

Les nanofibres de carbone

Un support de catalyseur polyvalent

Ricardo Vieira, Benoit Louis et Cuong Pham-Huu

Résumé Cet article présente une vue d'ensemble des derniers résultats obtenus en catalyse avec des composites à base de nanofibres de carbone. Ces matériaux prometteurs ont été utilisés dans divers procédés en tant que support de catalyseur ou comme catalyseur en soi. Quelques applications sont décrites : décomposition de l'hydrazine, synthèse du styrène, oxydation du sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire, ou encore dans les piles à combustible. Certaines perspectives sont également abordées telles la synthèse de Fischer-Tropsch, la combustion du méthane ou la décomposition de l'ammoniaque.

Mots-clés Nanofibres de carbone, nanotubes, support catalytique, matériau composite, catalyse.

Abstract **Carbon nanofibers: a versatile catalyst support**
This article presents an overview of the promising results obtained while using carbon nanofibers based composites as catalyst support for different practical applications: decomposition of hydrazine, styrene synthesis, oxidation of H_2S into elementary sulfur and as fuel-cell electrode. Some promising perspectives of these materials as catalyst support in Fischer-Tropsch synthesis, catalytic combustion of methane and ammonia decomposition are also mentioned.

Keywords Carbon nanofibers, nanotubes, catalyst support, composite material, catalysis.

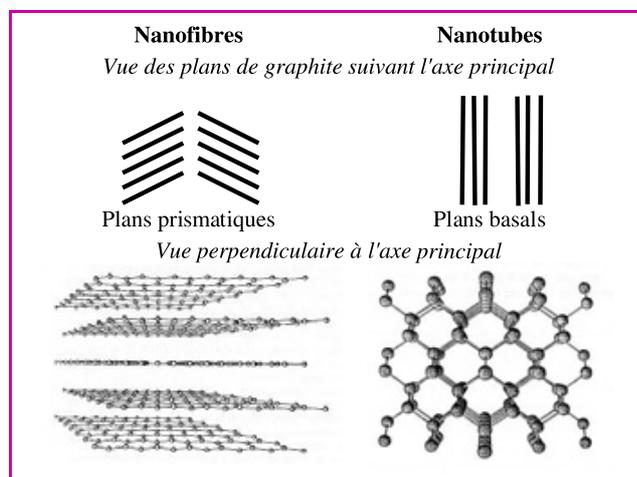
La découverte des nanofibres de carbone (NFC) remonte à l'observation des produits du reformage du gaz naturel dans les années 1920, lorsque les nanofibres étaient considérées comme un sous-produit non désiré. Depuis, de nombreuses études les ont identifiées comme une nouvelle forme du carbone [1-3]. En effet, la découverte des nanotubes de carbone (NTC) par Iijima [4] a permis un regain d'intérêt pour ces nanomatériaux carbonés. Toutefois, deux inconvénients majeurs limitent encore l'application de ces matériaux en catalyse : l'obtention de faibles rendements lors des synthèses par les voies physiques classiques (arc électrique ou ablation laser) et la présence d'une quantité élevée d'impuretés co-produites (carbone amorphe, oignons, nanoparticules). Ces obstacles ont entraîné le

développement d'une voie de synthèse chimique suggérée par Ebbesen et Ajayan [5] consistant à faire réagir, à des températures allant de 400 à 1 000 °C, une source gazeuse de carbone (acétylène, éthylène, éthane, monoxyde de carbone) en présence ou non d'hydrogène, à la surface d'un métal de transition (Co, Fe, Ni) déposé sur des supports tels que l'alumine, la silice ou le carbone. Selon les conditions de synthèse et notamment selon les catalyseurs utilisés, on peut obtenir soit des nanotubes de carbone (structure ouverte avec une exposition exclusive de plans basaux de graphite), soit des nanofibres de carbone (structure conique avec une exposition préférentielle de plans prismatiques de graphite). Contrairement à l'exposition de plans basaux, les plans prismatiques des NFC présentent un grand nombre de sites réactifs permettant une interaction physique ou chimique, favorisant ainsi l'adsorption. De Jong et Geus ont publié une revue établissant le lien entre les différentes voies de synthèse des NFC, leurs mécanismes de croissance et leurs applications en catalyse [6].

De nombreux auteurs ont suggéré l'utilisation des NFC comme support de catalyseur [7-9], grâce notamment à :

- une grande interaction métal/support due à la présence des plans prismatiques à la surface des nanofibres,
- une surface spécifique élevée qui offre un meilleur contact réactif/site actif,
- l'absence de micropores qui permet de réduire les problèmes de diffusion, principalement pour des réactions en phase liquide ou des réactions rapides.

Une utilisation des NFC dans un réacteur de configuration classique (cuve agitée ou lit fixe) demeure limitée, leur taille nanométrique rendant en effet leur manipulation difficile. Elle induit des pertes de charge au sein d'un réacteur à lit fixe, lors du passage de réactifs gazeux. En phase liquide, la récupération de cette poudre extrêmement



Vues des plans de graphite des nanofibres et nanotubes de carbone.

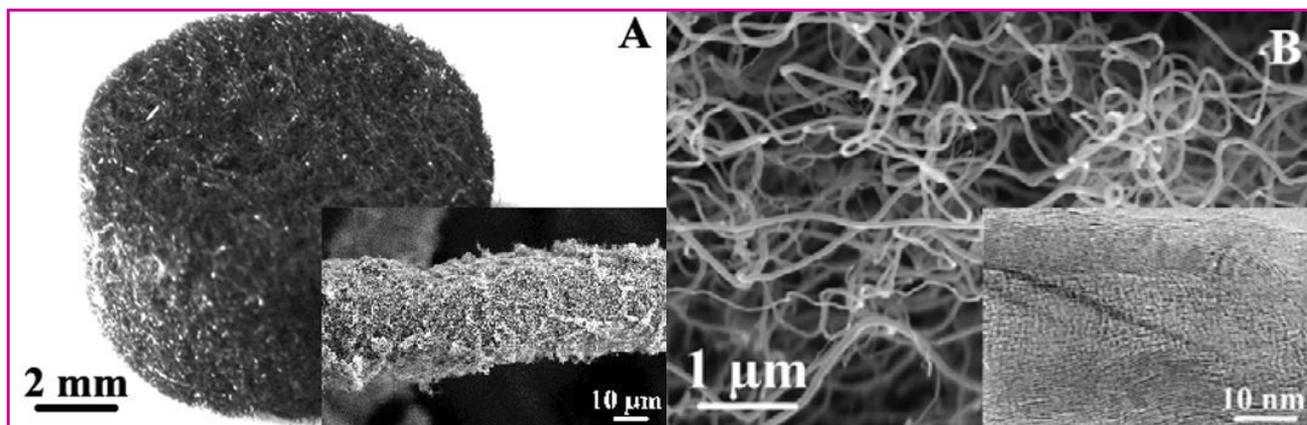


Figure 1 - A : image d'un composite de feutre de carbone ayant sa surface recouverte par des nanofibres de carbone ; B : images MEB/MET des nanofibres de carbone de diamètre homogène avec le détail de sa structure « fishbone » ou « chapeau chinois ».

fine demeure difficile. En outre, la toxicité supposée de ces nanomatériaux serait comparable à celle de l'amiante. Afin de s'affranchir de ces problèmes, le groupe de Ledoux a développé une méthode de préparation des NFC sous forme macroscopique [10]. Cette méthode sera décrite ci-après, ainsi que les différentes applications de ces nouveaux matériaux en catalyse hétérogène.

Synthèse des nanofibres de carbone

Les matériaux composites à base de NFC, employés comme support de catalyseur ou comme catalyseur, sont préparés à partir d'un feutre de graphite ($1 \text{ m}^2/\text{g}$) fourni par Le Carbone Lorraine Co. Ce matériau se compose de microfibrilles de carbone enchevêtrées d'un diamètre moyen de $15 \mu\text{m}$ et de plusieurs centimètres de long. Le feutre de carbone est souple, rendant sa mise en forme adaptable à volonté suivant l'application visée. Un monolithe cylindrique est imprégné avec une solution alcoolique (20 % éthanol/eau) de nitrate de nickel (contenant 1 % de Ni) à température ambiante durant 12 h. Le précurseur est ensuite séché à $100 \text{ }^\circ\text{C}$, puis calciné à $350 \text{ }^\circ\text{C}$ durant 2 h. Après une étape de réduction à $400 \text{ }^\circ\text{C}$, le flux d'hydrogène est remplacé par un flux contenant le mélange réactionnel éthane/hydrogène dans un rapport volumétrique 1:5. Le feutre imprégné est laissé sous ce flux durant 2 h à $700 \text{ }^\circ\text{C}$ afin de permettre la croissance de NFC sur sa surface [11]. Le rendement en masse après 2 h est de 100 %. La figure 1 présente une image du monolithe de départ et des photos obtenues par microscopie électronique à balayage (MEB) montrant un recouvrement global des microfibrilles originelles par un réseau dense de nanofibres de carbone. L'image du microscope électronique à transmission (MET) confirme la structure caractéristique de type « chapeau chinois » des NFC de diamètre homogène proche de 30 nm (figure 1B). De plus, la surface spécifique augmente de $1 \text{ m}^2/\text{g}$ (feutre) à $85 \text{ m}^2/\text{g}$ après synthèse. Le feutre de carbone est utilisé comme matériau précurseur pour sa conductivité thermique, favorisant le transfert de chaleur au sein du lit catalytique. L'absence de pores permet un meilleur transfert de matière à la surface du feutre, aidant ainsi au contact hydrocarbure/site métallique et à la croissance des NFC. Le composite obtenu peut ensuite être imprégné par divers sels métalliques (en fonction de l'application visée) dans une solution

éthanolique, principalement pour favoriser la dispersion du métal malgré l'hydrophobicité du carbone.

Réactions catalytiques utilisant les nanofibres de carbone

Les nanofibres de carbone s'avèrent applicables dans différents procédés catalytiques, en tant que support ou même en tant que catalyseur.

Décomposition catalytique de l'hydrazine

À l'heure actuelle, la majeure partie des satellites en orbite utilise un système de propulsion monoergol liquide pour des opérations de correction d'orbite et de position. Ces systèmes de micropropulsion sont basés sur la décomposition catalytique de l'hydrazine sur un catalyseur $\text{Ir}/\text{Al}_2\text{O}_3$ chargé à 30-40 % en masse d'iridium. Ce catalyseur est constitué principalement de micro- et mésopores pour faciliter l'accès de l'ergol aux sites actifs. Comme alternative à ce catalyseur commercial (Shell, 33-36 % $\text{Ir}/\text{Al}_2\text{O}_3$), on peut utiliser un composite à base de nanofibres de carbone supportées sur feutre de graphite, présentant une surface spécifique de $85 \text{ m}^2/\text{g}$, qui est imprégné par une solution d'acide hexachloroiridique (30 % en masse d'Ir) [12]. L'activité des deux catalyseurs est comparée au cours d'une réaction de décomposition menée dans un micropropulseur de 2 N, placé dans une chambre à haut vide permettant de simuler les conditions de pression de l'espace [13]. La figure 2 présente la pression générée par la décomposition

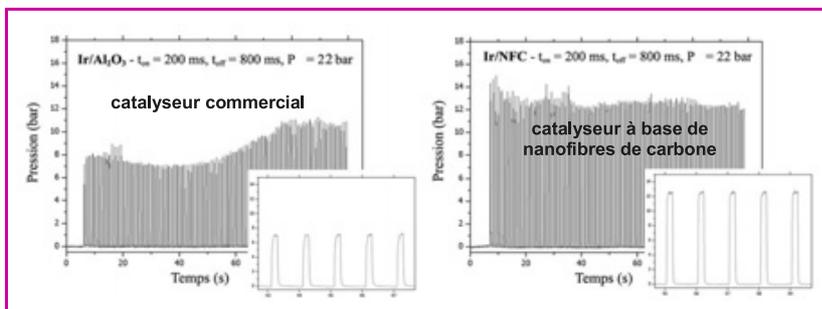


Figure 2 - Comparaison des performances du catalyseur commercial ($\text{Ir}/\text{Al}_2\text{O}_3$) et à base de nanofibres de carbone (Ir/NFC).

Courbes de pression dans la chambre à vide lors de la propulsion, pour une série de 100 tirs (durée de 200 ms) toutes les secondes, à une pression d'injection d'ergol de 22 bars.

catalytique de l'hydrazine : plus cette dernière est élevée, plus la correction de trajectoire du satellite sera aisée. Le catalyseur à base de NFC permet d'atteindre des valeurs de poussée supérieures à celles du catalyseur commercial. Cette meilleure performance peut être attribuée à une surface externe élevée ainsi qu'à la morphologie des NFC qui facilitent la diffusion de l'ergol dans le catalyseur. Il est à noter que ceci est le cas alors que la masse introduite dans le micropropulseur est huit fois inférieure à celle du catalyseur commercial. La surface spécifique des NFC ($85 \text{ m}^2/\text{g}$) est essentiellement externe et n'est donc pas fermée comme dans le cas du catalyseur commercial ($115 \text{ m}^2/\text{g}$). Pour ce type de réaction, les transferts de masse et de chaleur sont rapides ; le réactif n'a pas le temps de pénétrer dans les pores du catalyseur et la réaction a lieu exclusivement sur la surface externe du grain de catalyseur.

Une série de 400 tirs pulsés, s'étendant sur des durées variables (100, 200 et 500 ms) pour deux pressions d'injection d'hydrazine 22 et 5,5 bars, a été réalisée pour simuler les conditions de pression du réservoir d'ergol dans le satellite (en début et fin de mission). Après test, le catalyseur à base de NFC présente une dégradation engendrée par la température de réaction ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) et par la présence d'hydrogène comme co-produit de la décomposition d'hydrazine. Des études sont en cours pour améliorer ce catalyseur qui semble être une excellente alternative au catalyseur commercial.

Synthèse du styrène

La synthèse du styrène est actuellement l'un des procédés industriels les plus importants avec une production mondiale dépassant les 20 millions de tonnes par an. Ce monomère est le précurseur de divers polymères commerciaux très employés, tels les polystyrènes rigides ou expansés, les styrène-butadiène-acrylonitrile, les résines plastiques et les polyesters insaturés. Sa synthèse industrielle s'effectue aujourd'hui par déshydrogénation catalytique de l'éthylbenzène sur oxyde de fer dopé au potassium [14]. Cette réaction endothermique est limitée par l'équilibre thermodynamique, la conversion ne dépassant que rarement les 50 % pour des températures comprises entre 600 et $680 \text{ }^\circ\text{C}$. Le carbone est souvent cité comme catalyseur de cette réaction, principalement les NTC qui possèdent des liaisons de type d'hybridation sp^2 [15]. En

combinant les avantages des nanostructures de carbone avec ceux des macrostructures de composites à base de microfibrilles, Delgado *et al.* ont confirmé que ce matériau est un catalyseur extrêmement actif et sélectif dans la synthèse du styrène à basse température [16]. La figure 3 présente les résultats obtenus entre 375 et $530 \text{ }^\circ\text{C}$ pour des flux de 8 et 30 mL/min . La température et la vitesse spatiale exercent toutes deux une influence importante à la fois sur la conversion de l'éthylbenzène et sur la sélectivité en styrène. L'influence de la vitesse spatiale est plus marquée à basse température. Il s'avère ainsi qu'une opération à $440 \text{ }^\circ\text{C}$ avec un flux de 8 mL/min , permettant d'atteindre un rendement de 45 % et une sélectivité de 81 % (figure 3), entraîne une véritable potentialité d'application dans le procédé industriel. Notamment, ce composite monolithique permet de s'affranchir des problèmes de pertes de charge par rapport aux configurations classiques des réacteurs à lit fixe.

Oxydation du sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire

Durant plusieurs décennies, le procédé Claus a été utilisé pour la production du soufre. Toutefois, ce dernier engendre un rejet de dioxyde de soufre dans l'atmosphère. Avec des législations de plus en plus sévères sur les rejets de gaz toxiques, le procédé Claus a dû être modifié en ajoutant une étape de traitement des effluents gazeux et il est désormais composé de deux étapes en série, l'une thermique, l'autre catalytique. La cinétique de la réaction étant limitée par un équilibre thermodynamique, l'étape catalytique composée de deux réacteurs permet de récupérer théoriquement 90 à 96 % du soufre provenant du dioxyde de soufre gazeux SO_2 , acide. Un pilote composé de trois réacteurs catalytiques permet d'en collecter 98 % [17]. Toutefois, l'utilisation d'un excès d'oxygène dans un processus Claus à une température de réaction inférieure à la température du point de rosée du soufre ($100\text{-}120 \text{ }^\circ\text{C}$), ainsi que l'oxydation directe du sulfure d'hydrogène, représentent une alternative sérieuse en vue d'augmenter la capacité de production [18].

Ledoux *et al.* [19] ont montré qu'un catalyseur de type Ni déposé sur carbure de silicium ($\beta\text{-SiC}$) permet d'obtenir une haute sélectivité ainsi qu'une remarquable activité pour l'oxydation du sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire à basse température ($60 \text{ }^\circ\text{C}$). Cette haute sélectivité est due à l'absence de microporosité du support et au caractère hétérogène (hydrophile et hydrophobe) de la surface du support, expliquant le mode particulier de précipitation du soufre. Ces auteurs ont observé une désactivation du catalyseur en fonction du temps, due au recouvrement partiel des sites actifs par le soufre solide produit. Récemment, Nhut *et al.* ont employé un composite à base de NFC comme support de la phase active NiS_2 dans la réaction d'oxydation du sulfure d'hydrogène [20]. Ce catalyseur présente une activité et une stabilité catalytiques plus importantes que le catalyseur $\text{NiS}_2/\beta\text{-SiC}$ et permet une plus grande capacité de chargement en soufre solide (figure 4A). Une explication plausible est qu'une surface externe élevée des NFC favorise un meilleur contact entre les réactifs et les sites actifs. La grande capacité de chargement en soufre a été attribuée au volume élevé de nanofibrilles de carbone « utiles », ainsi qu'au mode de transport des particules de soufre par le film d'eau vers les zones de dépôt hydrophobes, laissant ainsi libre l'accès aux sites actifs (figure 4B).

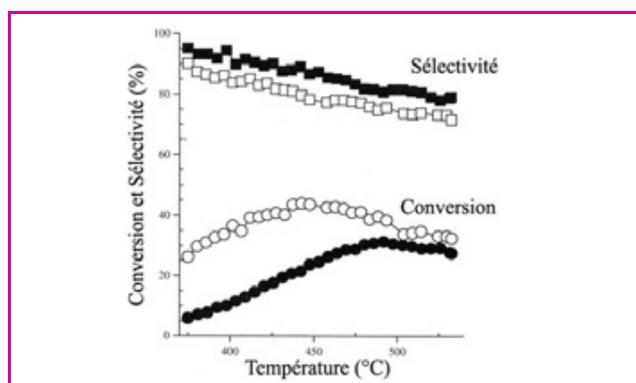


Figure 3 - Conversion de l'éthylbenzène (O, ●) et sélectivité en styrène (□, ■) sur des composites à base de nanofibrilles de carbone en fonction de la température de réaction en utilisant un flux réactionnel de 8 mL/min (O, □) et de 30 mL/min (●, ■).

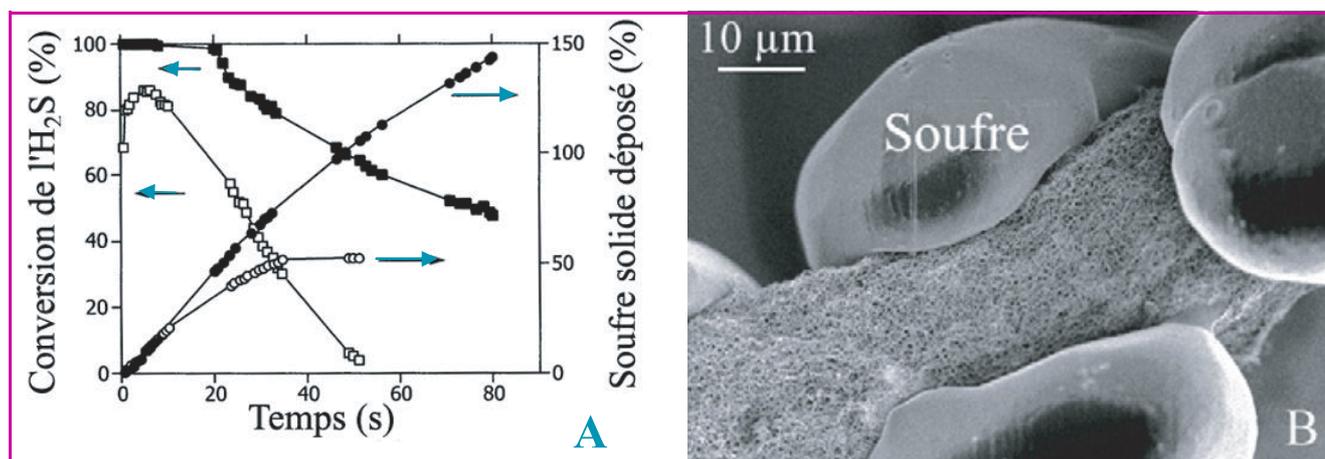


Figure 4 - A : évolution de l'activité de la désulfuration en fonction du temps des catalyseurs : a) 5 % NiS₂ supportés sur grains de SiC (○, □) et b) composite à base de nanofibres de carbone (●, ■). B : image MEB illustrant le mode de chargement du soufre sur les nanofibres de carbone.

*Conditions expérimentales : 2 500 ppm de H₂S, 4 000 ppm de O₂, 30 % vol. de H₂O, WHSV = 0,03 h⁻¹, T = 60 °C.

Électrodes pour piles à combustible

Les piles à combustible opérant à basse température et utilisant une membrane polymère (PEM) comme électrolyte sont très prometteuses comme alternative aux moteurs à combustion. En effet, elles sont robustes et de mise en œuvre facile, et possèdent le double avantage d'une haute efficacité et d'une émission réduite de polluants. Les cellules sont composées d'une membrane échangeuse de protons séparant deux électrodes où diffusent les gaz. L'activité catalytique produite et la conductivité électrique doivent être élevées à la surface de l'électrode [21]. Les NTC présentent à la fois les propriétés électroniques, mécaniques, thermiques et d'adsorption requises pour être utilisés comme un matériau support d'électrode dans une cellule PEM [22]. Récemment, Gangeri *et al.* ont comparé les courbes de polarisation de systèmes membrane/électrodes (« membrane electrode assembly », MEA) préparés par dépôt de platine sur différents composites à base de NFC (feutre et textile de carbone) avec celles du catalyseur commercial MEA (E-tek Inc.) [23]. Ces auteurs ont observé que la perte par activation et concentration de polarisation était réduite pour les MEA contenant 20 % Pt/NFC/feutre et 5 % Pt/NFC/textile par rapport au catalyseur commercial (2 % Pt/E-tek Elat). Ils ont conclu que les composites à base de NFC montrent une meilleure performance électrocatalytique que celle de l'électrode commerciale, rendant viable une future application dans un procédé industriel.

Perspectives

Réaction de Fischer-Tropsch

De nombreux efforts visent à optimiser la synthèse de Fischer-Tropsch, en tenant compte à la fois des aspects techniques et économiques. Généralement, les recherches butent sur les problèmes de diffusion engendrés par la structure du catalyseur. Pour pallier ces problèmes, un catalyseur monolithique à base de NFC sur lequel a été déposé du cobalt est actuellement en phase de développement au Laboratoire de Combustion et

Propulsion, au Brésil. Ces matériaux présentent un réel potentiel comme support catalytique, avec des transferts de masse et de chaleur améliorés.

Combustion catalytique du méthane

La combustion catalytique du méthane est étudiée à des fins climatiques, en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Un catalyseur à base de palladium déposé sur de l'oxyde de zirconium s'avère le plus actif, mais sa stabilité fait défaut. L'adsorption de l'eau sur les sites actifs est l'une des principales causes de la perte d'activité du catalyseur durant cette réaction. Ainsi, une étude de l'application de composites à base de NFC, due à leur caractère hydrophobe, comme support catalytique du palladium dans l'oxydation du méthane serait prometteuse.

Décomposition de l'ammoniaque

La décomposition catalytique de l'ammoniaque peut s'avérer une méthode alternative pour produire du dihydrogène pur, exempt de monoxyde de carbone, en vue d'application dans une pile à combustible. Yin *et al.* [24] ont étudié l'influence de différents supports sur l'activité du ruthénium dans cette réaction et ils ont observé l'ordre d'activité catalytique suivant : Ru/NTC > Ru/MgO > Ru/TiO₂ > Ru/Al₂O₃ > Ru/ZrO₂ > Ru/charbon actif. Lors d'études préliminaires, notre groupe de recherche a comparé les performances des NTC en poudre avec celle des NFC présentes sous forme macroscopique comme support du ruthénium dans la réaction de décomposition de l'ammoniaque. Les meilleurs résultats sont observés pour des catalyseurs à base de NFC. Ceci est principalement dû à la structure ouverte du composite qui facilite une meilleure diffusion, et ainsi un contact amélioré entre les réactifs et les sites actifs.

Conclusion

Les composites à base de nanofibres de carbone se montrent efficaces comme support de catalyseur pour des

réactions en phase liquide ou gazeuse, en permettant notamment de meilleurs transferts de masse et de chaleur. Les principaux facteurs responsables de ces résultats sont :

- une grande surface externe et une morphologie des NFC qui facilitent la diffusion des réactifs ;
- une haute conductivité thermique du support qui permet une bonne évacuation de la chaleur produite, évitant la formation de points chauds. En comparaison avec leurs homologues nanotubes, les nanofibres de carbone ont l'avantage de posséder à leur surface des plans prismatiques très réactifs, comportant de nombreux sites d'ancrage ou d'adsorption physique ou chimique.

Références

- [1] Robertson S.D., Graphite formation from low temperature pyrolysis of methane over some transition metal surfaces, *Nature*, **1969**, 221, p. 1044.
- [2] Baker R.T.K., Barber M.A., Harris P.S., Faetes F.S., Waite R.J., Nucleation and growth of carbon deposits from the nickel catalyzed decomposition of acetylene, *J. Catal.*, **1972**, 26, p. 51.
- [3] Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., Smalley R.E., C₆₀: Buckminsterfullerene, *Nature*, **1985**, 318, p. 162.
- [4] Iijima S., Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, **1991**, 354, p. 56.
- [5] Ebbesen T.W., Ajayan P.M., Large-scale synthesis of carbon nanotubes, *Nature*, **1992**, 358, p. 220.
- [6] De Jong K.P., Geus J.W., Carbon nanofibers: catalytic synthesis and applications, *Catal. Rev. Sci. Eng.*, **2000**, 42, p. 481.
- [7] Rodriguez N.M., Kim M.S., Baker R.T.K., Carbon nanofibers: a unique catalyst support medium, *J. Phys. Chem.*, **1994**, 98, p. 108.
- [8] Salman F., Park C., Baker R.T.K., Hydrogenation of crotonaldehyde over graphite nanofiber supported nickel, *Catal. Today*, **1999**, 53, p. 385.
- [9] Pham-Huu C., Keller N., Charbonnière R., Ziessel R., Ledoux M.J., Carbon nanofiber supported palladium catalyst for liquid-phase reactions. An active and selective catalyst for hydrogenation of CC bonds, *Chem. Commun.*, **2000**, 19, p. 1871.
- [10] Pham-Huu C., Vieira R., Charbonnière L., Ziessel R., Ledoux M.J., Composites based on carbon nanotubes deposited on an activated support for application in catalysis, Brevet français 0115178, **2001**.
- [11] Vieira R., Ledoux M.J., Pham-Huu C., Synthesis and characterisation of carbon nanofibres with macroscopic shaping formed by catalytic decomposition of C₂H₆/H₂ over nickel catalyst, *Appl. Catal. A*, **2004**, 274, p. 1.
- [12] Vieira R., Pham-Huu C., Keller N., Ledoux M.J., New carbon nanofiber/graphite felt composite for use as a catalyst support for hydrazine catalytic decomposition, *Chem. Commun.*, **2002**, 9, p. 954.
- [13] Vieira R., Bastos-Netto D., Ledoux M.J., Pham-Huu C., Hydrazine decomposition over iridium supported on carbon nanofibers composite for space applications: near actual flight conditions tests, *Appl. Catal. A*, **2005**, 279, p. 35.
- [14] James D.H., Castor W.M., *Styrene in Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, v.A25, John Wiley & Sons, New York, **1994**.
- [15] Guerrero-Ruiz A., Rodriguez-Ramos I., Oxydehydrogenation of ethylbenzene to styrene catalyzed by graphites and activated carbons, *Carbon*, **1994**, 32, p. 23.
- [16] Delgado J.J., Vieira R., Rebmann G., Su D.S., Keller N., Ledoux M.J., Schlögl R., Supported carbon nanofibers for the fixed-bed synthesis of styrene, *Carbon*, **2006**, 44, p. 809.
- [17] Wieckowska J., Catalytic and adsorptive desulphurization of gases, *Catal. Today*, **1995**, 24, p. 405.
- [18] Savin S., Nougayrède J.B., Willing W., Bandel G., New developments in sulfur recovery process technology, *Int. J. Hydrocarbon Eng.*, **1998**, 3, p. 54.
- [19] Ledoux M.J., Pham-Huu C., Keller N., Nougayrède J.B., Svin-Poncet S., Bousquet J., Selective oxidation of H₂S in Claus tail-gas over SiC supported NiS₂ catalyst, *J. Catal. Today*, **2000**, 61, p. 157.
- [20] Nhut J.M., Vieira R., Keller N., Pham-Huu C., Boll W., Ledoux M.J., Carbon composites based catalysts: new perspectives for the low temperature H₂S removal, *Stud. Surf. Sci. Catal.*, **2002**, 143, p. 983.
- [21] Wendt H., Gotz M., Linardi M., Fuel cell technology, *Quim. Nova*, **2000**, 23, p. 538.
- [22] Serp P., Corrias M., Kalck P., Carbon nanotubes and nanofibers in catalysis, *Appl. Catal. A*, **2003**, 253, p. 337.
- [23] Gangeri M., Centi G., La Malfa A., Perathoner S., Vieira R., Pham-Huu C., Ledoux M.J., Electrocatalytic performances of nanostructured platinum-carbon materials, *Catal. Today*, **2005**, 102, p. 50.
- [24] Yin S.F., Xu B.Q., Ng C.F., Au C.T., Nano Ru/CNTs: a highly active and stable catalyst for the generation of CO_x-free hydrogen in ammonia decomposition, *Appl. Catal. B*, **2004**, 48, p. 237.



R. Vieira



B. Louis



C. Pham-Huu

Ricardo Vieira

est chercheur à l'Institut National de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista, Brésil*.

Benoît Louis est chargé de recherches CNRS et **Cuong Pham-Huu**, directeur de recherches CNRS, au Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse (LMSPC), Strasbourg**.

* Laboratório de Combustão e Propulsão, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rodovia Presidente Dutra km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista - SP, Brésil.

Courriel : ricardo.vieira@lcp.inpe.br

** LMSPC, UMR 7515 CNRS, ECPM, Université Louis Pasteur, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 02
Courriel : blouis@chimie.u-strasbg.fr

[Le CNRS](#) | [Annuaire](#) | [Mots-Clefs CNRS](#) | [Autres sites](#)

CNRS Formation Entreprises

du 29 juin au 3 juillet 2009 à TOULOUSE (31) **Techniques chromatographiques HPLC**

du 14 au 18 septembre 2009 à TOULOUSE (31) **Formation avancée en RMN pour la chimie et la biochimie**

du 21 au 24 septembre 2009 à LE MANS (72) **Initiation à la RMN du solide haute résolution**

du 28 septembre au 2 octobre 2009 à SOPHIA ANTIPOLIS (06) **Les polymères naturels au service du développement durable (Nouveau)**

du 1 au 2 octobre 2009 à GIF SUR YVETTE (91) **Le risque chimique : connaissance et prévention niveau I**

du 19 au 23 octobre 2009 à PARIS (75) **Couplages Chromatographie Liquide - Spectrométrie de Masse et Electrophorèse Capillaire - Spectrométrie de Masse**

Stage à la carte. Nous consulter. à SOLAIZE (69) **Initiation aux techniques d'analyse inorganique et organique. Prise en charge d'un problème**

Stage à la carte. Nous consulter. à SOLAIZE (69) **Spectroscopie d'absorption dans l'infrarouge et couplages TGA-IR, microscopie/IR**

Centre de ressources en formation

Un problème de formation particulier ?
N'hésitez pas à nous consulter :
- par mail à ressources@cf.cnrs-gif.fr
- par téléphone au 01.69.82.44.96

Catalogue, programmes et inscriptions : CNRS Formation Entreprises Avenue de la Terrasse Bât. 31 91198 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 69 82 44 55 - Fax : 01 69 82 44 89 <http://cnrsformation.cnrs-gif.fr>