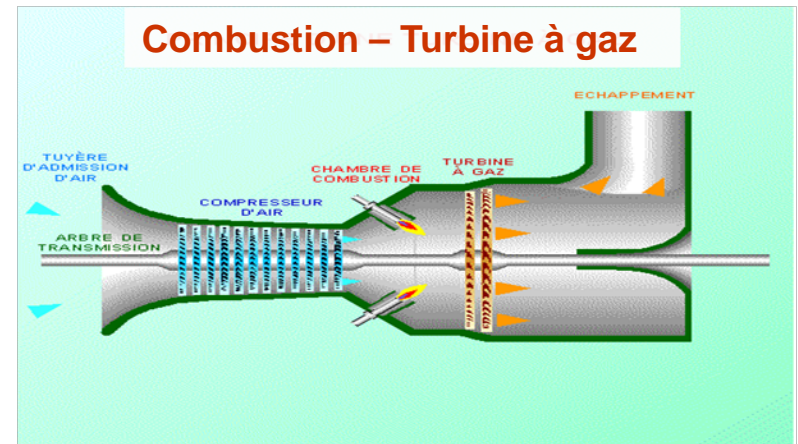
- $S_L > 10$ cm/s
- $T < 1000^\circ\text{C}$

● Critères liés aux émissions polluantes :

- $\text{NO}_x < 10$ ppm

● Critère lié au procédé de capture :

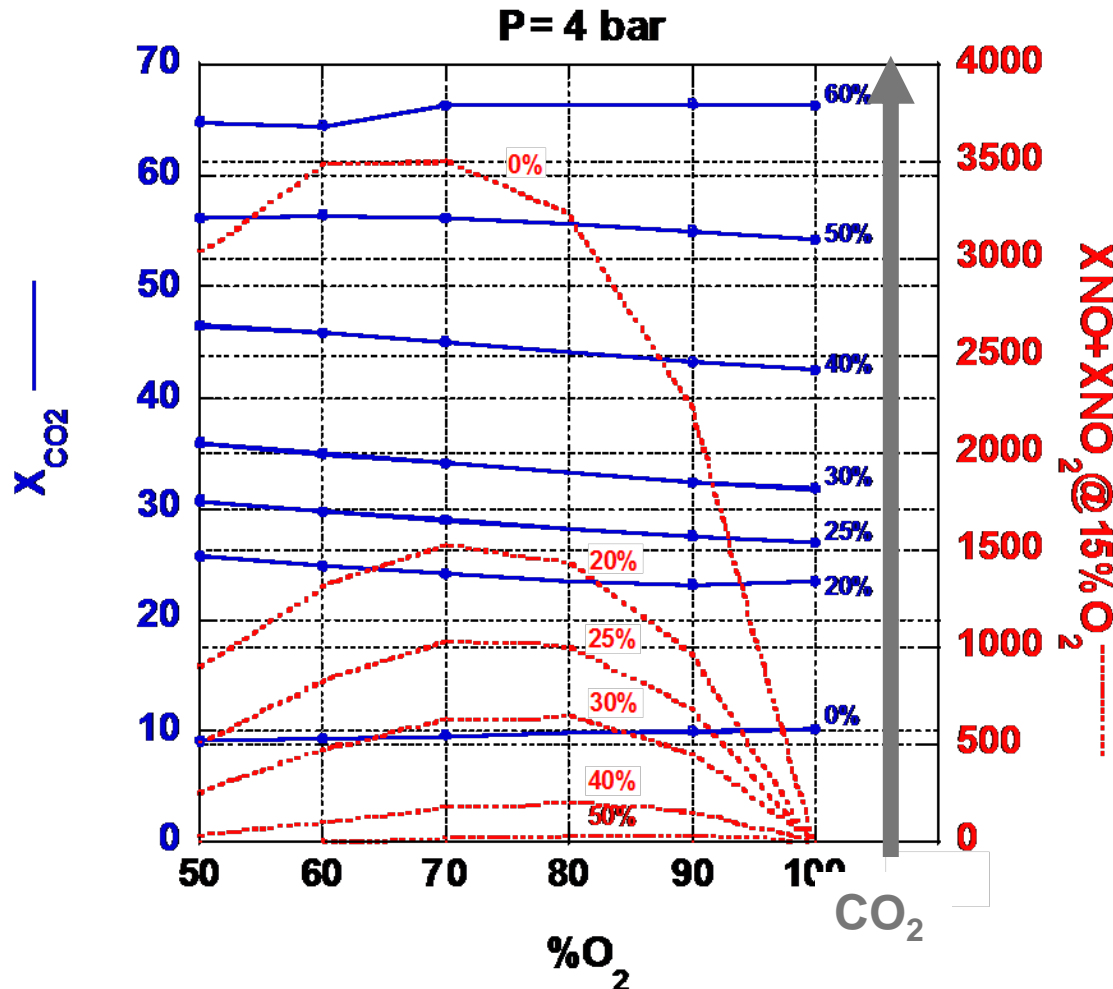
- $X_{\text{CO}_2} > 30\%$ pour $P=1$ bar



Principaux résultats (I) : Combustion

I- Recherche des conditions de combustion qui respectent le cahier des charges (ICARE, CORIA, LCD)

Influence du taux de dilution au CO_2 du mélange total ($\phi=1,1$)



$\alpha \nearrow \text{CO}_2$ final et $\searrow \text{NO}_x$
quand la dilution au $\text{CO}_2 \nearrow$

Principaux résultats (I) : Combustion

I- Recherche des conditions de combustion qui respectent le cahier des charges (ICARE, CORIA, LCD)

Conditions satisfaisant le cahier des charges

Plus la dilution au CO₂ augmente, plus le nombre de conditions ad hoc augmente

Bilan des calculs (mécanisme GRI3.0) : exemple $\phi = 0.9$

Taux de dilution	1 bar	4 bars	8 bars
0% CO ₂	∅	100% O ₂	100% O ₂
10% CO ₂	∅	21% O ₂ 100% O ₂	100% O ₂
20% CO ₂	∅	21% O ₂ 100% O ₂	21% O ₂ 100% O ₂
30% CO ₂	21% O ₂ 30% O ₂ 100% O ₂	30% O ₂ 100% O ₂	30% O ₂ 100% O ₂
40% CO ₂	30% O ₂ 40% O ₂ 50% O ₂ 100% O ₂	40% O ₂ 100% O ₂	100% O ₂
50% CO ₂	40 à 70 et 100% O ₂	50 à 100% O ₂	50 à 100% O ₂
60% CO ₂	50% à 100% O ₂	60 à 100% O ₂	70 à 80 et 100% O ₂

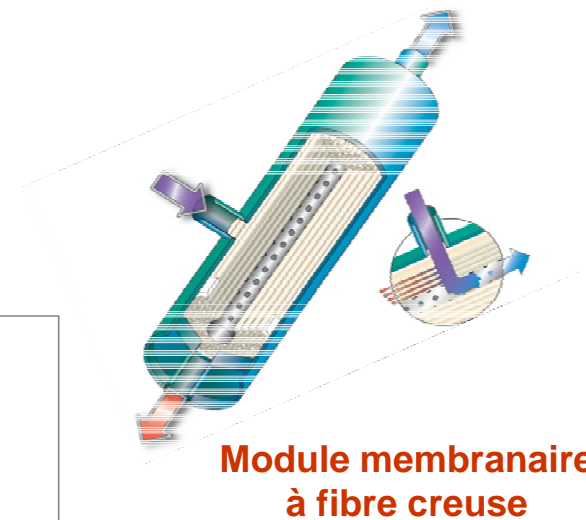
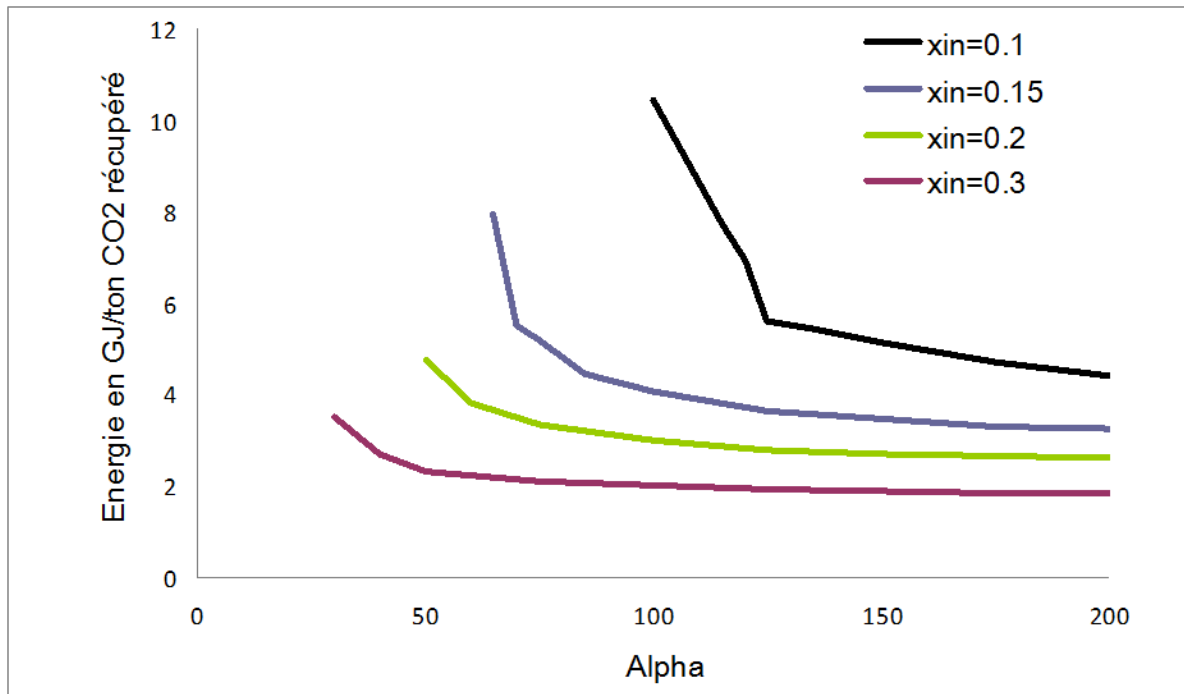
Principaux résultats (II) : Capture

II- Simulation des performances de séparation sur composition théorique du mélange - logiciel M3Pro

Cahier de charge :

Pureté du $\text{CO}_2=90\%$

Taux de conversion $>80\%$



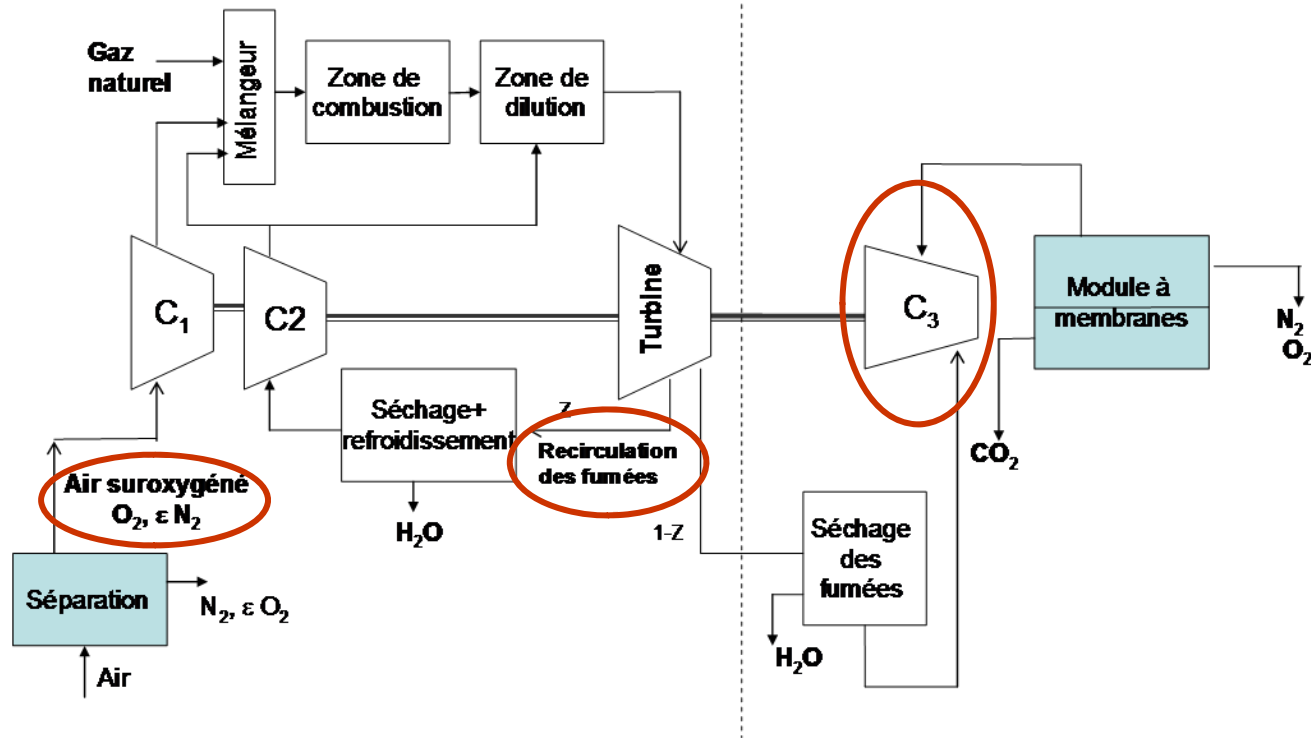
▪ $\searrow E$ avec $\nearrow x_{in}$ et α

Principaux résultats (III) : Synthèse et intégration

Analyse énergétique du couplage turbine à gaz / procédé de capture par membranes

Combustion à l'air suroxygéné avec recirculation des fumées

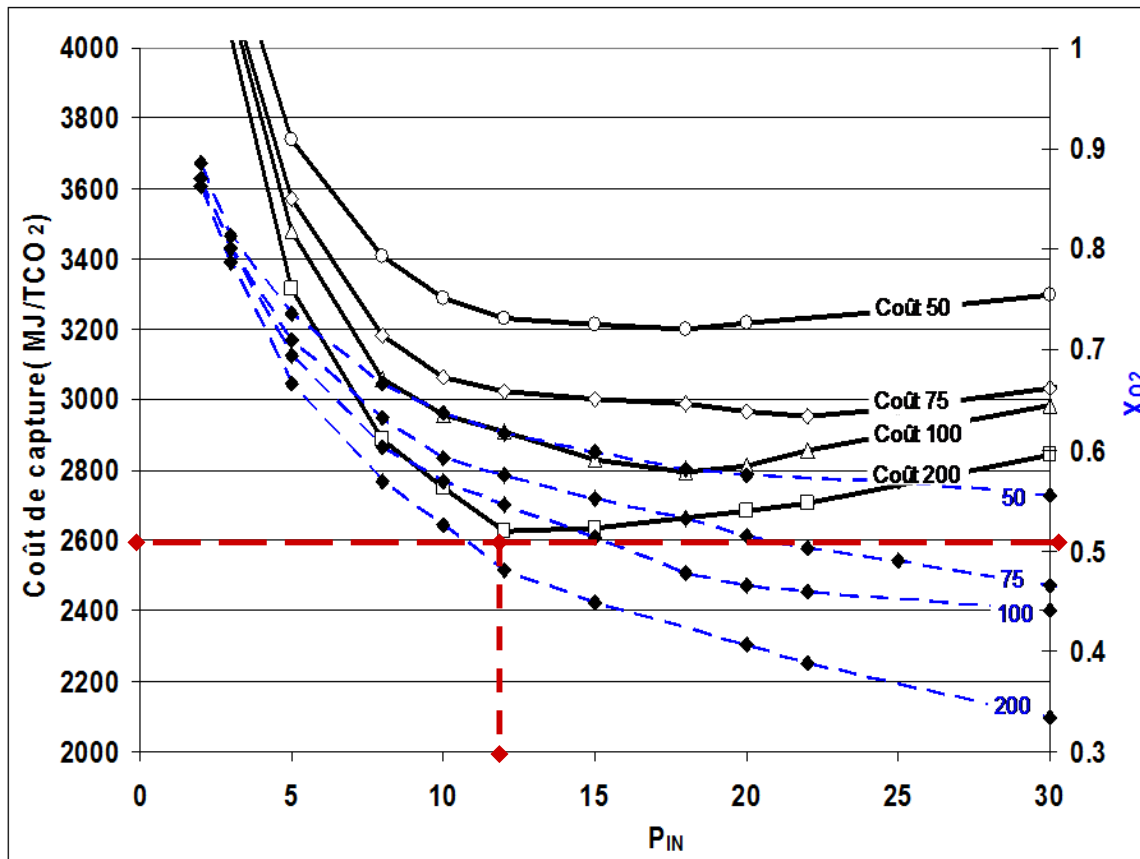
Capture du CO₂ par module à membranes



Principaux résultats (III) : Synthèse et intégration

Analyse énergétique du couplage turbine à gaz / procédé de capture par membranes

Coût minimal de capture de CO_2 = f(la pression d'entrée de la membrane P_{IN} , la sélectivité de la membrane α)



Pour $\alpha=200$,

Coût minimal :
2.6 GJ/t CO_2 récupéré

$X_{\text{O}_2}=50\%$, $P_{\text{IN}}=12\text{bar}$

Procédé de référence
(absorption au MEA) :
3.5GJ/t CO_2 récupéré.



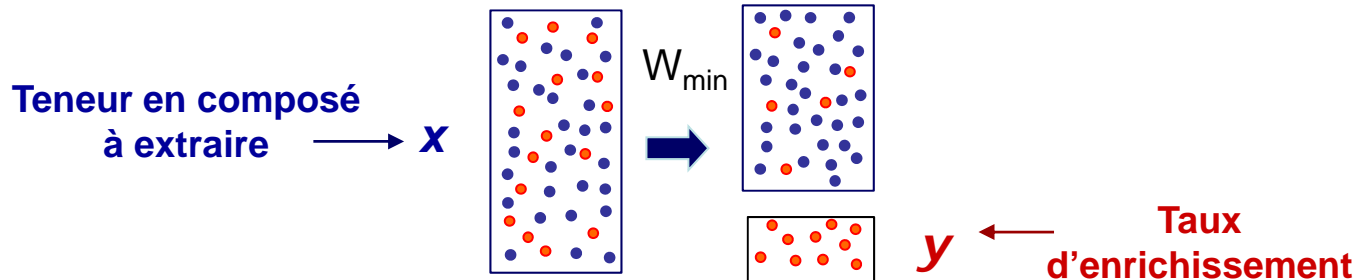
Programme interdisciplinaire Energie du CNRS 2007-2011

*Projet COCASE :
Optimisation du couplage des procédés de combustion
et de capture du CO₂ par membranes*

- PIE Montpellier, 29 Mars 2011 -

Merci de votre attention

Principe : concept du travail minimal de séparation ¹



$$W_{\min} = -\mathcal{R}.T \left[\frac{x \cdot \ln(x) + (1-x) \cdot \ln(1-x)}{x} - \frac{y \cdot \ln(y) + (1-y) \cdot \ln(1-y)}{y} \right]$$

$w_{\min} \nearrow$ avec $\searrow x$ et $\nearrow y$



Oxycombustion

Production d'O₂ pur en amont

Solution de compromis

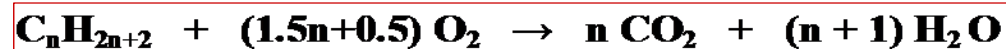
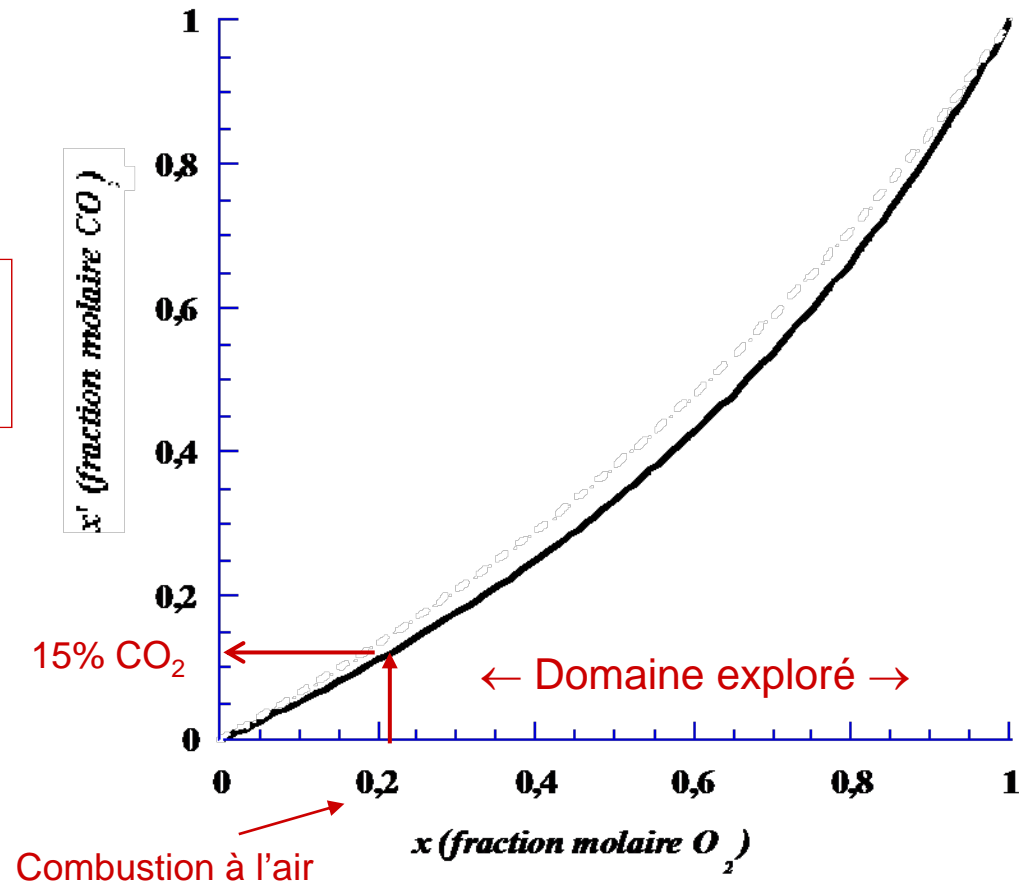
Postcombustion conventionnelle

Capture de CO₂ dans des fumées diluées 4-15% CO₂

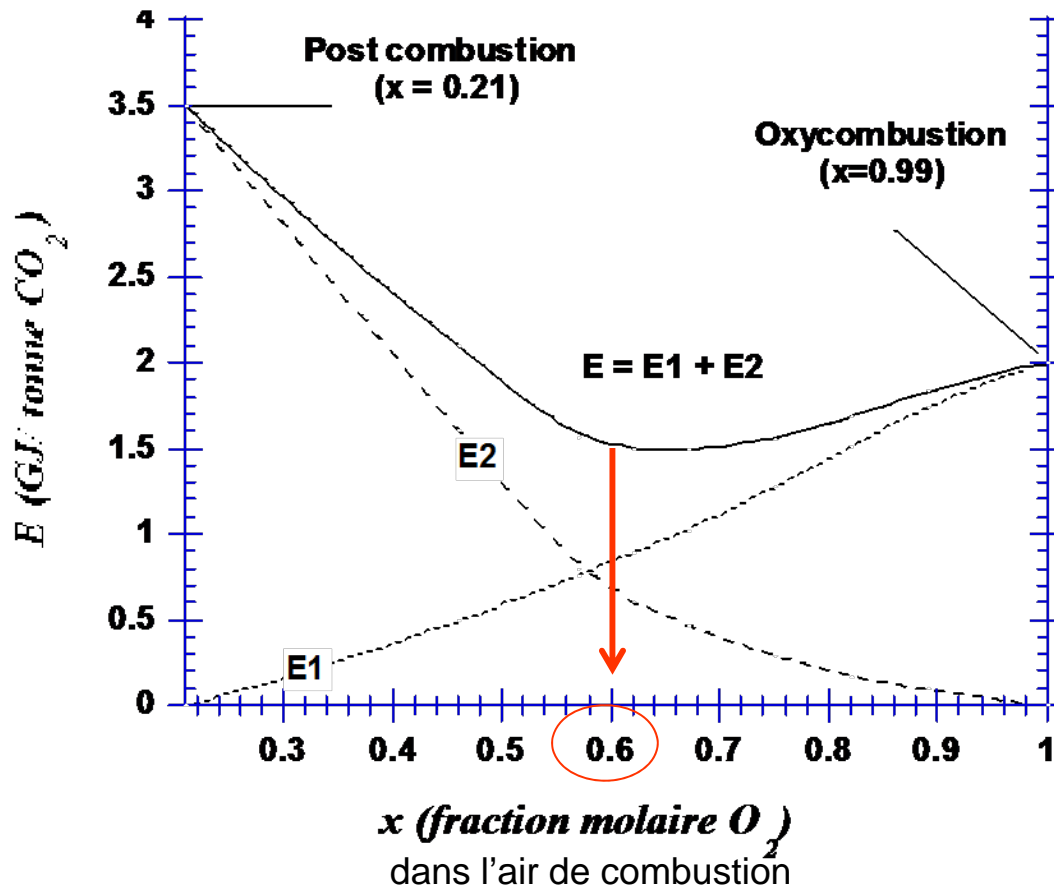
¹ Humphrey, J.L., Keller, G.E. MacGraw Hill Ed., 1997

Principe : relation teneur en CO₂ / pureté en O₂

$$x' = \left[\frac{2n \cdot x / (3n + 1)}{(2n \cdot x / (3n + 1)) + 1 - x} \right]$$



Validation du concept par simulation



E_1 : consommation spécifique de production d' O_2 par cryogénie ²

E_2 : coût spécifique de capture du CO_2 par membrane ³

Pour $x_{\text{O}_2} = 0,6$:

$E_1 + E_2 < E_1$ ou E_2

Validation du concept par simulation (PHYCAP)

² G. Göttlicher, National Energy Technology Laboratory, 2004.

³ R. Bounaceur et al., Energy 31,2006

