

Comparaison de procédés sur la base de bilans CO₂

Analyse exergétique
Analyse de Cycle de Vie

Sous la direction de :



T.Burkhardt



M.N. PONS



J.N.JAUBERT

Par :

Anas ARCHANE

UCP, ENSTA



Plan

Introduction

- ✓ **Contexte et objectif de l'étude**
 - **Exergie, Analyse exergetique**

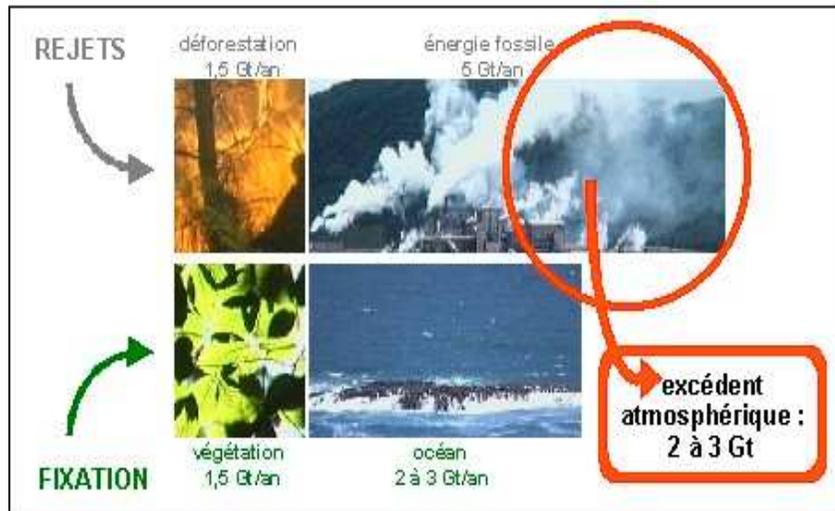
- ✓ **Cas des raffineries**
 - **Procédé étudié**
 - **Calcul d'exergie**
 - **Analyse de Cycle de Vie**

- ✓ **Conclusions et perspectives**



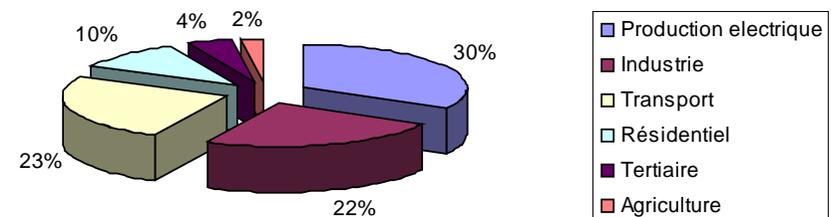
Introduction

Les risques de changement climatique



Emissions des gaz à effet de serre
→ Particulièrement CO₂

Répartition par secteur des émissions de CO₂ dans le monde

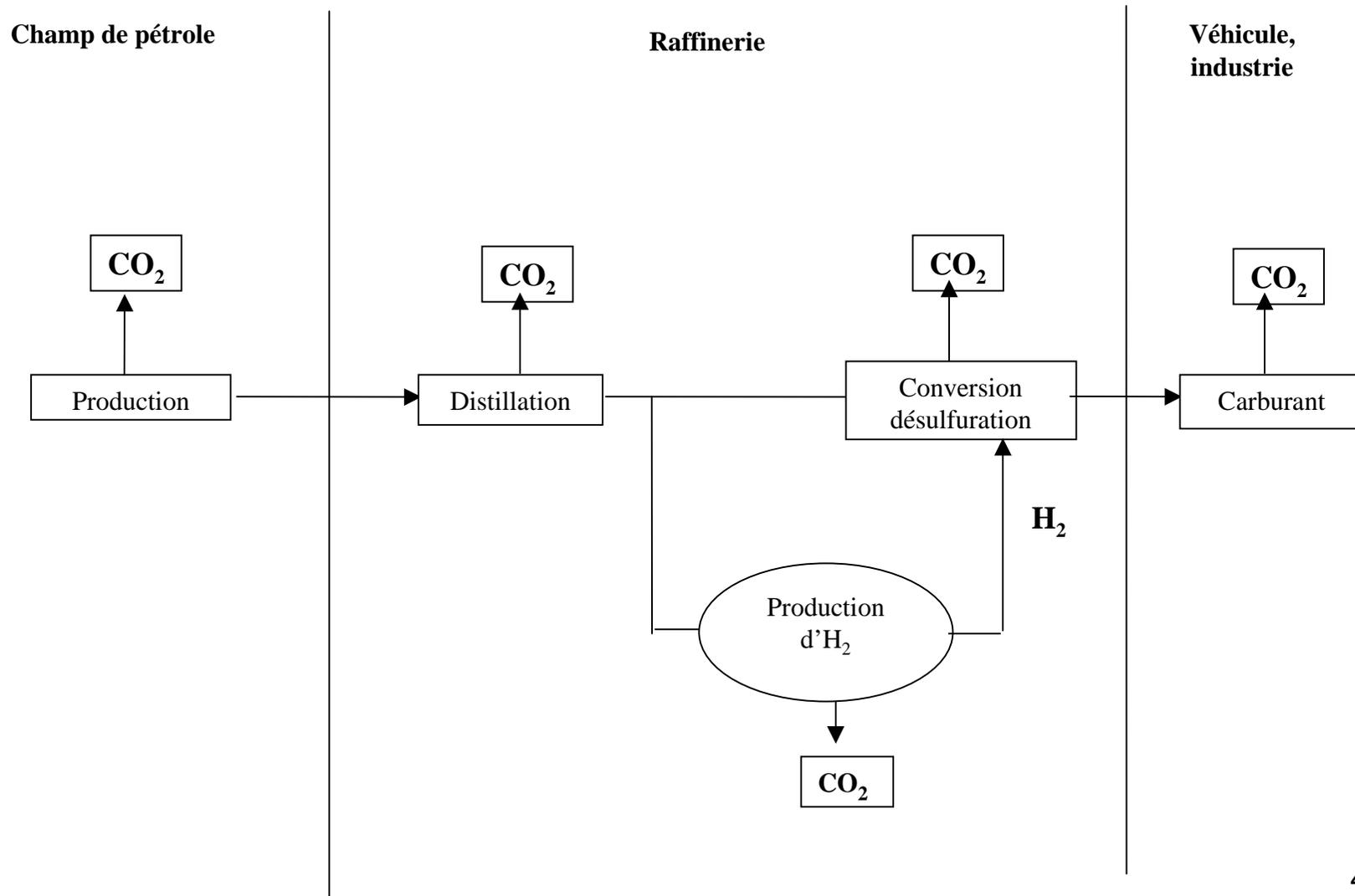


Source :ENERDATA

Contexte et objectif de l'étude

Cas du raffinage

Les émissions de CO₂ dans le cycle de vie des hydrocarbures



Contexte et objectif de l'étude

- Maîtriser les émissions des gaz à effet de serre
 - ⇒ Optimiser l'utilisation de la production d'énergie
 - ⇒ Suivre un indicateur qui reflète les efforts mis en place et qui tiendra compte de la complexité des schémas de raffinage

Contexte et objectif de l'étude

- Elaboration d'une méthodologie pour tenir compte de l'impact environnemental d'un procédé lors de sa conception.
 - ↳ Analyse exergétique du procédé
Détermination de l'exergie détruite dans le procédé
 - ↳ Analyse de Cycle de Vie (ACV) du procédé
Déterminer l'impact environnemental (bilans CO₂)

Analyse exergetique

Exergie:

- Energie « noble »

$$\text{Energie} = \text{Exergie} + \text{Anergie}$$

(Szargut et al ,1985)

- La proportion d'énergie du système qui peut être transformée en travail

Types d'exergie:

- ✓ **Exergie associée au transfert de travail**
- ✓ **Exergie associée au transfert de chaleur**

$$E_x = Q_A (1 - T_0/T)$$

Distribution de température uniforme

A : surface d'échange thermique.

T_0 : température de l'environnement.

T : température à laquelle le transfert est effectué

✓ **Exergie associée au transfert de flux de matière**

$$\mathbf{Ex} = \mathbf{Ex}_c + \mathbf{Ex}_p + \mathbf{Ex}_{th}$$

Ex_p : Exergie potentielle

Ex_c : Exergie cinétique

Ex_{ph} : Exergie physique

Ex_{ch} : Exergie chimique

Ex_{th} : Exergie thermique

$$\mathbf{Ex}_{th} = \mathbf{Ex}_{ph} + \mathbf{Ex}_{ch}$$

- **Exergie cinétique**

$$E_{x_c} = m \cdot C_o^2 / 2$$

- **Exergie potentielle**

$$E_{x_p} = m \cdot g_E \cdot Z_o$$

m : débit massique du fluide ;

C_o : vitesse du fluide par rapport à la surface de la terre ;

Z_o : hauteur par rapport au niveau de la mer ;

g_E : accélération gravitationnelle.

Exergie thermique

Exergie physique:

$$Ex_{ph} = H - H_0 - T_0 (S - S_0)$$

Exergie chimique:

$$ex_{ch} = RT_0 \ln P_0 / P_{00}$$

P_{00} : Pression partielle du composé à l'état de référence

$$ex_{ch} = - \Delta G_0 - \sum_i x_i ex_{chi, in} + \sum_i x_i ex_{chi, out}$$

Avec x_i : fraction molaire du ieme composé
 ΔG_0 : la fonction de formation de Gibbs

Cornelissen, 1997

Rendement exergetique

Bilan exergetique : $\mathbf{Ex}_{Ent} = \mathbf{Ex}_{Sor} + \mathbf{I}$
(I:irreversibilite)

Rendement : $\eta = \mathbf{Ex}_{Sor} / \mathbf{Ex}_{Ent}$

Rendement rationnel (Kotas, 1985) :

$$\psi = \mathbf{Ex}_{des,sor} / \mathbf{Ex}_{util} \qquad \psi = 1 - \mathbf{I} / \mathbf{Ex}_{util}$$

Rendement avec exergetie de passage (Kostenko) :

$$\eta = (\mathbf{Ex}_{sor} - \mathbf{Ex}_{pas}) / (\mathbf{Ex}_{ent} - \mathbf{Ex}_{pas})$$

Procédé étudié

Unité d'hydrotraitement de gazoles

Caractéristiques

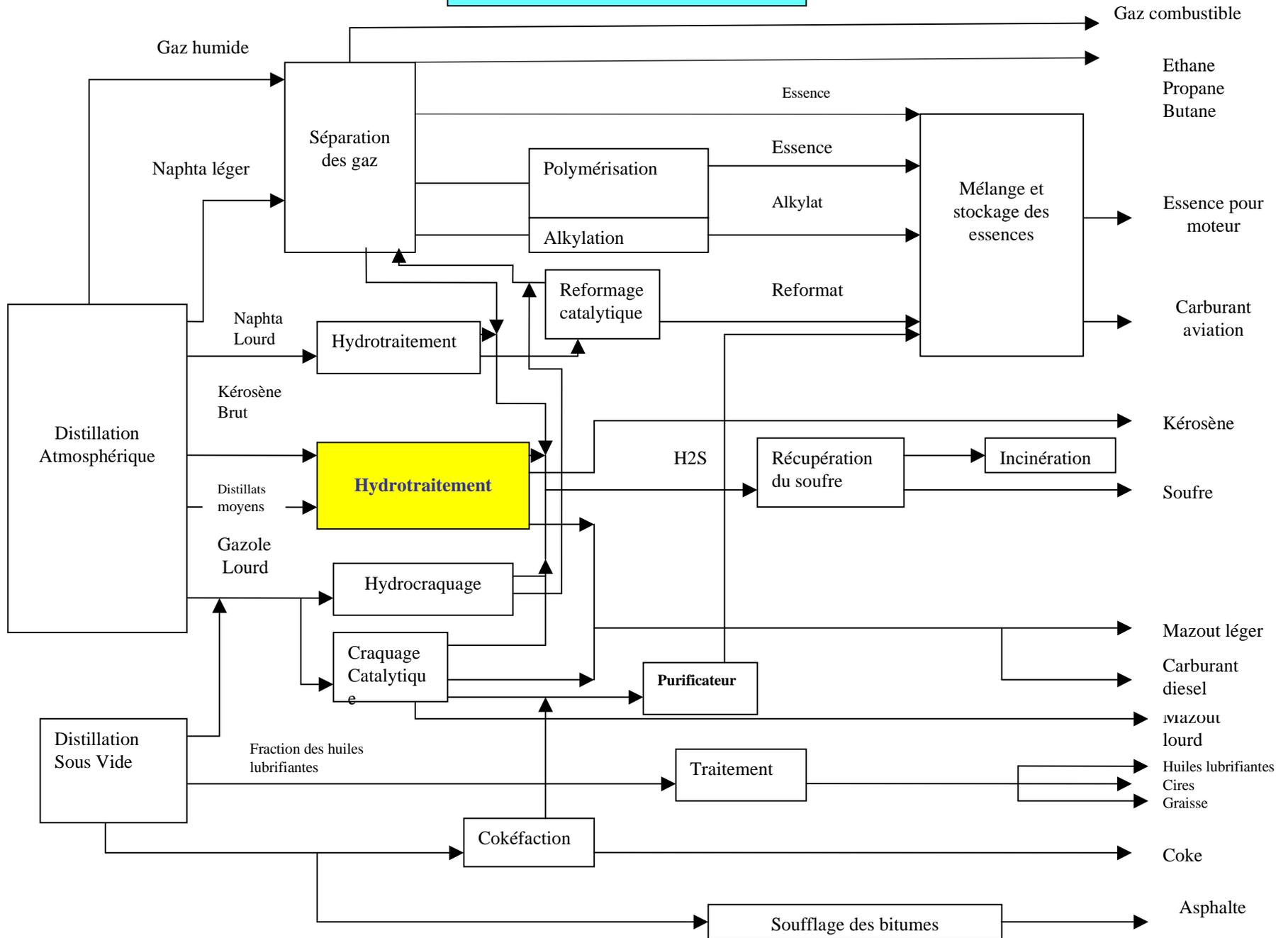
- Réactions exothermiques

- la stabilité des produits;
- la pollution;
- l'odeur;
- la corrosion;

- Rupture des liaisons C-N, C-O, C-S

⇒ Elimination du O, N, S sous forme d'H₂O,
NH₃ et H₂S

Figure III.1 : Schéma d'une raffinerie



Simulation du procédé

Logiciel : **Pro II 7.0**

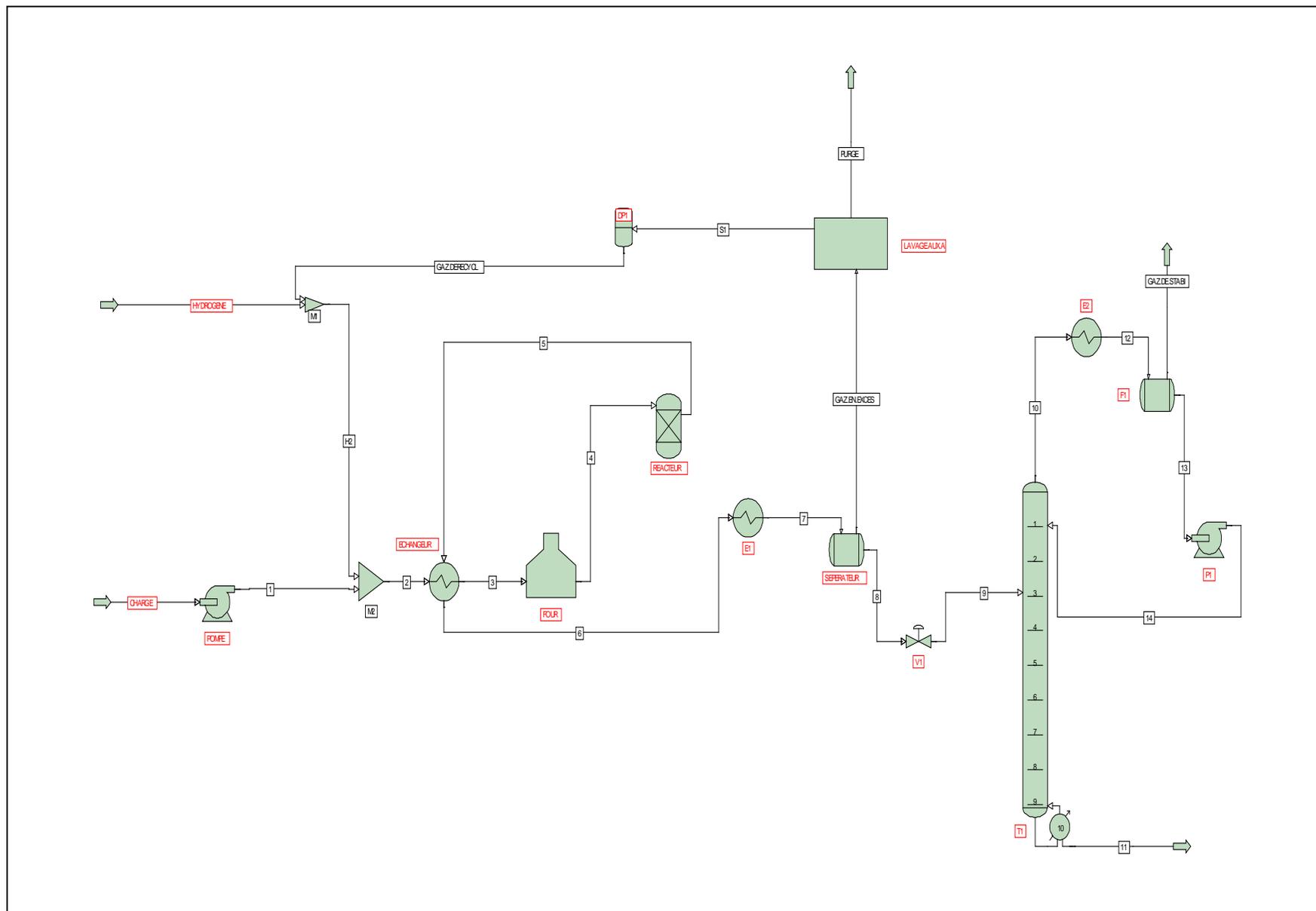
- Gasoil traité et hydrogène :
Débits, compositions et conditions opératoires
- Amine (DEA): Absorption de H₂S
- Modèles thermodynamiques

Débit gasoil: 180 t/h

Débit d'H₂: 2 t/h

Solution amine: 32t/h; 25 % wt DEA

Schéma simplifié d'une unité d'hydrodésulfuration avec recyclage

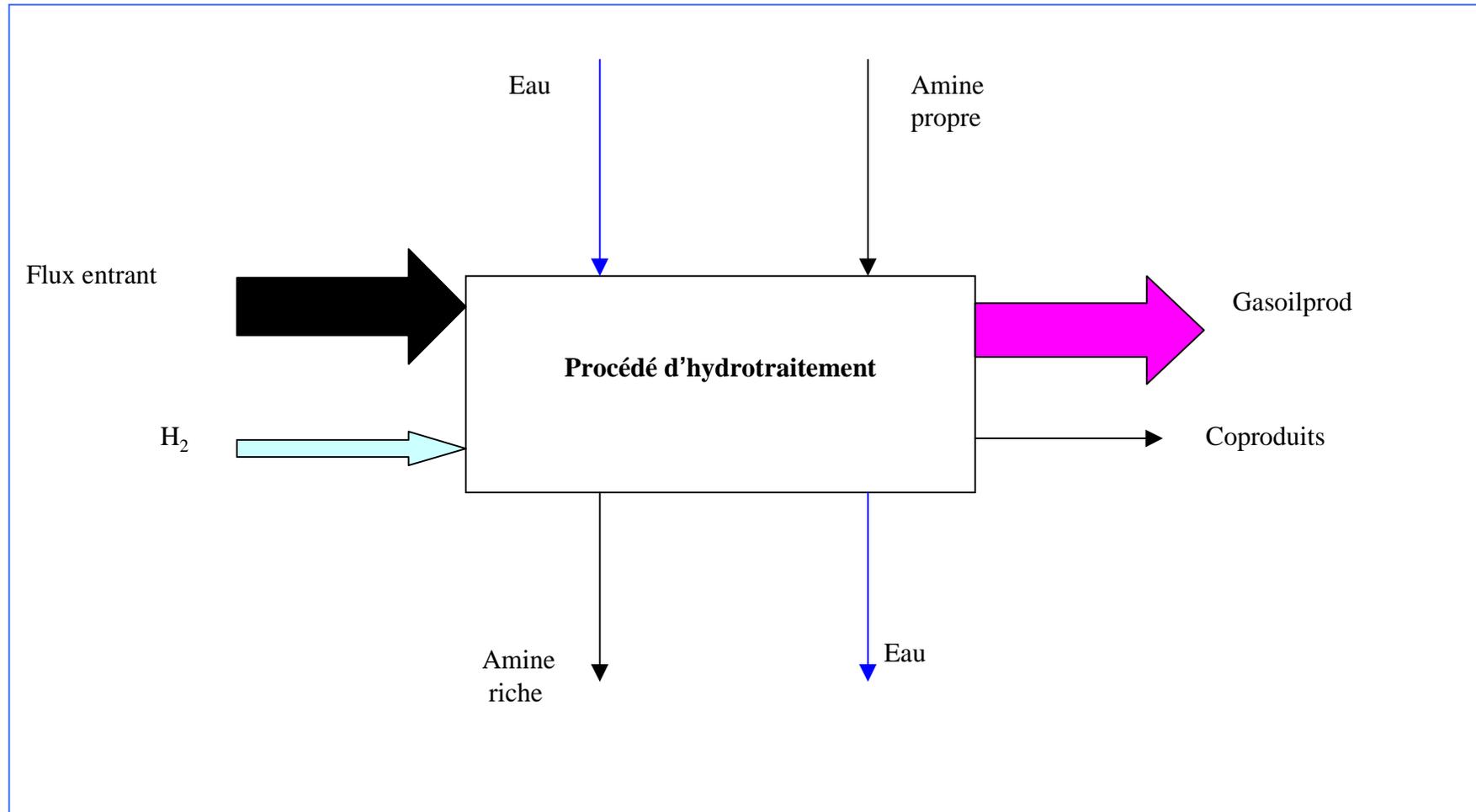


Comparaison des procédés

Variation du débit d'H₂

- Procédé II: +10% (H₂)
⇒ - 20°C (réacteur)
- Procédé III: -10% (H₂)
⇒ + 23°C

Calcul d'exergie



$$\mathbf{Ex} = \mathbf{H} - \mathbf{T}_0\mathbf{S}$$

$$T_0 = 298.15 \text{ K (Szargut et al, 1988)}$$

$$\Delta\mathbf{Ex} = \mathbf{Ex}_{\text{entrée}} + \mathbf{Ex}_e - \mathbf{Ex}_{\text{sortie}}$$

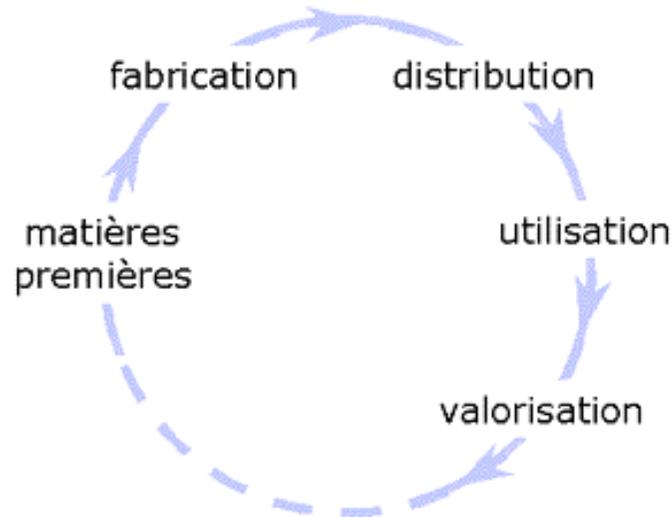
Énergie et exergie détruite des procédés

	Procédé I	Procédé II	Procédé III
Energie totale (Mw)	128.72	119.13	136.62
Exergie détruite $\Delta\mathbf{Ex}$ (Mw)	30.60	28.88	31.82
Débit H₂ (kg/h)	1807	1988	1626

Analyse de Cycle de Vie

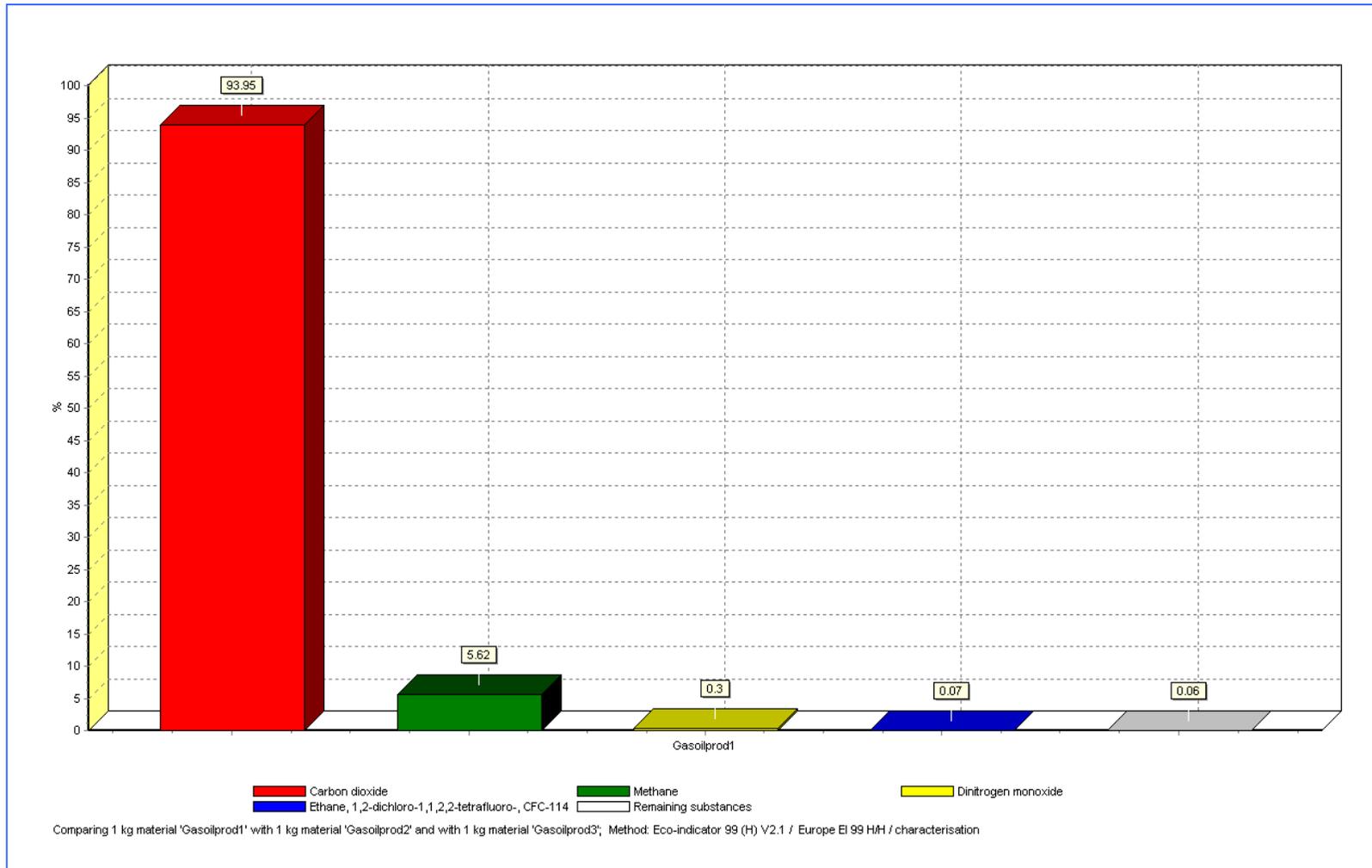
Evaluer l'**impact environnemental** d'un produit, d'un processus ou d'une activité tout **le long de son cycle de vie**.

⇒ Approche « du berceau à la tombe ».



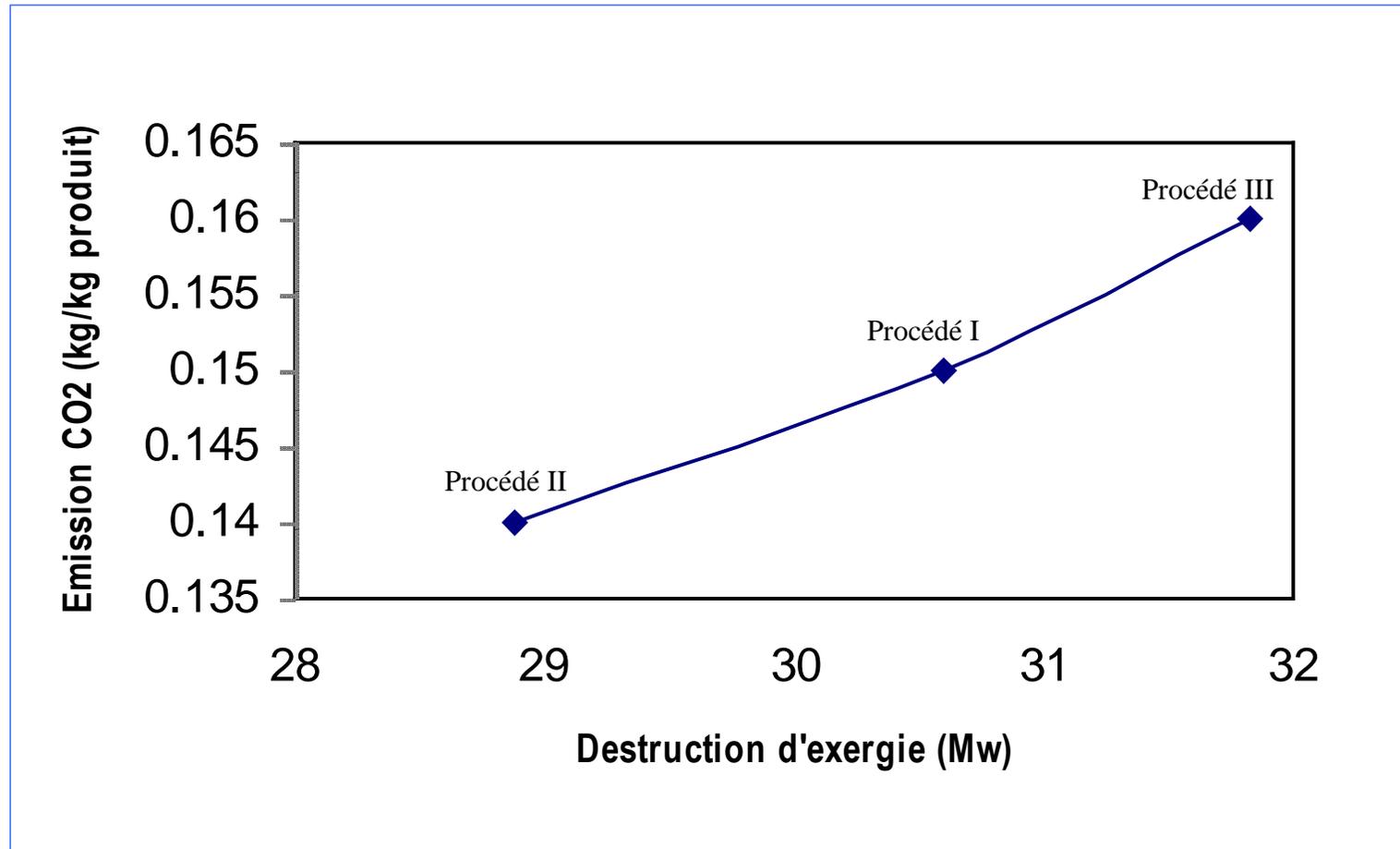
Logiciel : **Sima Pro 6.0**

Contribution des principales substances dans le changement climatique



Conclusions

Emission de CO₂ et destruction d'exergie



Cette étude a permis de :

- De démontrer que l'Analyse Exergetique et l'Analyse de Cycle de Vie des procédés d'hydrotraitement dans l'industrie pétrolière sont possibles.
- D'affirmer que ces analyses peuvent être utilisées comme un outil d'aide à la décision lors de la conception ou d'optimisation des procédés.

Perspectives

- ✓ Importance de l'exergie chimique

$$\mathbf{ex}_{\text{ch. mel}} = \sum_i \mathbf{x}_i \mathbf{ex}_{\text{ch}, i} + \mathbf{RT}_0 \sum_i \mathbf{x}_i \ln \gamma_i \mathbf{x}_i$$

x_i : fraction molaire du ieme composé, R la constante molaire des gaz et γ_i le coefficient d'activité.

$$\mathbf{ex}_{\text{ch}} = \phi \cdot \mathbf{VNC}$$

VNC : Valeur nette de combustion

ϕ : Coefficient calculé à partir de la composition atomique.
(entre 1.04 et 1.08)

- ✓ ACV: Inventaire; Méthode utilisée



Merci