

**IC<sup>2</sup>MP**

Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers



**cnrs** **GDR** Groupement  
de recherche  
**EMILI** Étude des milieux ionisés  
Plasmas froids créés par décharge  
et laser

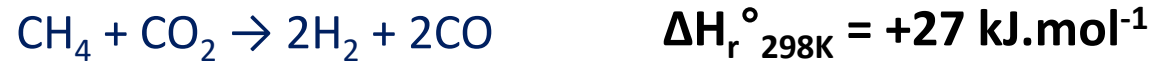


**Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse**

**Catherine BATIOT-DUPEYRAT**

## Contexte

Production de gaz de synthèse :



réaction effectuée à haute température (800-1000°C) en présence d'un catalyseur  
(métal noble: **Rh, Ru, Pd, Ir, Pt**; métal non noble: **Fe, Co, Ni, Cu**) → **dépôt de carbone**



Intérêt d'une approche non-conventionnelle



Utilisation d'un plasma non-thermique pour activer les réactifs

Plasma pour la conversion de CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>

Chimie dans un mélange CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> sous plasma: “cocktail d’espèces réactives”

Aperçu des espèces\*

molecules	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, CH <sub>3</sub> CHO, CH <sub>2</sub> CO, CH <sub>3</sub> OOH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OOH
ions	CH <sub>5</sub> <sup>+</sup> , CH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CH <sub>3</sub> <sup>+</sup> , CH <sub>2</sub> <sup>+</sup> , CH <sup>+</sup> , C <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> H <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> <sup>+</sup> , H <sub>3</sub> <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> <sup>+</sup> , H <sup>+</sup> , O <sub>4</sub> <sup>+</sup> , O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , O <sub>4</sub> <sup>-</sup> , O <sub>3</sub> <sup>-</sup> , O <sub>2</sub> <sup>-</sup> , O <sup>-</sup> , CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> , CO <sup>+</sup> , H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> , OH <sup>+</sup> , H <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>
radicals	CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> , CH, C, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H, C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> , H, O, OH, HO <sub>2</sub> , CHO, CH <sub>2</sub> OH, CH <sub>3</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O, C <sub>2</sub> HO, CH <sub>3</sub> CO, CH <sub>2</sub> CHO, CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>



Faible sélectivité en syngas

\*DeBie C, Dijk JV, Bogaerts A, J. Phys. Chem. 119, 2015, 22331-22350

Plasma pour la conversion de CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>

Chimie dans un mélange CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> sous plasma: “cocktail d'espèces réactives”



Couplage du plasma et de la catalyse pour augmenter la sélectivité

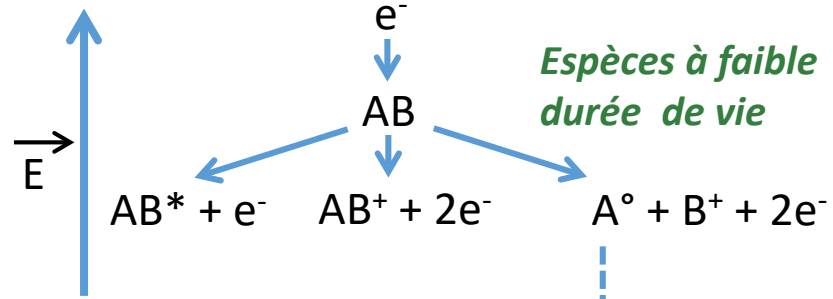
Combiner la réactivité du plasma avec la sélectivité du catalyseur



Complexité du système plasma-catalyse

## Plasma non-thermique

### Phase gaz

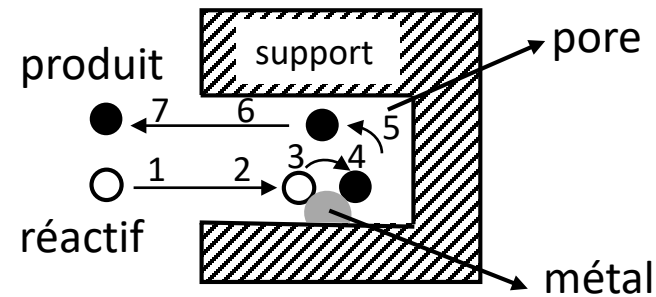


*Espèces stables ou métastable*  $2A^\circ \rightarrow A-A$

## Catalyse hétérogène

### Intéraction Gaz-solide

#### Étapes en catalyse hétérogène

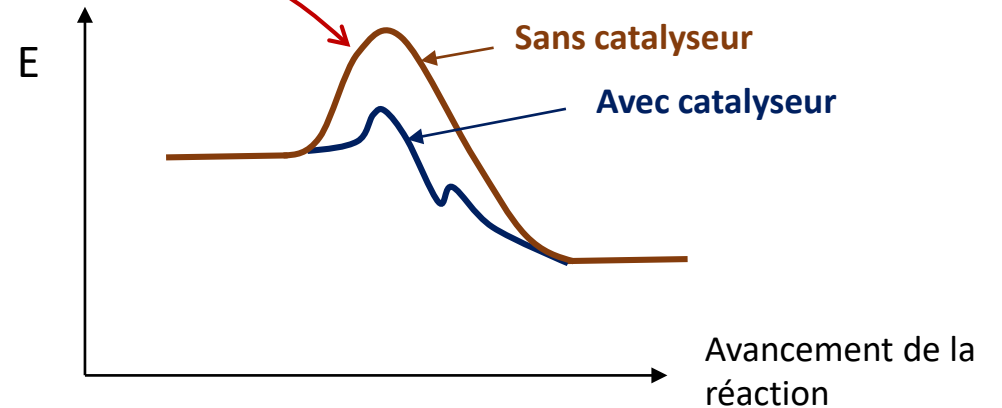


- 1, 7 diffusion externe
- 2, 6 diffusion interne
- 3 adsorption des réactifs
- 4 réaction
- 5 désorption des produits

**Électrons très énergétiques >10eV**

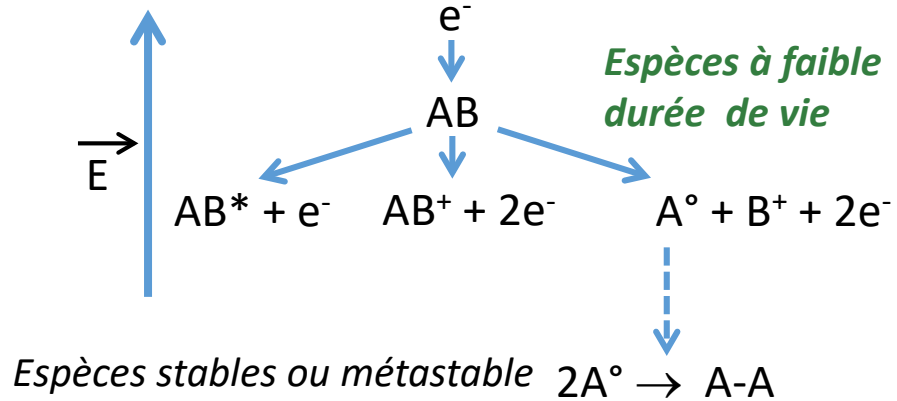


**Couplage plasma-catalyse**  
**Activation directe des espèces actives ?**



## Plasma non-thermique

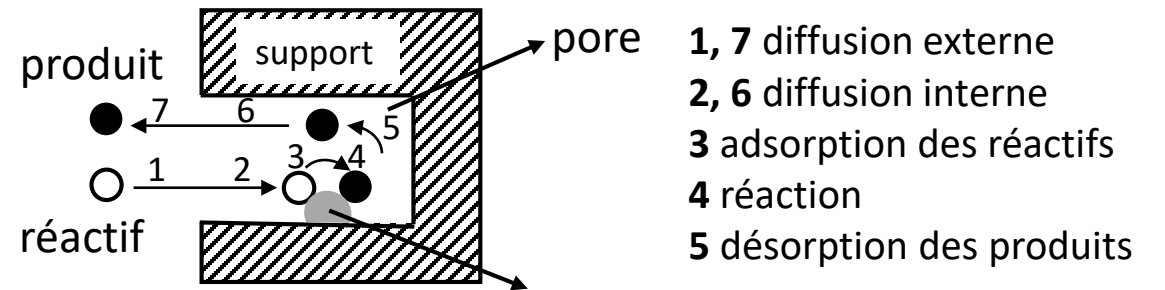
### Phase gaz



## Catalyse hétérogène

### Interaction Gaz-solide

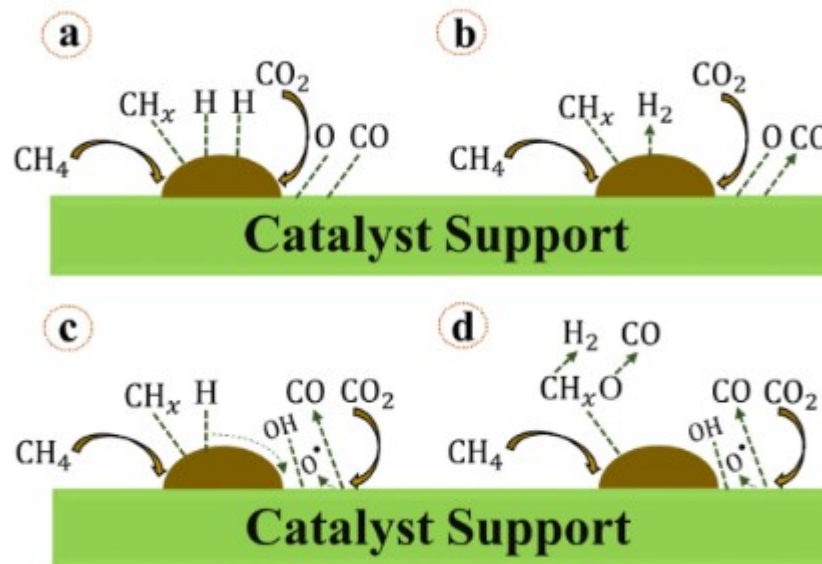
#### Étapes en catalyse hétérogène



En catalyse thermique classique: **recherche d'une surface catalytique maximale**

→ **Porosité** des catalyseurs et **forme des pores** sont des paramètres critiques

## Mécanismes réactionnels pour la conversion de $\text{CH}_4$ et $\text{CO}_2$ à la surface du catalyseur ( $T > 700^\circ\text{C}$ )\*



**a)** chimie-sorption et dissociation de  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$

**b)** Désorption rapide de  $\text{H}_2$  et  $\text{CO}$

**c)** Formation d'espèces hydroxyle à la surface par saut d'oxygène et hydrogène (spillover)

**d)** oxydation des espèces  $\text{CH}_x$  pour générer  $\text{CO}$  et  $\text{H}_2$

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse

**IOP** Publishing

Journal of Physics D: Applied Physics

J. Phys. D: Appl. Phys. 49 (2016) 243001 (24pp)

[doi:10.1088/0022-3727/49/24/243001](https://doi.org/10.1088/0022-3727/49/24/243001)

### Topical Review

# Plasma–catalysis: the known knowns, the known unknowns and the unknown unknowns

**J Christopher Whitehead**

School of Chemistry, The University of Manchester, Oxford Road, Manchester M13 9PL, UK

E-mail: [j.c.whitehead@manchester.ac.uk](mailto:j.c.whitehead@manchester.ac.uk)



## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse

Journal of Energy Chemistry 85 (2023) 501–533



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Energy Chemistry

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jechem](http://www.elsevier.com/locate/jechem)

The JEC logo, with 'JEC' in large blue letters and 'JOURNAL OF ENERGY CHEMISTRY' in smaller blue letters below it.

<http://www.journals.elsevier.com/journal-of-energy-chemistry/>

Review

Is a catalyst always beneficial in plasma catalysis? Insights from the many physical and chemical interactions

Björn Loenders\*, Roel Michiels, Annemie Bogaerts

Research group PLASMANT, Department of Chemistry, University of Antwerp, Universiteitsplein 1, B-2610 Wilrijk-Antwerp, Belgium

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*

	Entry	CH <sub>4</sub> conv. (%)	CO <sub>2</sub> conv. (%)	EE (mmol/kJ)	The yields of products (%)				
					H <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Liquid	Coke
Catalyst only	1	0	0	N/A	0	0	0	0	0
Plasma only	2	25.4	14.7	0.23	40.8	22.9	19.4	0.0	57.7
CZSM5	3	24.2	15.3	0.24	38.9	18.4	12.3	34.4	34.9
γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	19.4	10.7	0.17	50.3	21.1	21.2	25.8	31.9
SiO <sub>2</sub>	5	17.0	10.9	0.14	49.4	26.5	24.5	0.0	49.0
Ag/CZSM5	6	18.7	13.6	0.19	44.4	19.5	13.6	33.1	33.7
Pt/CZSM5	7	21.5	12.6	0.21	32.7	18.2	11.8	60.7	9.3
Pd/CZSM5	8	20.4	14.9	0.19	41.3	27.7	16.0	39.9	16.3
Re/CZSM5	9	23.1	16.0	0.21	43.5	22.7	15.2	31.8	30.3
Ir/CZSM5	10	21.2	12.8	0.19	43.6	23.2	14.6	25.0	37.2
UZSM5	11	23.9	13.7	0.21	38.4	19.1	14.5	51.2	15.2
Pt/UZSM5	12	22.1	16.2	0.23	37.8	20.2	15.7	59.0	5.1

Conditions expérimentales: DBD, signal AC, 17kHz, 9.25 kV , Ar comme diluant

\*Wang A, Harrhy J, Meng S, He P, Liu L, Song H *En. Conv. Management* 191, 2019, 93-101

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*

Basé sur (conversion CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>)/P

Formaldéhyde  
Méthanol  
Ethanol  
acétone

	Entry	CH <sub>4</sub> conv. (%)	CO <sub>2</sub> conv. (%)	EE (mmol/kJ)	The yields of products (%)				
					H <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Liquid	Coke
Catalyst only	1	0	0	N/A	0	0	0	0	0
Plasma only	2	25.4	14.7	0.23	40.8	22.9	19.4	0.0	57.7
CZSM5	3	24.2	15.2	0.24	38.9	18.4	12.3	34.4	34.0
γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	19.4	10.7	0.17	50.3	21.1	21.2	25.8	31.9
SiO <sub>2</sub>	5	17.0	10.9	0.14	49.4	26.5	24.5	0.0	49.0
Ag/CZSM5	6	18.7	13.6	0.19	44.4	19.5	13.6	33.1	33.7
Pt/CZSM5	7	21.5	12.6	0.21	32.7	18.2	11.8	60.7	9.3
Pd/CZSM5	8	20.4	14.9	0.19	41.3	27.7	16.0	39.9	16.3
Re/CZSM5	9	23.1	16.0	0.21	43.5	22.7	15.2	31.8	30.3
Ir/CZSM5	10	21.2	12.8	0.19	43.6	23.2	14.6	25.0	37.2
UZSM5	11	23.9	13.7	0.21	38.4	19.1	14.5	51.2	15.2
Pt/UZSM5	12	22.1	16.2	0.23	37.8	20.2	15.7	59.0	5.1

Conditions expérimentales: DBD, signal AC, 17kHz, 9.25 kV , Ar comme diluant

Rendement en produits liquides:  $100\% - (Rdt_{CO} + Rdt_{C_xH_y}) - \text{coke (déterminé par ATG)}$

\*Wang A, Harrhy J, Meng S, He P, Liu L, Song H *En. Conv. Management* 191, 2019, 93-101

**Non:** analyse de l'ensemble des produits en phase gazeuse?  
présence de dépôt sur l'électrode, parois du réacteur?

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*

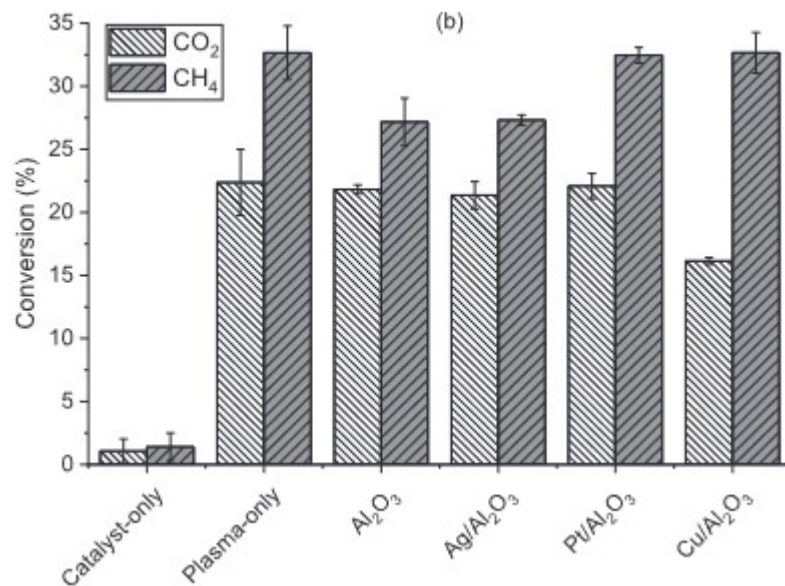
	Entry	CH <sub>4</sub> conv. (%)	CO <sub>2</sub> conv. (%)	EE (mmol/kJ)	The yields of products (%)				
					H <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Liquid	Coke
Catalyst only	1	0	0	N/A	0	0	0	0	0
Plasma only	2	25.4	14.7	0.23	40.8	22.9	19.4	0.0	57.7
CZSM5	3	24.2	15.3	0.24	38.9	18.4	12.3	34.4	34.9
γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	19.4	10.7	0.17	50.3	21.1	21.2	25.8	31.9
SiO <sub>2</sub>	5	17.0	10.9	0.14	49.4	26.5	24.5	0.0	49.8
Ag/CZSM5	6	18.7	13.6	0.19	44.4	19.5	13.6	33.1	33.7
Pt/CZSM5	7	21.5	12.6	0.21	32.7	18.2	11.8	60.7	9.3
Pd/CZSM5	8	20.4	14.9	0.19	41.3	27.7	16.0	39.9	16.3
Re/CZSM5	9	23.1	16.0	0.21	43.5	22.7	15.2	31.8	30.3
Ir/CZSM5	10	21.2	12.8	0.19	43.6	23.2	14.6	25.0	37.2
UZSM5	11	22.9	15.7	0.21	38.4	19.1	14.5	51.2	15.2
Pt/UZSM5	12	22.1	16.2	0.23	37.8	20.2	15.7	59.0	5.1

Conditions expérimentales: DBD, signal AC, 17kHz, 9.25 kV, Ar comme diluant

**Support seul plus actif que Me/support**

\*Wang A, Harrhy J, Meng S, He P, Liu L, Song H *En. Conv. Management* 191, 2019, 93-101

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*

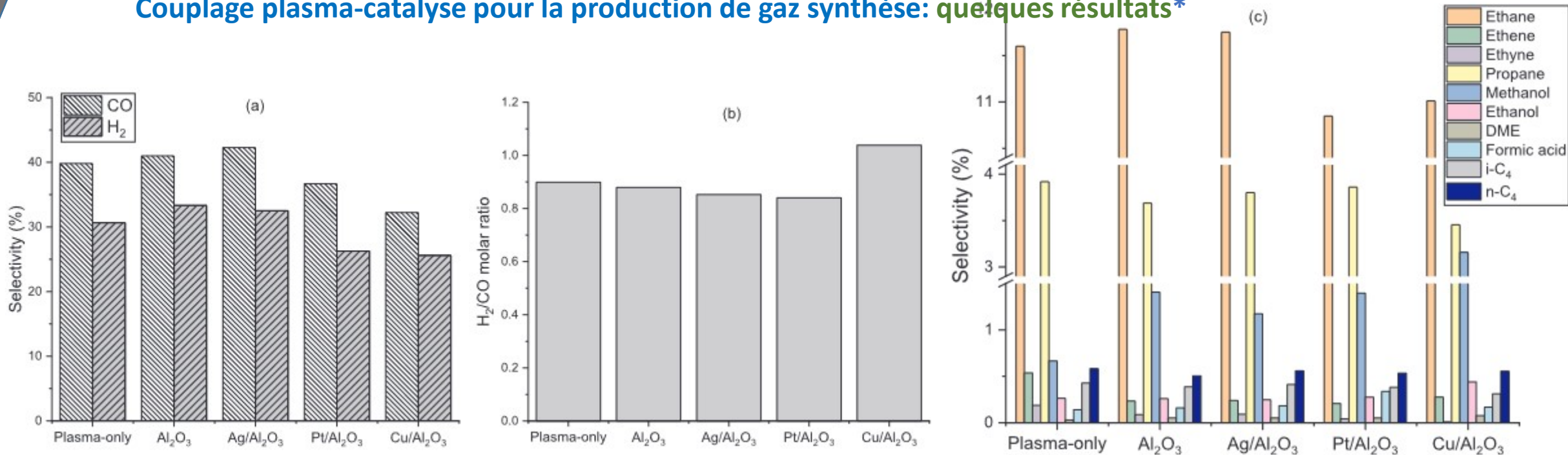


Faible effet positif par ajout de Pt ou Cu à Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comparé au support seul

Conditions expérimentales: réacteur DBD, signal AC, 3kHz, P=45W, pas de diluant

\*Andersen JA, Christensen JM, Ostberg M, Bogaerts A Jensen AD, Chem Eng J, 397, 2020 , 125519

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*



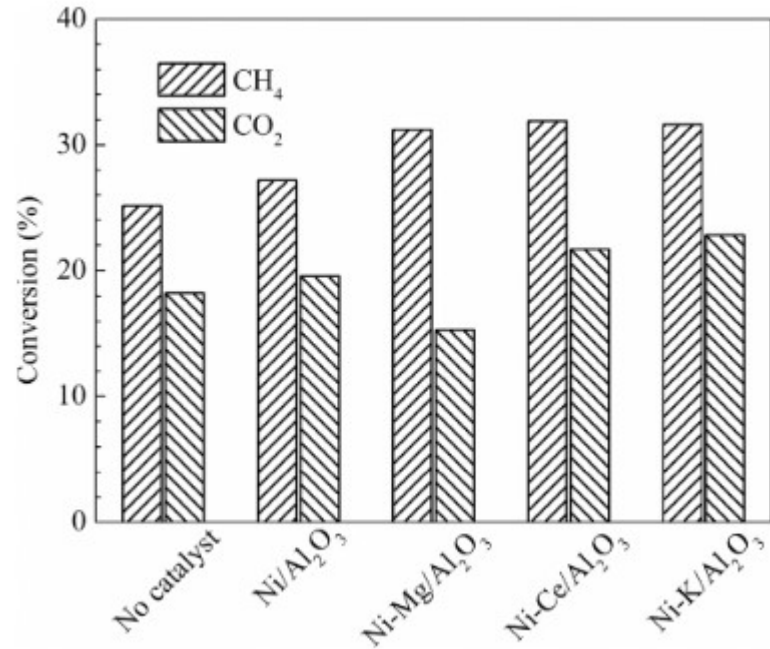
Conditions expérimentales: réacteur DBD, signal AC, 3kHz, P=45W, pas de diluant



**Cu favorise la production de méthanol**

\*Andersen JA, Christensen JM, Ostberg M, Bogaerts A Jensen AD, Chem Eng J, 397, 2020, 125519

### Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*



Faible effet du catalyseur sur la conversion de CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>

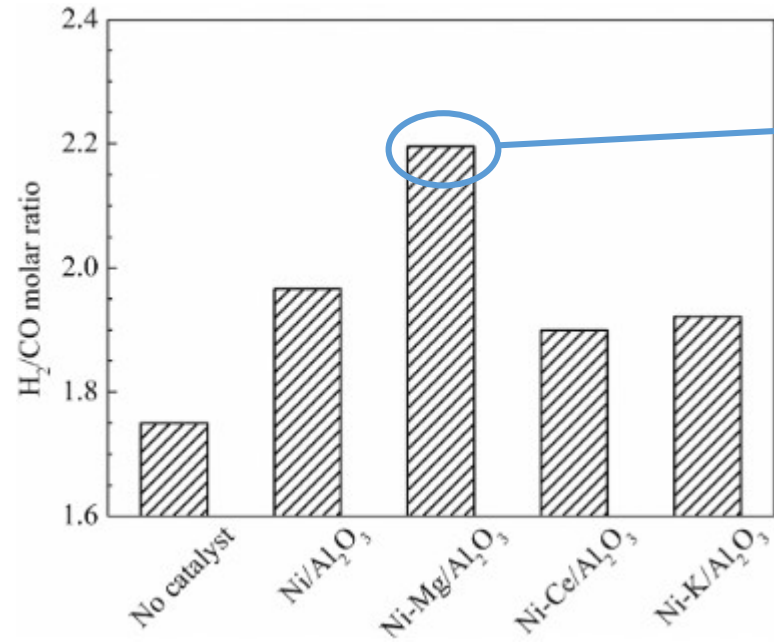
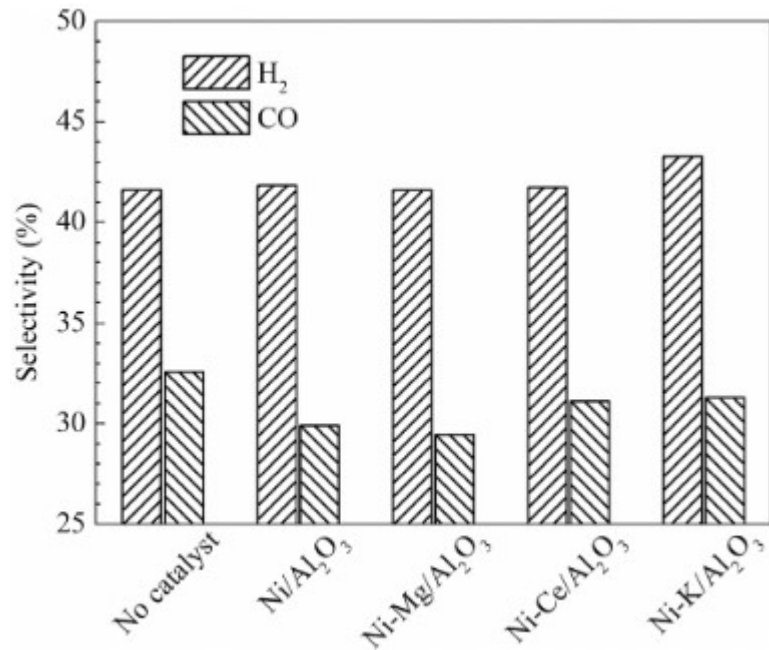


Rôle des sites acides pour l'activation du CO<sub>2</sub>

Conditions expérimentales: réacteur DBD, signal AC, 10kHz, P=30W, pas de diluant

\*Zeng YX, Wang L, Wu CF, Wang JQ, Shen BX, Tu X, Appl. Catal. B: Env, 224, 2018, 469-478

### Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: quelques résultats\*



En raison de la diminution de la conversion du CO<sub>2</sub>

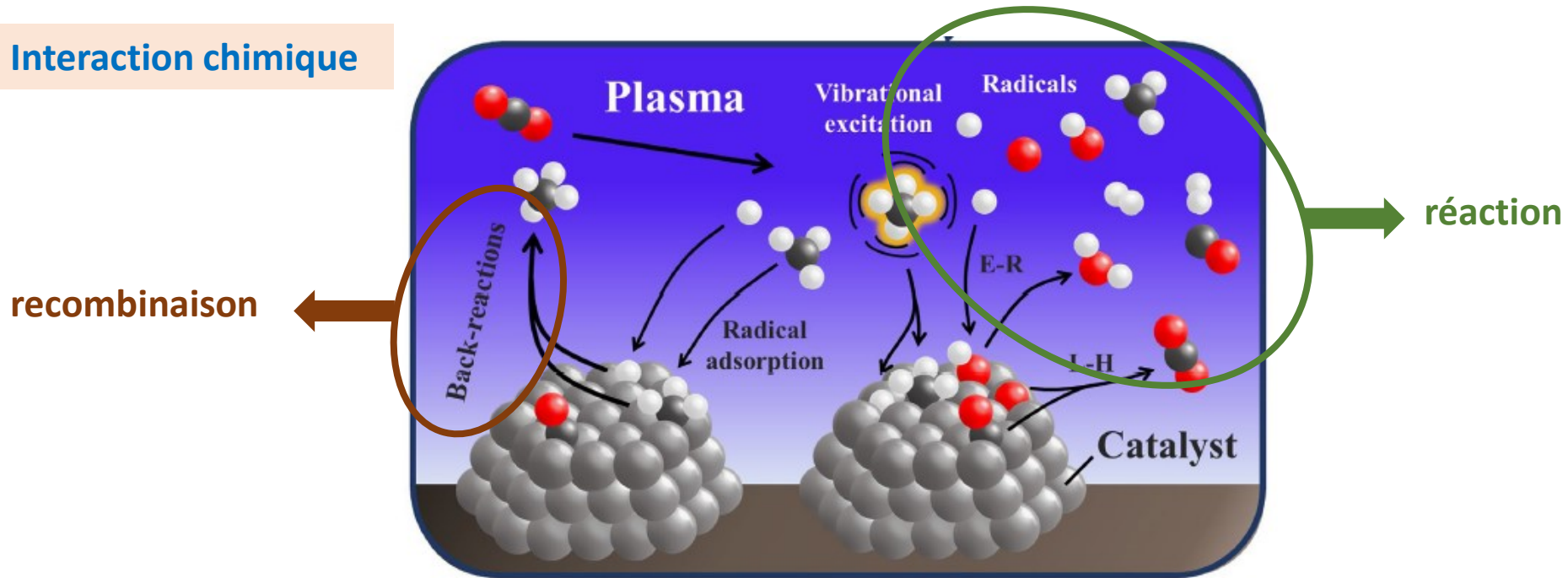
Conditions expérimentales: réacteur DBD, signal AC, 10kHz, P=30W, pas de diluant

\*Zeng YX, Wang L, Wu CF, Wang JQ, Shen BX, Tu X, Appl. Catal. B: Env, 224, 2018, 469-478



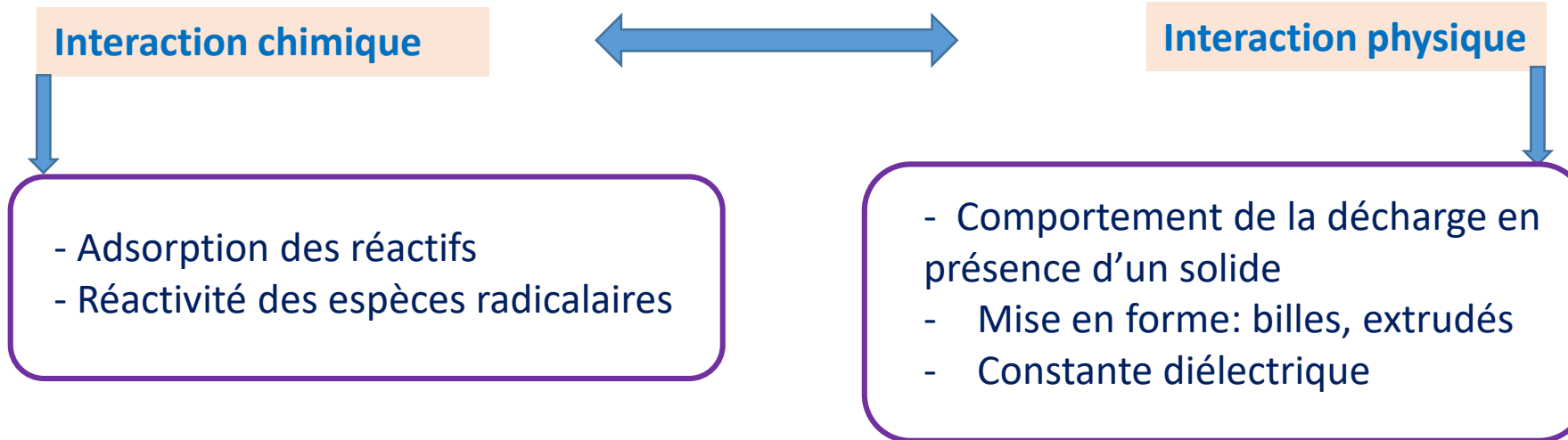
## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: complexité\*

### Interaction chimique

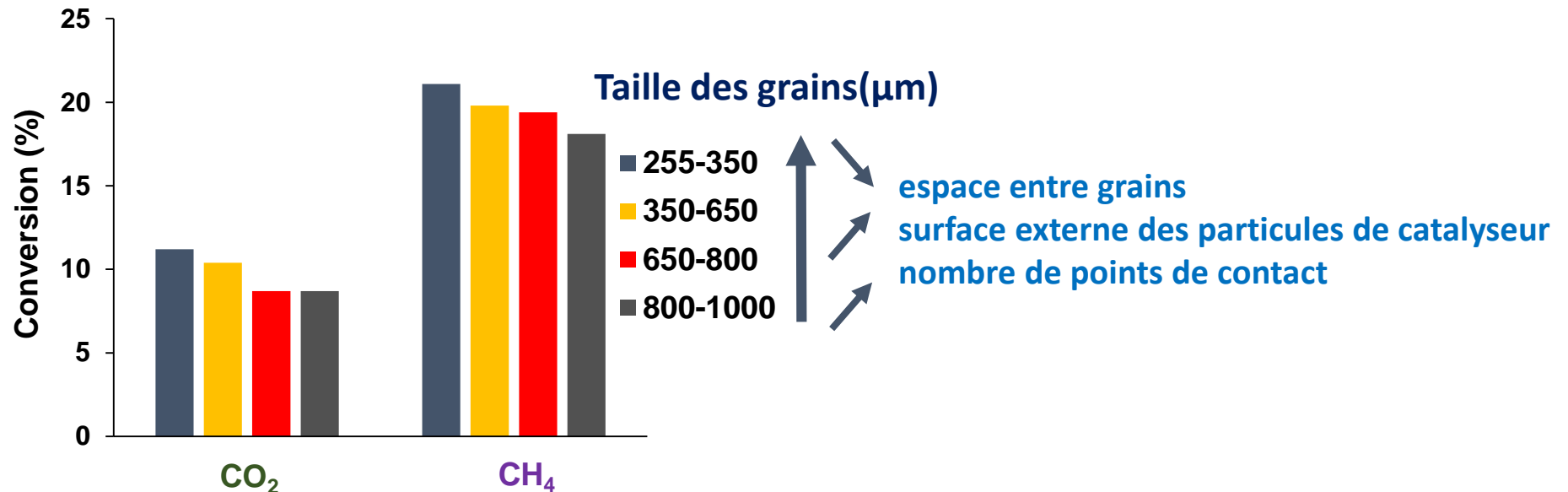


\*Loenders B, Michiels R, Bogaerts A, J. EN. Chem. 85, 2023, 501-533

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: complexité\*



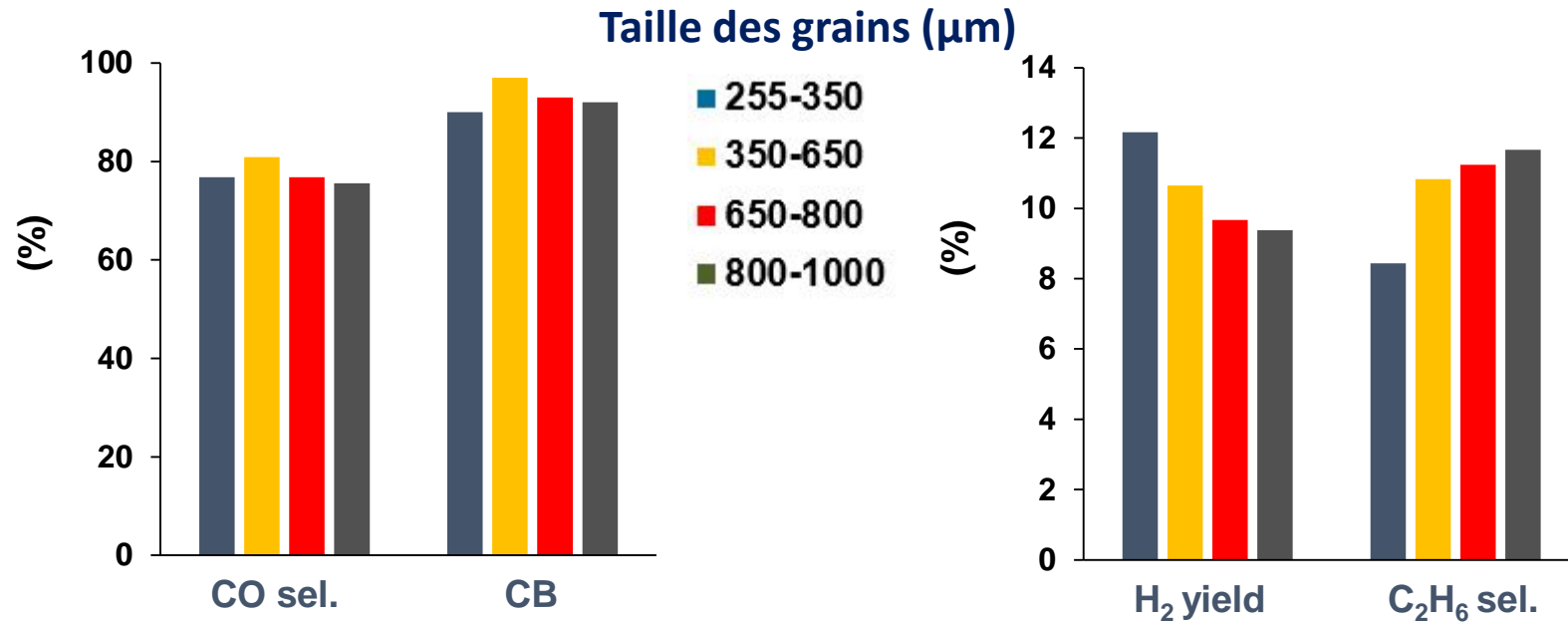
## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet de la taille des grains\*



Conditions expérimentales: DBD, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>= 2/1 He (75%), debit total : 40mL.min<sup>-1</sup>, P= 8W, T amb., CaO calcine à 800°C

\* Yap D, Fourré E, Tatibouët JM, Batiot-Dupeyrat C, Catal. Today, 299, 2018, 263-271

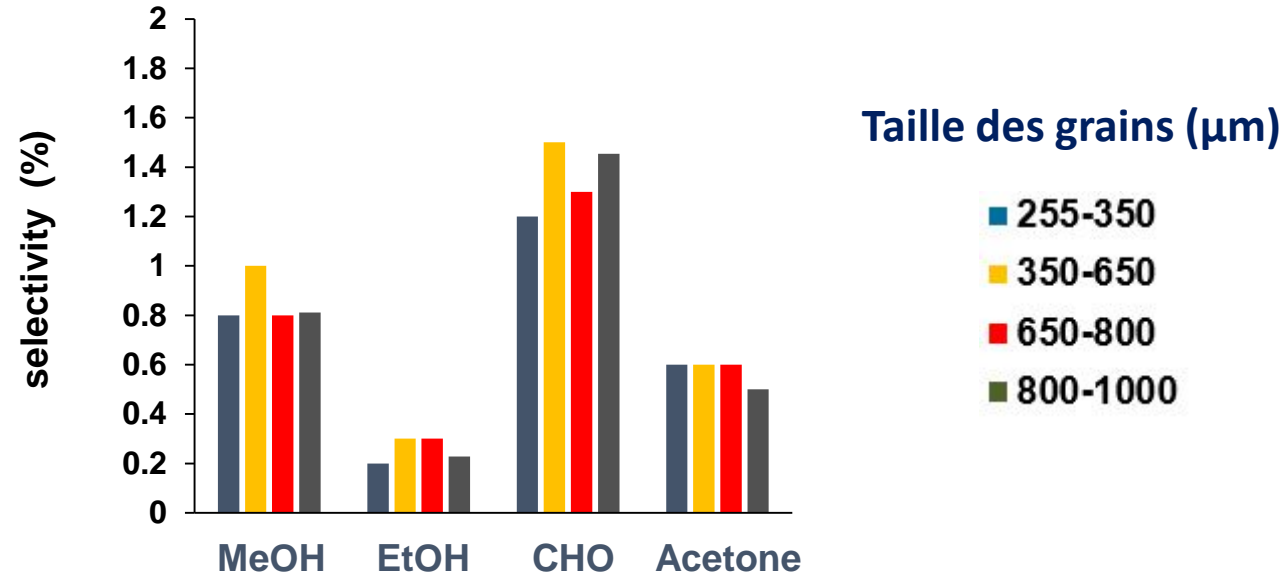
## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet de la taille des grains\*



Conditions expérimentales: DBD,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 2/1$  He (75%), débit total :  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 8\text{W}$ ,  $T = \text{amb.}$ , CaO calciné à  $800^\circ\text{C}$

Formation d'éthane en phase gaz par couplage de  $\text{CH}_3\cdot$

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet de la taille des grains\*

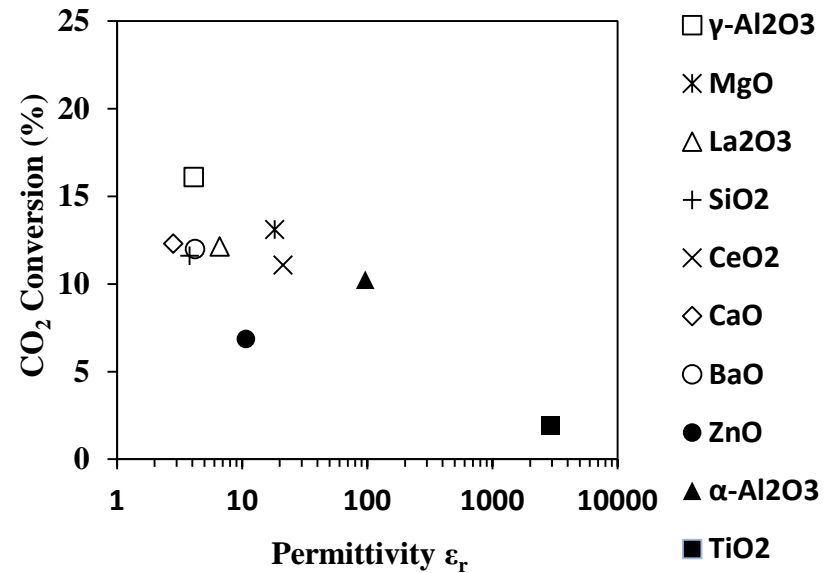
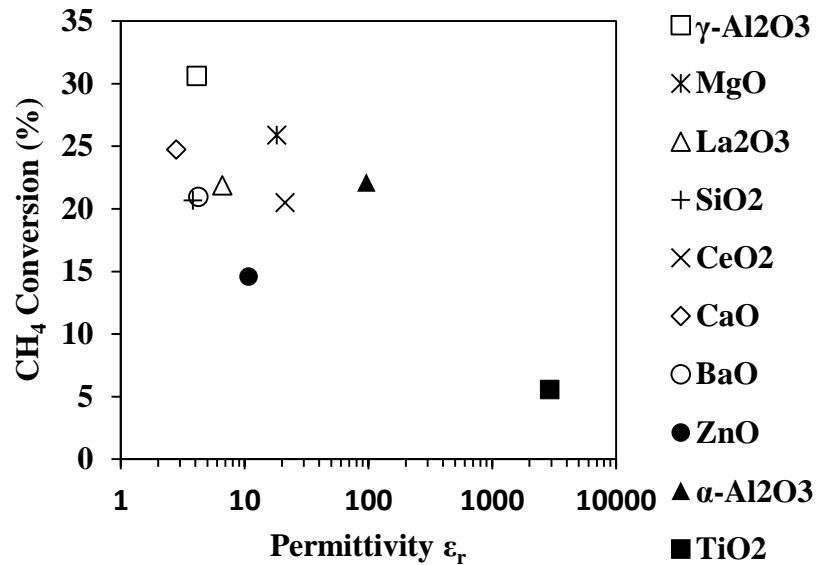


Conditions expérimentales: DBD,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 2/1$  He (75%), débit total :  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 8\text{W}$ ,  $T = \text{amb.}$ , CaO calciné à  $800^\circ\text{C}$

Faible quantité de composés oxygénés

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet des propriétés diélectriques\*

Série d'oxydes commerciaux de différente permittivité : de 4.1 à 2903

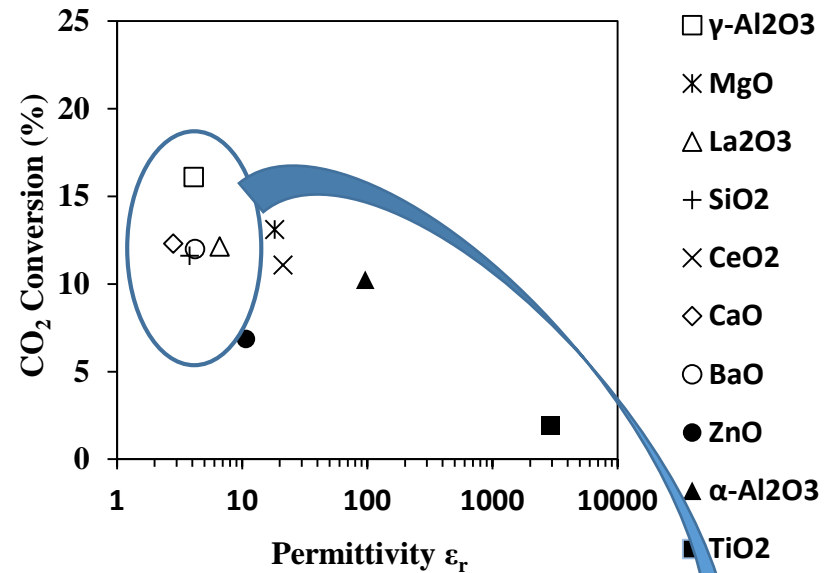
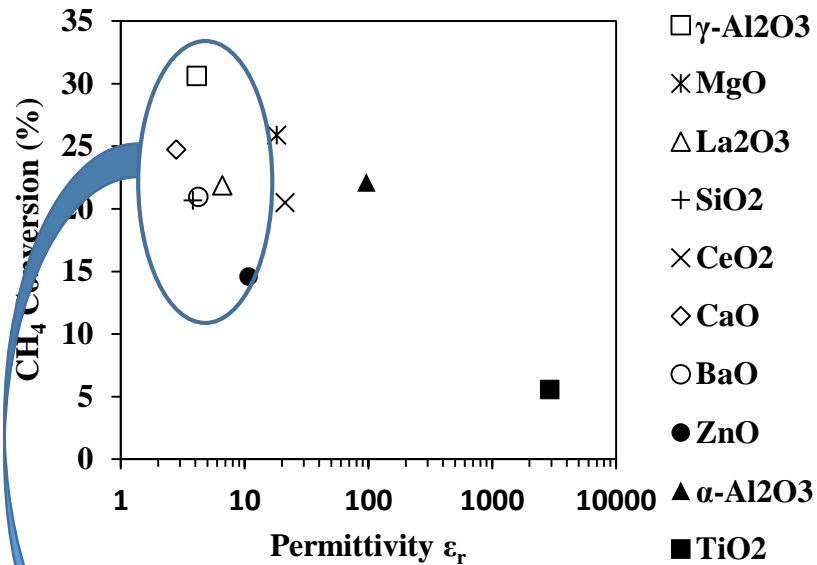


Conditions opératoires: DBD, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 2/1 He (75%), débit total : 40mL.min<sup>-1</sup>, P= 8W, T amb. Taille de grains: 350-650 $\mu$ m

\* Bouchoul N, Fourré E, Duarte A, Tanchoux N, Louste C, Batiot-Dupeyrat C, Catal. Today, 369, 2021, 62-68

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet des propriétés diélectriques\*

Série d'oxydes commerciaux de différente permittivité : de 4.1 à 2903

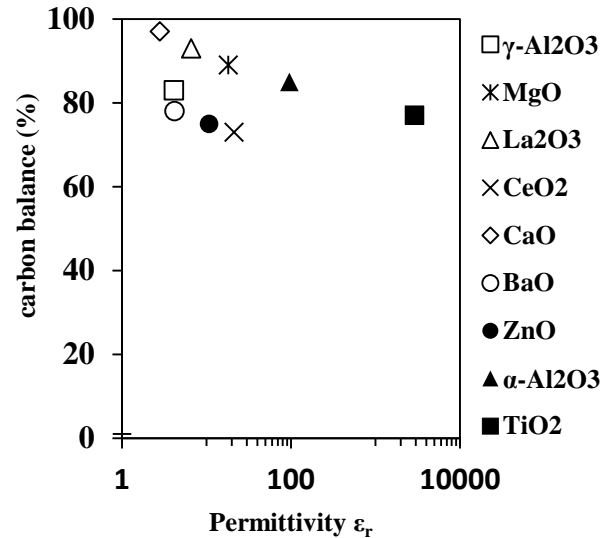
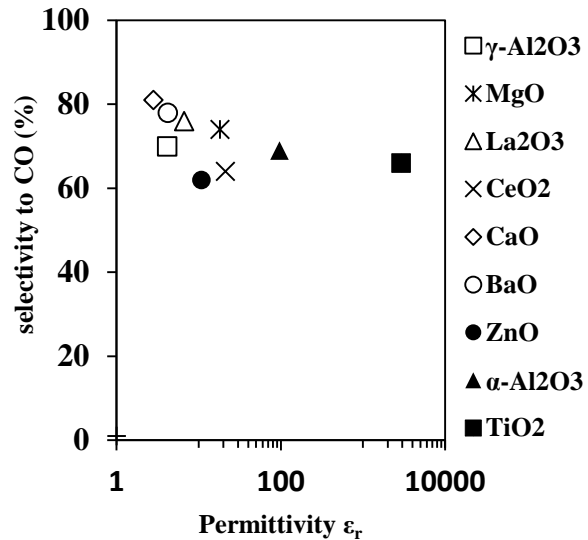


Conditions opératoires: DBD, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>= 2/1 He (75%), débit total : 40mL.min<sup>-1</sup>, P= 8W, T amb. Taille de grains: 350-650 $\mu$ m

**Performances optimales obtenues pour les oxydes à faible constante diélectrique**

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet des propriétés diélectriques\*

Série d'oxydes commerciaux de différente permittivité : de 4.1 à 2903

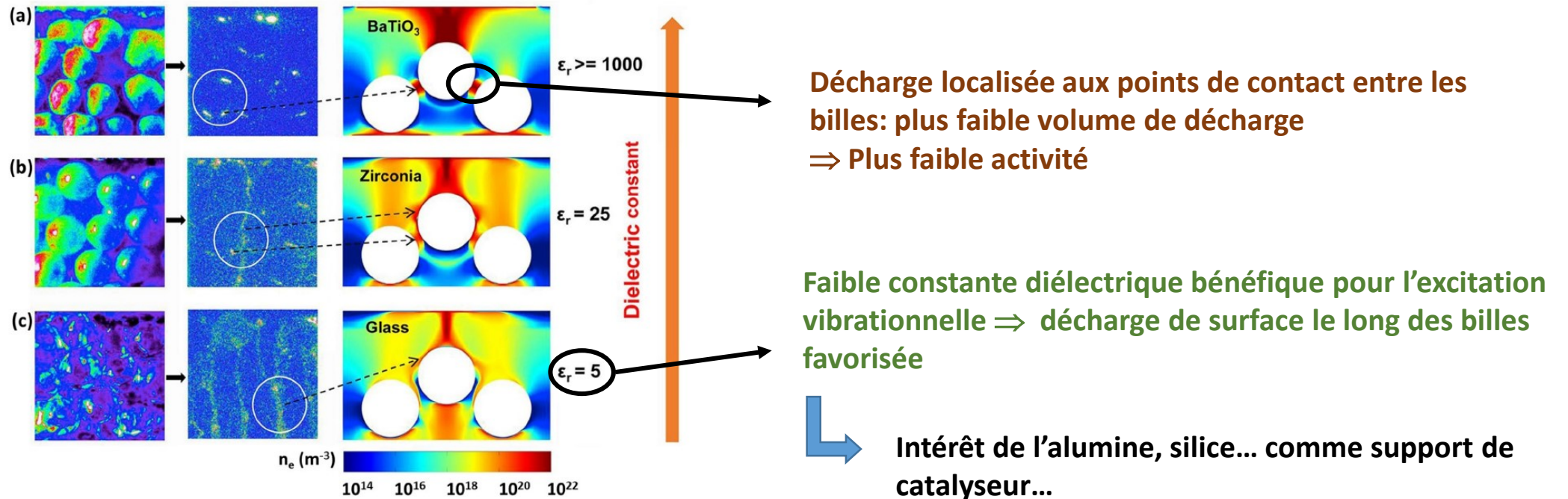


Conditions opératoires: DBD, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>= 2/1 He (75%), débit total : 40mL.min<sup>-1</sup>, P= 8W, T amb. Taille de grains: 350-650 $\mu$ m

La sélectivité en CO dépend légèrement des valeurs des constantes diélectriques



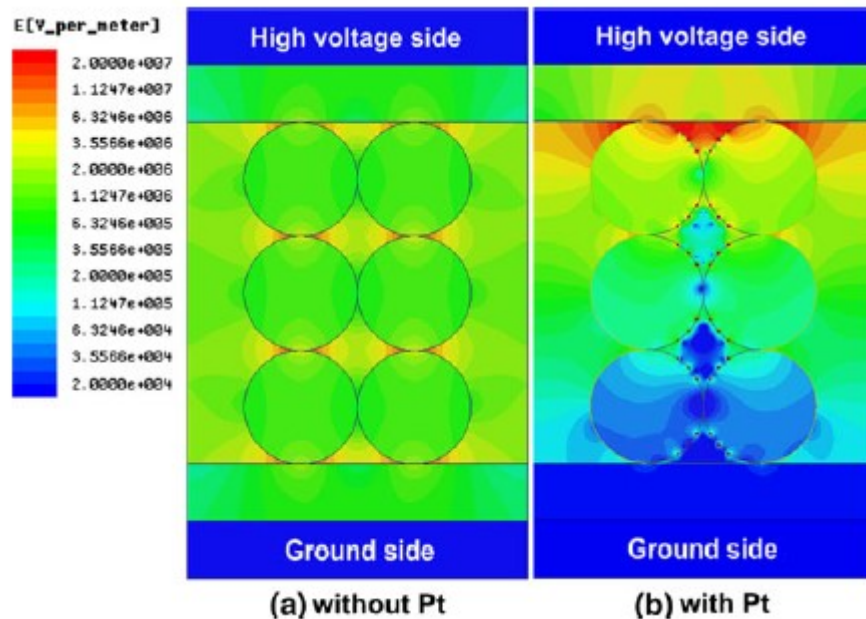
## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet des propriétés diélectriques\*



Caméra ICCD rapide, émission de lumière visible sans décharge (à gauche) avec décharge (au centre) densité électronique calculée par simulation (droite)

\*W. Wang, H.-H. Kim, K. Van Laer, A. Bogaerts, *Chem. Eng. J.* 334 (2018) 2467–2479

## Couplage plasma-catalyse pour la production de gaz synthèse: effet des propriétés diélectriques\*



Pt: matériau conducteur conduisant à un champ électrique plus faible d'où une diminution de la conversion du méthane



Importance d'utiliser un catalyseur non-conducteur

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\epsilon \approx 4$ )

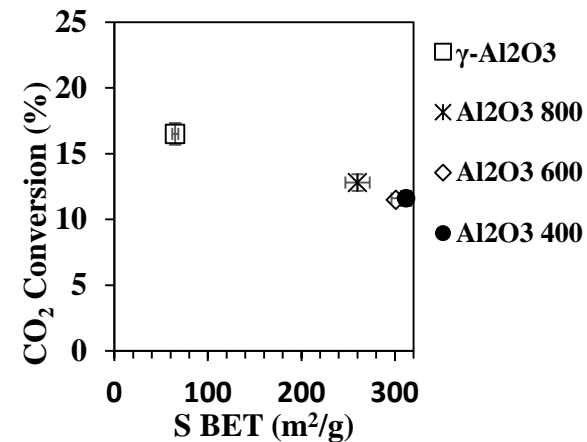
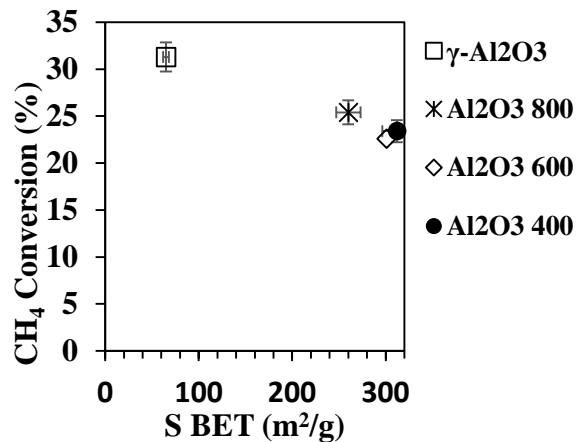
Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse préparée au laboratoire (CTMABr: cetyltriméthylammonium bromide)\*

Alumine ( T calcination)	S BET ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ )	Volume poreux ( $\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$ )	Taille des pores ( $\text{\AA}$ )
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	72	0.2	142
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (400)	313	0.6	61
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (600)	301	0.7	72
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (800)	261	0.3	42

\* Z.Y. Yuan, *Chem. Mater.* 16,2004, 5096-5106

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\epsilon \approx 4$ )

Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse

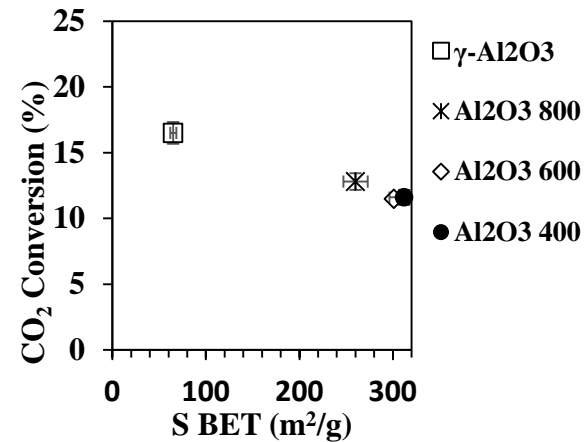
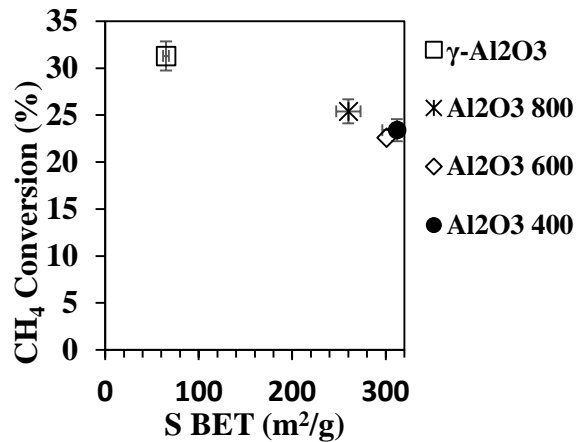


Conditions opératoires: DBD,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 2/1$  He (75%), débit total : 40mL.min<sup>-1</sup>, P= 8W, T amb., taille des grains: 350-650 $\mu\text{m}$

➔ **Conversion maximale pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  commerciale, de plus faible surface spécifique**

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\epsilon \approx 4$ )

Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse



Conditions opératoires: DBD,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 2/1$  He (75%), débit total :  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 8\text{W}$ ,  $T$  amb., taille des grains:  $350\text{-}650\mu\text{m}$

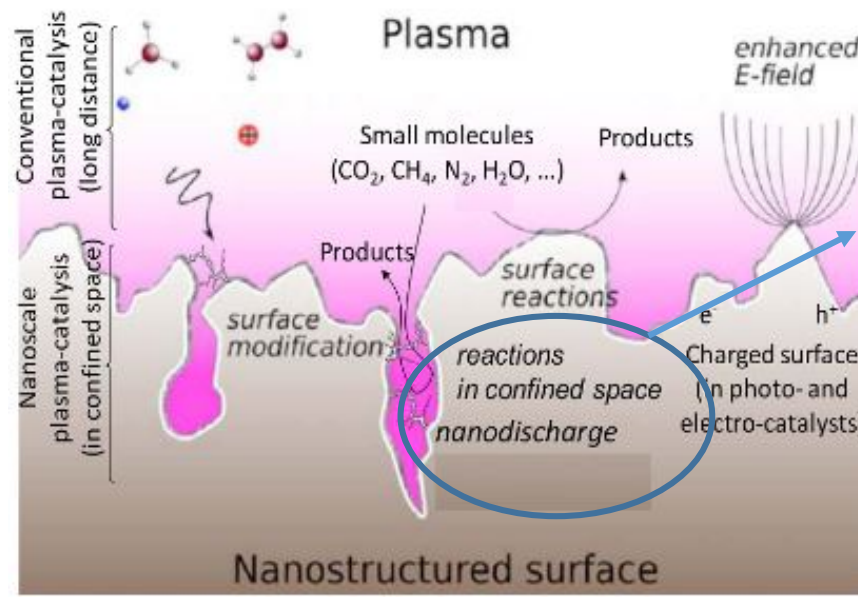
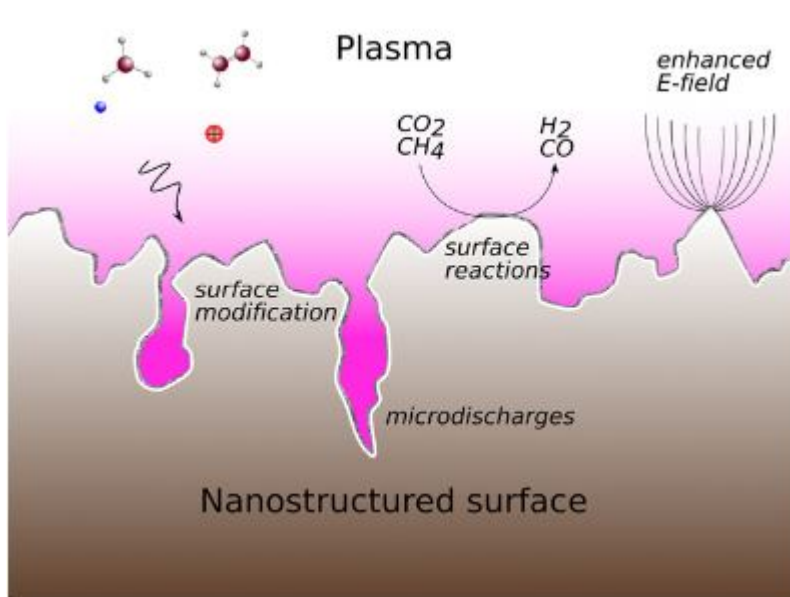
➔ Conversion maximale pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  commerciale, de plus faible surface spécifique

⬇  
Contrairement à la catalyse classique

Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\epsilon \approx 4$ )



Rôle de la porosité?



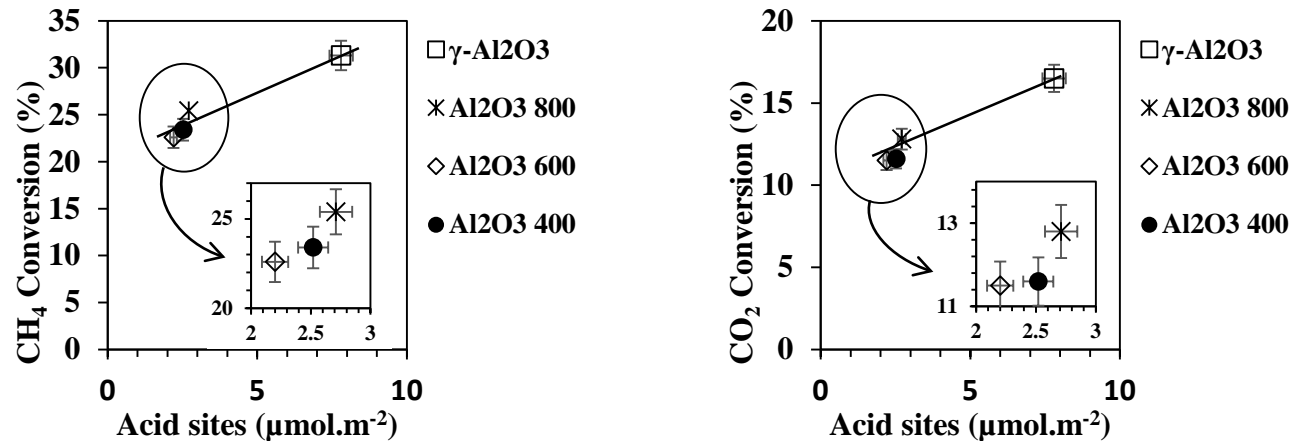
Aucune preuve expérimentale de décharge dans les pores



Micropores?  
Mésopores?  
Macropores?

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\varepsilon \approx 4$ )

Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse



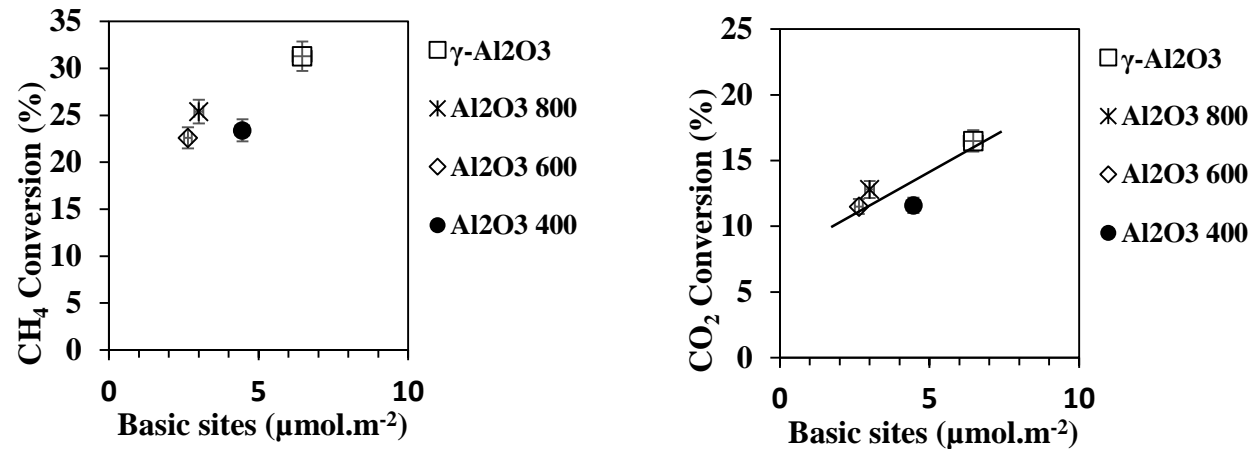
Acidité mesurée par Désorption en Température Programmée d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ -TPD)



**Conversion maximale pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  commerciale, possédant le plus grand nombre de sites acide**

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\epsilon \approx 4$ )

Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse



Basicité mesurée par adsorption de  $\text{CO}_2$



**Conversion maximale pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  commerciale, possédant le plus grand nombre de sites basiques**



## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\epsilon \approx 4$ )

Série de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : commerciale  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , alumine meso-macroporeuse

Oxyde	Rdt $\text{H}_2$ (%)	Selectivité (%)			BC (%)
		CO	$\text{C}_2\text{H}_6$	Oxy.*	
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	12.0	70	8.8	2.3	83
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 400	7.8	71	6.7	0.0	78
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 600	8.4	69	8.8	0.0	77
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 800	7.8	65	6.4	0.0	72

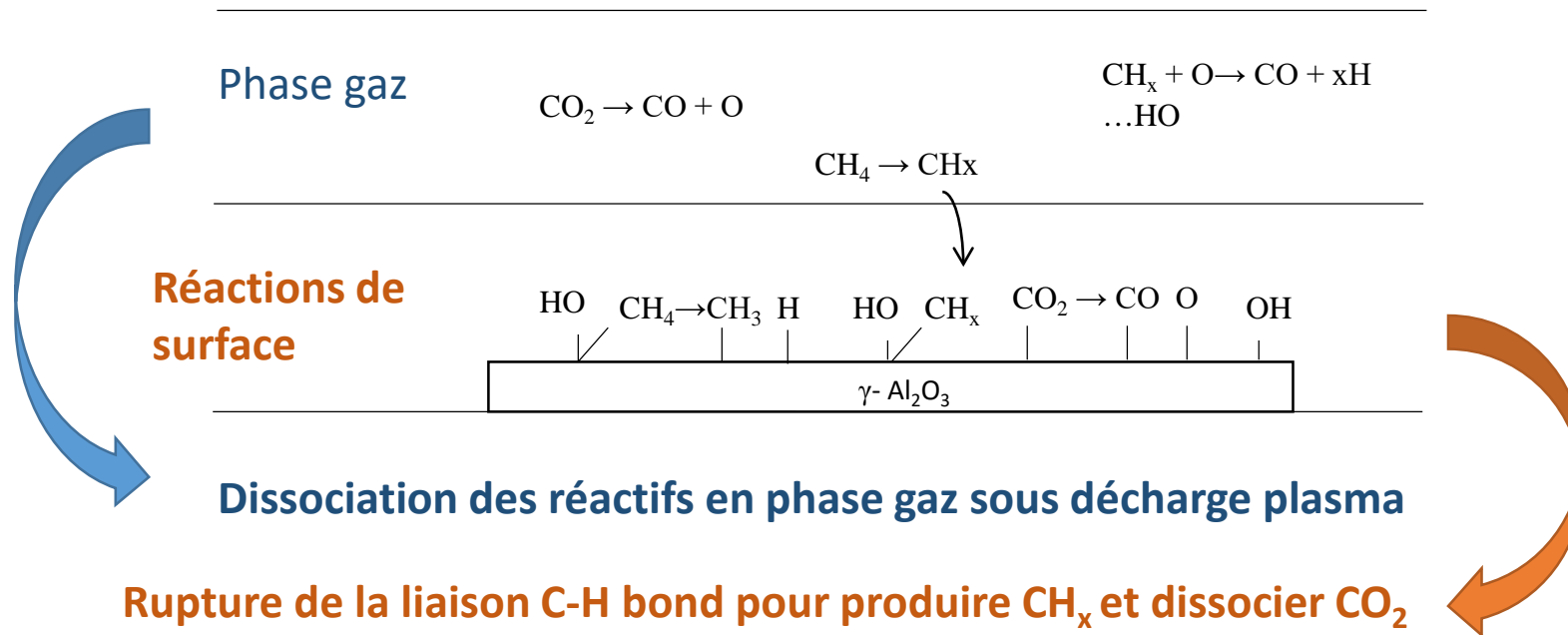
\* oxy. = oxygénés

Conditions opératoires: DBD,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 2/1$  He (75%), débit total :  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 8\text{W}$ ,  $T = \text{amb.}$ , taille des grains:  $350\text{-}650\mu\text{m}$

 **Rendement en  $\text{H}_2$  et bilan carbone maximum avec l'alumine commerciale**

\* Bouchoul N, Touati H, Fourré E, Clacens JM, Batonneau-Gener I, Batiot-Dupeyrat C, *Appl. Catal. B:Env*, 295, 2021, 120262

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: **chemin réactionnel proposé**



Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: **Quel catalyseur?**

## 1) Paramètre physique

**Surface spécifique et taille des pores:** S élevée pas nécessaire, taille des pores **optimale** sous plasma **inconnue (macropores)?**

**Constante diélectrique des matériaux doit être faible**

## 2) Paramètres chimiques

**Basicité** : effet positif pour la conversion de  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$ \*

**Acidité:** effet positif pour la conversion de  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$

\* I. Michielsen, Y. Uytendhouwen, A. Bogaerts, V. Meynen, *Catalysts*. 9, 2019, 51

Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: **Quel catalyseur?**

## 1) Paramètre physique

**Surface spécifique et taille des pores:** S élevée pas nécessaire, taille des pores **optimale** sous plasma **inconnue (macropores)?**

**Constante diélectrique des matériaux doit être faible**

## 2) Paramètres chimiques

**Métaux de transition :** modélisation du couplage plasma-surface\*, effet négatif de Rh, Cu, et Ag pour le DRM sous DBD là où la chimie des **espèces radicalaires** domine.

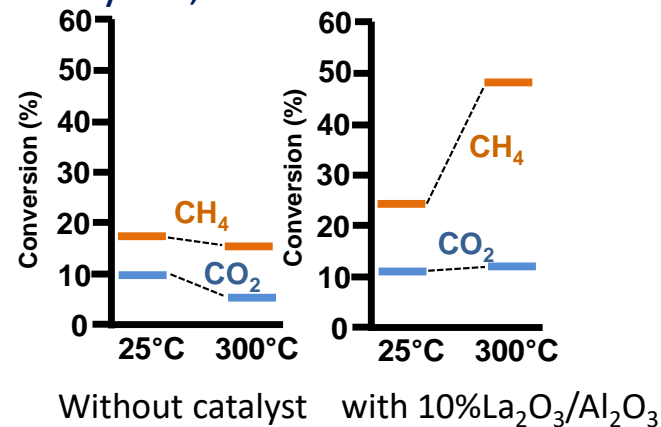
Sur Ag recombinaison de CO et O à la surface, sur Cu recombinaison de CH<sub>3</sub> et H

\*Loenders B, Michiels R, Bogaerts A, J. EN. Chem. 85, 2023, 501-533

## Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: Quel catalyseur?

### 2) Paramètres chimiques

- Combinaison de faibles **températures avec un catalyseur sous plasma pour augmenter** la surface de réaction avec les espèces excitées vibrationnelles
- Utilisation de catalyseurs : oxydes, nitrures...



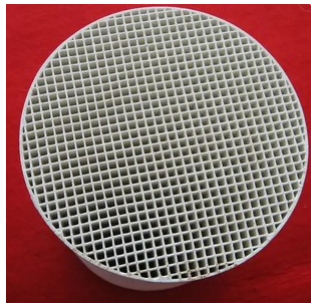
Nouvelles études nécessaires

Couplage plasma-catalyse pour la production de syngas: **Quel catalyseur?**



Optimiser l'interaction gaz-solide: **matériaux mis en forme?**

**Monolithe?**



**Mousses céramiques?**

