

Sommaire

- Lettre à nos membres	88
- Notre prochaine expo d'octobre 2018	89
- Clap ... Act'sciences à Charleroi : petits et grands étaient au rendez vous !	91
- Les nanotubes de carbone, du laboratoire universitaire au procédé industriel (J-P Pirard)	93
- Les nanotubes pour les nuls (R. Cahay, B. Monfort et F. Remy)	106
- Deux clips sur le carbone à l'attention des élèves et des professeurs (R. Cahay, B. Monfort, F. Remy et R. Savo)	109
- Un "divertimento" simple et instructif : le carré chimique ! (R. Cahay, B. Monfort et F. Remy)	110
- La mer amère ! Une BD de Stéphane Dizier	113
- Le dossier des lectures pour l'été 2018 (C. Simart)	115
- Enivrez-vous - Charles Baudelaire	116
- Opéra au cinéma : reprises estivales	117
- Le logo du tour de France décrypté !	118
- I + XI = X (réponse)	119
- Exposition Willy Gasquis, Galerie des Beaux-Arts de Liège	Couverture IV



Deux clips sur le carbone à l'intention
des élèves et des professeurs

p. 109



Publié grâce à l'appui :

- du Service Public de Wallonie
- du Service général Jeunesse et Éducation permanente, Direction générale de la Culture de la Fédération Wallonie-Bruxelles
- du Service des affaires culturelles de la Province de Liège,

SCIENCE et CULTURE asbl

Président fondateur : Henri BRASSEUR

Science et Culture est une association sans but lucratif (a.s.b.l.) qui oeuvre à la diffusion des sciences et de la culture pour un public aussi large que possible.

Parmi ses activités principales, figurent l'organisation d'expositions scientifiques orientées vers le public des élèves de l'Enseignement secondaire et primaire ainsi que l'organisation de conférences pour le grand public. De plus, Science et Culture édite des livrets-guides de ses expositions ainsi qu'un bulletin bimestriel à l'attention de ses membres.

A.S.B.L. Science et Culture Quartier Agora, Allée du six août, 19 B-4000 Liège
☎ : 04/366.35.85 • courriel : sci-cult@guest.uliege.be • site : www.sci-cult.ulg.ac.be

Cotisation 2018

Elle reste fixée à : 10,00 € pour les membres résidant en Belgique
15,00 € pour les membres résidant à l'étranger

Nous vous remercions de bien vouloir effectuer votre versement au compte BE77 0000 0378 7242 (BPOTBEB1), intitulé Asbl Science et Culture, Allée du six août, 19, B-4000 Liège.

La cotisation comprend : • l'abonnement aux bulletins bimestriels
• l'accès gratuit à nos conférences et expositions
• l'accès gratuit à la Maison de la Science

Conseil d'Administration :

Président : Hervé CAPS, Chargé de cours au Département de Physique de l'ULg
Directeur de la Maison de la Science

Vice-Présidente : Brigitte MONFORT, Labo d'Enseignement Multimédia de l'ULg (LEM)

Secrétaire général : Roger MOREAU - ☎ 04/366.35.85 - rogermoreau@hotmail.com
Quartier Agora, Allée du six août, 19 - B-4000 Liège

Trésorier : Jean-Marie BONAMEAU, rue des Bedennes, 105, 4032 Chênée

Administrateurs : René CAHAY, Raphaël CLOSSET, Stéphane DORBOLO, Monique DUYCKAERTS, Michèle FAUVIAUX, Marcel GUILLAUME, Martine JAMINON, Claude MICHAUX, Luc NOIR, Bénédicte VERTRUYEN.

Comité de rédaction :

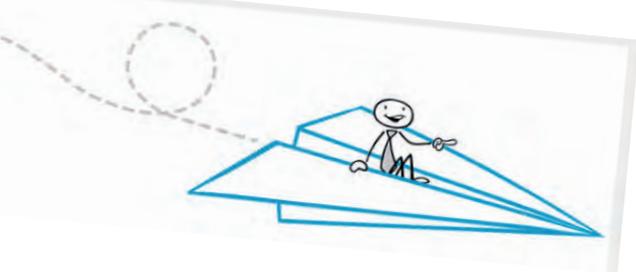
B. MONFORT, R. CAHAY et R. MOREAU.

Veuillez envoyer vos suggestions et projets d'articles à bmonfort@ulg.ac.be

LEM B7, ULg Sart Tilman, B-4000 Liège - ☎ 04/366.35.99

Mise en pages et traitement des images :

Aude LEMAIRE, Bernard GUILLOT et Roberto SAVO



Lettre à nos membres

par Brigitte Monfort

Chers membres,

Avez-vous reçu le bulletin de mai-juin ?

Il semble y avoir eu des problèmes lors de l'envoi du dernier bulletin (n°473 de mai-juin 2018). En effet, certains d'entre vous n'ont reçu que la bandelette qui entourait celui-ci !...

Si c'est votre cas ou si vous n'avez rien reçu, pourriez-vous nous le faire savoir ?

Nous vous renverrons le bulletin dans les meilleurs délais, en vous priant de nous excuser pour ce curieux incident !

Pourriez-vous nous communiquer votre adresse internet ?

Nous aimerions également établir la liste des adresses courriel de nos membres pour faciliter la communication entre nous.

Si vous êtes d'accord et si vous faites partie de la grande communauté des internautes (4,05 milliards d'internautes en 2017'), il vous suffira de nous envoyer un courriel à l'adresse : sci-cult@guest.uliege.be

Grand merci et bonne lecture de notre bulletin !

PS : Nous vous rappelons que les propositions d'articles sont toujours les bienvenues et peuvent être envoyées à l'adresse bmonfort@ulg.ac.be.

Notre prochaine expo d'octobre 2018

Elle s'adressera aux 5^{ème} et 6^{ème} secondaires.

Nous vous présentons ici une liste non exhaustive des expériences prévues en physique et en chimie.

Les réservations
sont dès à présent
ouvertes.

*N'hésitez pas à nous
contacter !*

- Par mail :
sci-cult@guest.uliege.be

- Par téléphone :
04/366.35.85



SCIENCE
et
CULTURE
a.s.b.l.

CRIME AU THÉÂTRE

LES CHIMISTES SONT SUR LE COUP



EN MOUVEMENT

LES PHYSICIENS EXPLORENT LE MONDE

1 > 26 octobre 2018

5 > 6 novembre 2018

lundi, mardi, jeudi et vendredi à 10h00 et à 13h45
mercredi à 10h00

ULiège (Bât. B8) Sart Tilman

EN PHYSIQUE

Mouvement périodique

- Le pendule au raz du nez
- Le pendule multiple
- Le mouvement composé d'un pendule de sable

Mouvement mathématique

- Des roues en forme de triangle

Mouvement rotatif

- Le paperfuge : un jouet pour centrifuger
- Les sabliers en rotation
- L'expérience du fauteuil tournant

Mouvement de l'air

- Le "wind tunnel" miniature
- Les ronds de fumée

Mouvement invisible

- L'aurore boréale de laboratoire
- L'observation des rayons cosmiques
- La strioscopie pour visualiser les mouvements de l'air (montage de Schlieren)

EN CHIMIE

- Empreintes digitales
- Détection des résidus de tir à l'arme à feu, par absorption atomique
 - Détection des traces de sang par le luminol, analyse de l'ADN
 - Révélation d'empreintes de pas par moulage au silicone
 - Détermination du taux d'alcool par éthylotest, simulation d'un état d'ébriété
 - Détection de drogue
 - Mise en évidence de faux billets
 - Analyse de fibres textiles
- Les fibres Kevlar du gilet pare-balles
 - Analyse de l'encre d'un document

**Au plaisir de vous retrouver en l'exèdre Dick Annegarn !
(ULiège, Sart Tilman - B8)**

Clap... Act'Sciences 21^{ème} dimanche des sciences au Parc Astrid à Charleroi le 6 mai 2018

Petits et grands étaient au rendez-vous !

Pour compléter nos grands classiques, Stéphanie et Audrey avaient apporté quelques nouvelles expériences telles que le ludion et le nuage dans une bouteille. Quant à l'expérience du fakir, ce fut un grand succès comme chaque fois que nous la présentons.



*Fil de nylon
+ savon
+ souffle
= le secret d'une bulle
géante !*



Ce petit instrument de musique, à la fois à cordes et à vent, est créé à partir d'un matériel simple :

- deux abaisse-langues
- une paille
- trois élastiques

Pour en jouer, il suffit de souffler entre les deux abaisse-langues pour faire vibrer l'élastique... En avant la musique !



Munis de leurs lunettes à filtre rouge et cyan, les visiteurs admirent des anaglyphes.

Les nanotubes de carbone Du laboratoire universitaire au procédé industriel

par Jean-Paul Pirard - jean-paul.pirard@uliege.be

Le carbone est l'un des éléments les plus fascinants du tableau périodique puisqu'il est central dans la formation de nombreux composés chimiques par liaisons covalentes et par conséquent dans le développement de la vie sur Terre. Des filaments de carbone appelés aujourd'hui nanotubes de carbone (carbon nanotubes ou CNT) furent observés par des savants russes dès 1952, mais c'est la parution de l'article de Iijima de NEC Corporation dans *Nature* **354**, 56-58 (1991) qui les fit connaître à la communauté scientifique internationale. Les découvertes récentes d'autres formes de carbone similaires - les fullerènes en 1985 et le graphène en 2010 - furent couronnées chacune par un prix Nobel.

• Structure et propriétés

Les nanotubes de carbone (CNT) consistent en l'enroulement coaxial de feuilles de graphène dans lesquelles les atomes de carbone forment un réseau hexagonal (Figure 1).

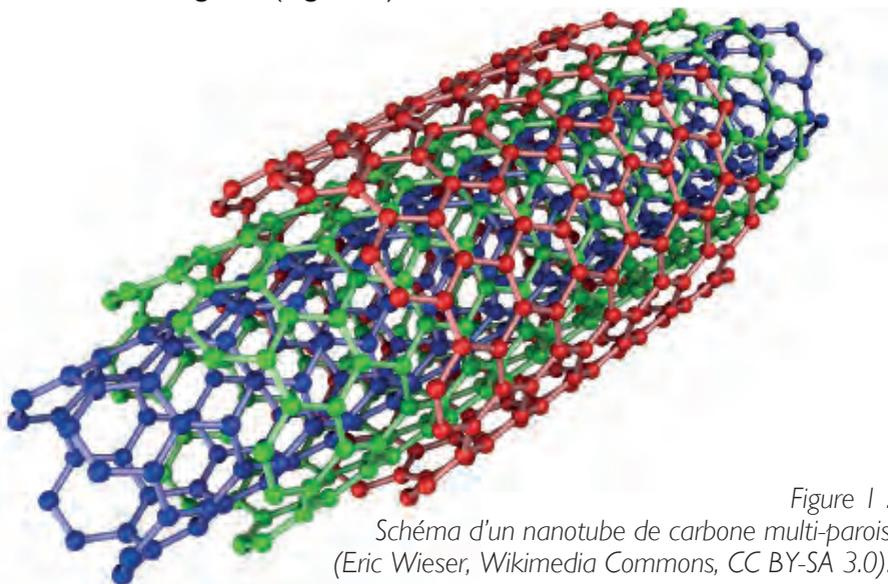


Figure 1 :
Schéma d'un nanotube de carbone multi-parois
(Eric Wieser, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

Ils peuvent différer les uns des autres, en fonction des conditions de fabrication par :

- le nombre de tubes coaxiaux,
 - les indices de chiralité (qui expriment le degré de torsion des CNT),
 - le diamètre (de 3 à 50 nm),
 - la longueur (de l'ordre de quelques μm à plusieurs dizaines de μm) et
 - les défauts, comme par exemple, la présence d'un cycle à cinq atomes de carbone inséré au milieu des cycles à six atomes de carbone.
- Les propriétés des CNT peuvent largement varier avec les conditions de synthèse (méthode, réactif hydrocarboné, température...).

Parmi les propriétés remarquables des CNT communément obtenues, on peut citer :

- une faible masse volumique de l'ordre de 1300 kg/m^3 ,
- une résistance à la rupture élevée qui varie de 10^{10} à $6 \times 10^{10} \text{ Pa}$,
- une élasticité élevée,
- une excellente conductivité électrique largement supérieure à celle du cuivre,
- une conductivité thermique qui peut atteindre le double de celle du diamant pur,
- une stabilité thermique élevée jusqu'à 350°C dans l'air et 2800°C sous vide alors que des fils métalliques fondent entre 600 et 1000°C .

En résumé, les CNT possèdent une conductivité électrique, une conductivité thermique, et des propriétés mécaniques que ne peuvent atteindre les matériaux conventionnels.

Les CNT peuvent être incorporés dans des matrices polymères et leur conférer des propriétés mécaniques, électriques, électroniques ou thermiques tout à fait intéressantes et exploitables dans de nombreux domaines industriels.

Les CNT offrent ainsi des possibilités d'applications nouvelles et originales dans tous les secteurs de la société : aérospatial, défense, électronique, énergie, environnement, informatique, loisirs, santé, sécurité, textiles, transports, ...

Les propriétés potentielles exceptionnelles des CNT ont suscité immédiatement un engouement extraordinaire de nombreux scientifiques bien que les CNT soient restés pendant longtemps une curiosité de laboratoire produite en très faibles quantités.

À l'heure actuelle, on peut compter par milliers voire par dizaines de milliers les publications relatives à des travaux expérimentaux et théoriques sur la synthèse, la caractérisation, la fabrication, les propriétés et les applications des CNT.

• Fabrication

Pour que les CNT deviennent un matériau industriel et commercial, il était impératif de développer des procédés et des installations de fabrication de CNT de qualité, à faible coût, en continu et en grande quantité. Mais les difficultés semblaient insurmontables et, par conséquent, peu de scientifiques et aucun industriel ne se sont engagés, dans les années 1990, dans la fabrication à grande échelle et la commercialisation des CNT. En 2001, seules quelques dizaines de grammes de pureté inférieure à 80% pouvaient être fabriqués en réacteur discontinu.

Il existe plusieurs voies pour produire des CNT, notamment la décharge électrique, l'ablation laser et le dépôt de carbone par réaction catalytique (catalytic chemical vapor deposition ou méthode CCVD). À l'heure actuelle, toutes les entreprises présentes sur le marché des CNT les produisent en utilisant la méthode CCVD. Celle-ci consiste à décomposer un hydrocarbure gazeux en CNT et en hydrogène au contact d'une surface catalytique à la pression atmosphérique et à une température comprise entre 600°C et 1000°C.

La Figure 2 donne un exemple de CNT synthétisés par la méthode CCVD et observés par microscopies électroniques à transmission et à balayage.

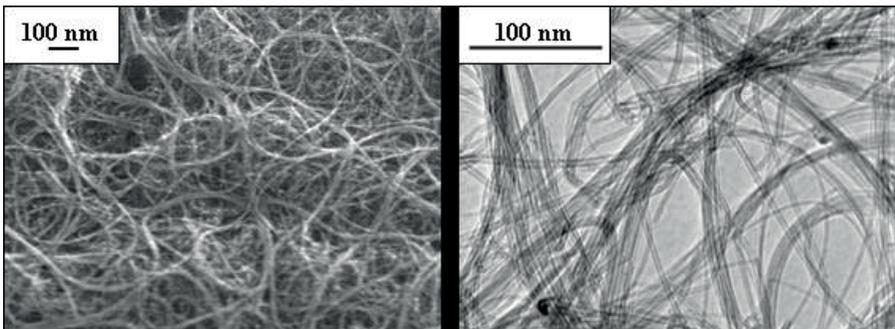


Figure 2 : Nanotubes de carbone observés par microscopie électronique à transmission à balayage

Parmi les rares scientifiques à s'être engagés dans la production de CNT à grande échelle, il faut mentionner l'équipe de Janos B.Nagy de l'Université de Namur. Dès la fin des années 90, ses travaux ont permis de disposer des premiers catalyseurs capables de produire des CNT avec des productivités spécifiques de l'ordre de quelques kilogrammes de CNT par kilogramme de catalyseur (kg CNT/kg catalyseur), ce qui permettait d'envisager une production industrielle.

• Liège entre dans la course

En 2000, le Laboratoire de Génie chimique de l'Université de Liège s'est vu confier la conception d'un procédé de fabrication de CNT susceptible d'être utilisé à l'échelle industrielle.

La contribution du Laboratoire de Génie Chimique a porté sur la conception d'un réacteur continu tubulaire incliné rotatif à lit mobile de fabrication de CNT, sur la formulation d'un catalyseur de synthèse de CNT à partir de méthane et sur le développement d'outils de simulation du réacteur.

L'installation de laboratoire, présentée aux Figures 3 et 4, comprend un réacteur continu tubulaire incliné rotatif à lit mobile - longueur 900 mm, diamètre 50 mm - équipé de systèmes continus d'alimentation et de récupération des gaz et du solide, d'un spectromètre de masse pour l'analyse de l'effluent gazeux et d'un système de commande et d'acquisition de données totalement automatisé.

Le principe du réacteur consiste à l'alimenter en continu en gaz et en catalyseur via une vis d'Archimède et à en soutirer en continu les produits de la réaction. L'écoulement de la poudre se fait par la force de gravité grâce à la rotation et à l'inclinaison du réacteur ; la vitesse de la rotation et l'angle d'inclinaison permettent de régler le temps de séjour.

Deux sas automatisés permettent d'introduire le catalyseur dans le réacteur et de soutirer le produit brut du réacteur en toute sécurité, sous atmosphère inerte, en évitant ainsi que l'hydrocarbure soit en contact avec l'oxygène de l'air.

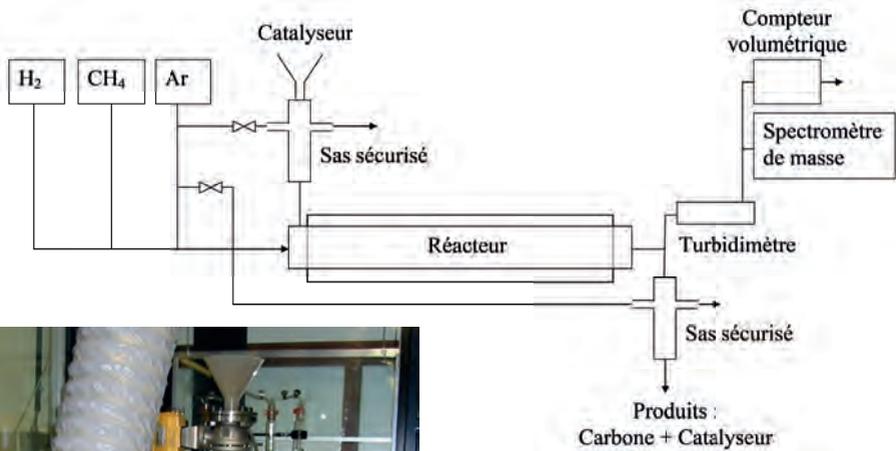


Figure 3 :
Schéma du procédé et de l'installation pour la fabrication de CNT en continu.



Figure 4 :
Réacteur continu de production de CNT du Laboratoire de Génie chimique.

• Les catalyseurs : des agents indispensables

La recherche a permis également de mettre au point la formulation d'un nouveau catalyseur bimétallique complexe de synthèse de CNT multiparois d'une pureté exceptionnelle de plus de 99% par décomposition catalytique de méthane pur, avec des productivités spécifiques supérieures à 110 kg CNT/kg catalyseur après 75 min de réaction.

Pour déterminer l'activité et la production spécifiques de chaque catalyseur étudié, une installation unique et originale, présentée à la Figure 5, a été développée au Laboratoire de Génie chimique.

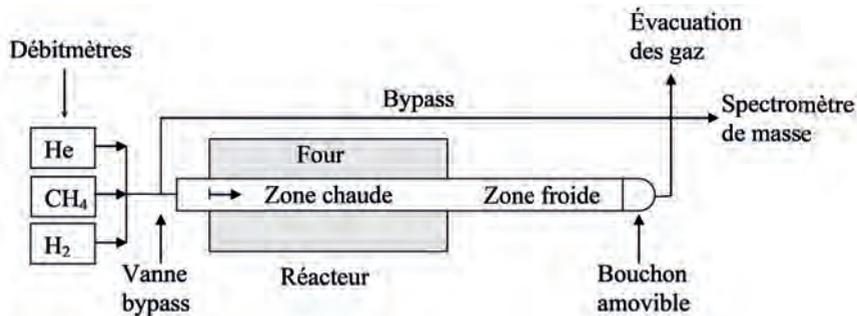


Figure 5 : Schéma de l'installation continue pour la mesure de l'activité catalytique et de la désactivation des catalyseurs de synthèse de CNT.

Celle-ci comprend un réacteur discontinu tubulaire horizontal équipé d'un système d'alimentation en gaz particulièrement stable et précis, d'un système d'introduction du catalyseur, déposé sur une barquette en quartz semi-cylindrique, et de récupération des produits sous atmosphère contrôlée, et d'un spectromètre de masse permettant de suivre en continu la composition de l'effluent gazeux.

La Figure 6 présente le catalyseur avant réaction et les CNT produits par la méthode CCVD.



Figure 6 : a. Barquette en quartz contenant le catalyseur.
b. Barquette en quartz avec des CNT obtenus par décomposition d'un hydrocarbure gazeux sur le catalyseur.

La Figure 7 compare les productivités spécifiques (kg CNT/kg catalyseur), en fonction du temps de réaction, obtenues sur quatre catalyseurs industriels, notamment le catalyseur Cat-2-M du Laboratoire de Génie Chimique utilisant le méthane (M) comme matière première.

Ces quatre courbes sont déterminées en continu en mesurant la composition du gaz – hydrogène et méthane ou éthylène - à la sortie du réacteur par spectrométrie de masse en fonction du temps de réaction.

La Figure 7 montre que l'activité initiale du catalyseur Cat-2-M avec le méthane comme source de carbone et celle du catalyseur Cat-2-E avec l'éthylène (E) sont les plus élevées et à peu près identiques.

Le catalyseur Cat-2-M ne se désactive pas du tout puisque la productivité spécifique est proportionnelle au temps de réaction. Par contre, le catalyseur industriel Cat-2-E se désactive progressivement puisque la productivité spécifique croît de moins en moins vite en fonction du temps de réaction.

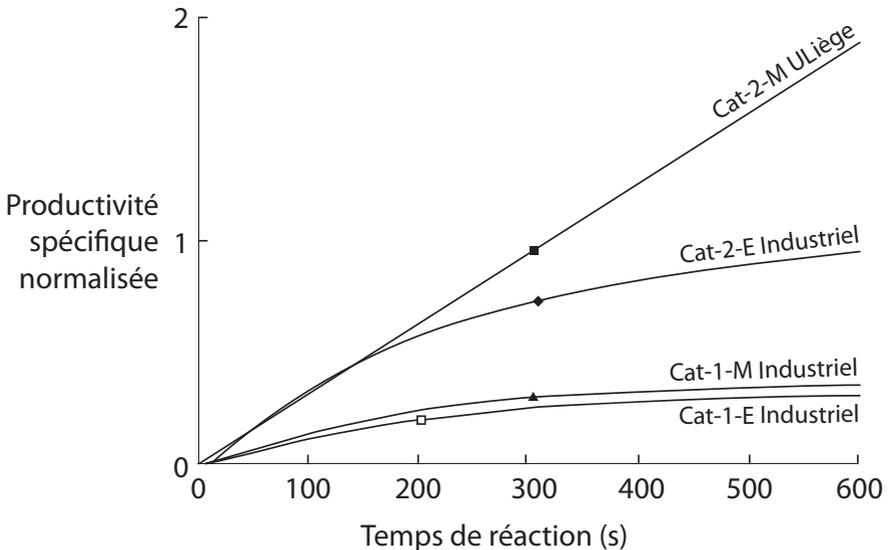


Figure 7 : Productivité spécifique (kg CNT/kg catalyseur) des quatre catalyseurs industriels normalisée par rapport à la productivité spécifique obtenue avec le catalyseur industriel Cat-2-E en fonction du temps de réaction.

Après 10 minutes de réaction (600 s), la productivité spécifique obtenue avec le catalyseur Cat-2-M et le méthane comme source de carbone est déjà largement supérieure à celle obtenue avec le catalyseur industriel Cat-2-E et l'éthylène comme source de carbone (Figure 7).

On peut en conclure que le catalyseur Cat-2-M avec le méthane comme source de carbone est assez exceptionnel. En effet, la littérature scientifique ne mentionne pas de catalyseur de synthèse de CNT qui ne se désactive pas. Le catalyseur Cat-2-M peut ainsi synthétiser des CNT de pureté très élevée. Il faut néanmoins noter que chaque couple catalyseur-hydrocarbure peut produire des CNT présentant des propriétés différentes et, de ce fait, n'est pas interchangeable.

Pour le catalyseur Cat-2-M qui ne se désactive pas, la recherche a permis de montrer que la productivité spécifique (en kg CNT/kg catalyseur) pouvait être très élevée et que des CNT d'une pureté supérieure à 99% pouvaient être obtenus, ce qui permet d'éviter la purification ultérieure du produit pour nombre d'applications actuelles.

La production spécifique du réacteur continu, exprimée en $\text{m}^3 \text{CNT} / \text{m}^3 \text{réacteur} \times \text{h}$, est choisie librement en fonction du degré de pureté souhaité et est directement liée au temps de séjour dans le réacteur : une production plus élevée conduit à un degré de pureté plus bas, une production plus basse conduit à un degré de pureté plus élevé (Figure 8).

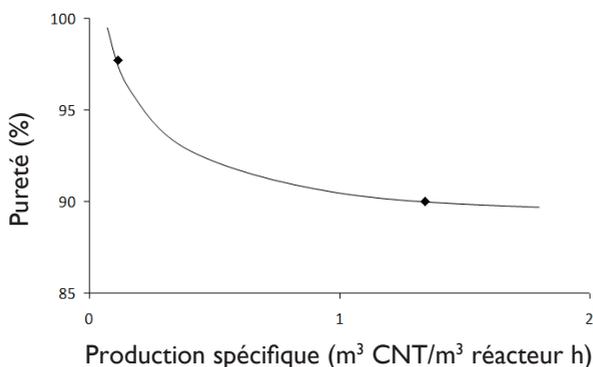


Figure 8 : Pureté des CNT produits en fonction de la production spécifique en utilisant le catalyseur Cat-2-M avec le méthane comme source de carbone. La courbe continue est donnée par le modèle théorique qui dépend essentiellement de la vitesse spécifique de la réaction et du temps de séjour moyen du solide, les deux carrés noirs sont deux points expérimentaux.

Lorsqu'on lit les spécifications des sociétés qui vendent des CNT, la pureté la plus basse est de 90%; il faut donc au minimum un catalyseur qui produit 9 kg CNT/kg catalyseur pour une application industrielle. Il faut noter que la plupart des catalyseurs présentés dans la littérature scientifique produisent moins de 0,5 kg CNT/kg catalyseur, ce qui est insuffisant pour une production industrielle. Cette invention permet de diversifier les sources de carbone en utilisant du gaz naturel, matière première abondante, bon marché (de l'ordre de 0,7 euro/kg de carbone), livrée par pipeline et dont le prix dépend du marché de l'énergie et non directement du prix du pétrole, comme l'éthylène (prix de l'ordre de 1,4 euro/kg de carbone).

La recherche a également permis de modéliser le réacteur continu tubulaire incliné rotatif à lit mobile en suivant la méthodologie du génie de la réaction chimique et de valider le modèle sur les données expérimentales obtenues sur le réacteur de laboratoire.

• Du laboratoire à l'industrie

En 2018, les résultats de la recherche sont exploités et valorisés sur le plan industriel et commercial par Nanocyl S.A., entreprise constituée en 2002 et installée à Jemeppe-sur-Sambre en Région wallonne.

L'ULiège a notamment transféré la formulation du catalyseur CAT-2-M avec le méthane comme source de carbone, mais a également validé avec succès le modèle du réacteur sur les données obtenues avec les réacteurs pilote et industriel de plus grande taille de Nanocyl S.A. Le réacteur pilote de Nanocyl S.A. est présenté à la Figure 9.



Figure 9 :
Réacteur pilote
de production
de CNT
de Nanocyl S.A.

La Figure 10 montre l'excellent accord entre les données expérimentales obtenues sur le réacteur pilote de Nanocyl S.A. et les résultats des simulations.

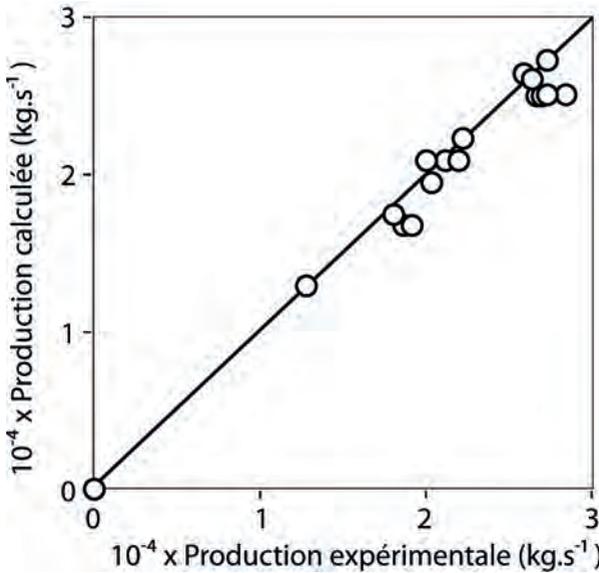


Figure 10 : Validation du modèle du réacteur continu tubulaire rotatif à lit mobile. Comparaison entre la production expérimentale obtenue sur le réacteur pilote de Nanocyl S.A. et la production calculée par le modèle.

Le procédé de fabrication de CNT développé par le laboratoire de Génie chimique apporte à Nanocyl S.A. une particularité voire un avantage qui lui permettent de se différencier de ses concurrents et d'offrir des produits originaux et uniques aux propriétés spécifiques. En effet, Nanocyl S.A. est sans doute la seule entreprise au monde à utiliser un réacteur continu tubulaire incliné rotatif à lit mobile pour fabriquer des CNT à grande échelle.

Les autres entreprises utilisent des réacteurs à lit fluidisé. Le réacteur à lit mobile présente de nombreux avantages sur le réacteur à lit fluidisé. Dans le réacteur à lit mobile, l'écoulement du gaz et celui du solide sont de type piston.

Par conséquent, tous les grains de catalyseur ont le même temps de séjour et réagissent avec l'hydrocarbure suivant le même profil de concentration.

Les CNT peuvent se développer sans contrainte, garder une densité très faible et être de qualité constante. Par contre, dans le réacteur à lit fluidisé, l'écoulement du gaz est de type piston tandis que l'écoulement du solide est parfaitement mélangé, c'est-à-dire homogène au niveau moléculaire et de la température. Par conséquent, tous les grains de catalyseur ont des temps de séjour différents, réagissent tous dans des conditions de concentrations différentes, croissent de manière aléatoire et sont soumis à des contraintes mécaniques importantes. Ceci pose sans nul doute des difficultés dans la conduite du réacteur à lit fluidisé et dans la qualité de la production.

• Aspects environnementaux

En ce qui concerne les aspects environnementaux, notamment le bruit, l'eau et les déchets, la contribution de la recherche au développement durable est neutre.

- Le bruit provient essentiellement de l'ouverture et de la fermeture des sas, de la mise du produit en sacs et en big-bags, de la torchère, des brûleurs à gaz et du système de racloir posé à l'intérieur du réacteur qui tourne lentement sur son axe. Aucune mesure spécifique ne doit être prise pour réduire le bruit en milieu industriel. L'installation n'utilise pas et ne rejette pas d'eau liquide, et par conséquent, il n'y a aucun risque de pollution des eaux de surface et des nappes aquifères.
- L'installation ne produit pas de déchets solides car les CNT produits et le catalyseur utilisé sont récupérés et mis en sacs ensemble, et restent intimement liés. En cas de nettoyage du réacteur ou de rebuts, les CNT et le carbone amorphe sont brûlés, et le catalyseur est récupéré et réutilisé.
- Il reste néanmoins des craintes sur les effets négatifs des CNT sur la qualité de l'air, sur l'environnement et sur la santé humaine.
- Lors de la fabrication de CNT, le produit brut constitué des CNT et du catalyseur forment de gros flocons qui tombent sur le sol en cas de dysfonctionnement de l'installation de fabrication. Ils peuvent être éliminés facilement par un aspirateur.

- Le produit brut ne forme pas de suspension dans l'air. Emprisonnés dans une matrice polymère, la présence de CNT seuls dans l'environnement est improbable. Après griffure du matériau, les grains arrachés (CNT dans une matrice polymère) sont micrométriques et non nanométriques.

Il faut néanmoins rester attentif et prudent en vertu du principe de précaution. Il est conseillé que les professionnels en contact avec des CNT bruts portent lunettes, gants, masque, tablier ou salopette et travaillent en milieu confiné.

Pour relever d'éventuels facteurs négatifs sur le développement durable, l'analyse du cycle de vie de nombreux produits contenant des CNT reste à faire et le profil toxicologique de chaque type de CNT doit être spécifiquement étudié pour s'assurer de sa non-toxicité.

• Applications

Certains pourraient s'étonner que, dans un article consacré au transfert de résultats du laboratoire universitaire à l'entreprise industrielle, l'auteur soit aussi discret sur les applications effectives des CNT.

Il faut savoir, et c'est vrai pour toutes les entreprises, que quatre questions ne doivent jamais être posées par le chercheur universitaire pour que les rapports entre le chercheur et l'entreprise restent cordiaux et confiants :

- (i) quel est le prix de revient du produit ?
- (ii) quel est le prix de vente du produit lorsqu'on en commande de grandes quantités ? On peut toujours connaître le prix donné dans le catalogue,
- (iii) quels sont les clients ?
- (iv) quelles sont les applications, car ceci revient à demander la liste des clients ?

Si le chercheur universitaire évite ces questions, il obtient quasiment toujours les données scientifiques et techniques nécessaires aux recherches effectuées pour l'entreprise.

• **En conclusion**, le transfert des résultats de la recherche universitaire vers l'industrie est effectif et réussi.

Le réacteur a fait l'objet d'un brevet international et le catalyseur d'un enregistrement à l'Office Benelux de la propriété intellectuelle à La Haye (NL). Nanocyl S.A. a successivement construit trois réacteurs selon le brevet de l'Université de Liège, produisant respectivement 1 kg CNT/h, soit 8 tonnes CNT/an (2005), 5 kg CNT/h, soit 40 tonnes CNT/an (2007), et 50 kg CNT/h, soit 400 tonnes CNT/an (2010) (Figure 11).

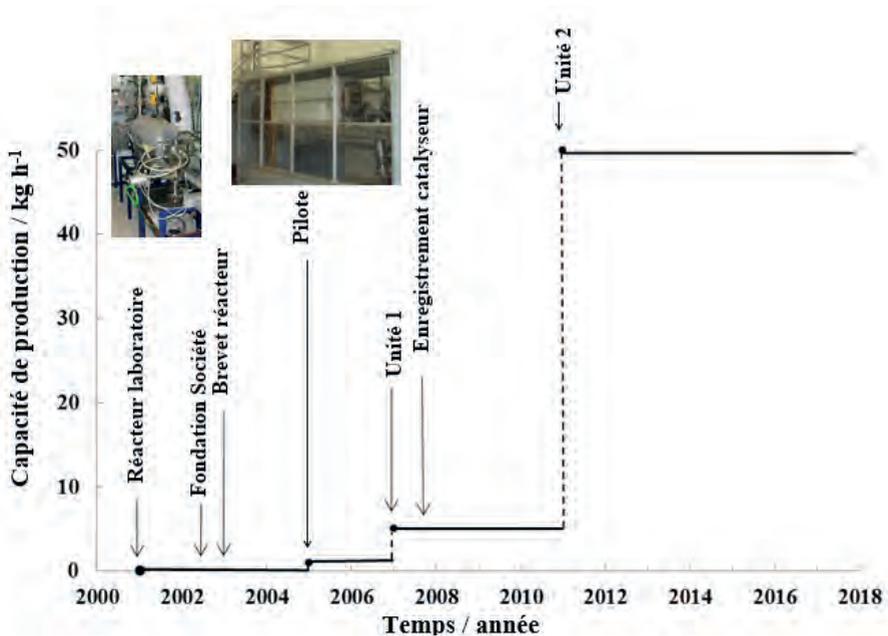


Figure 11 : Évolution de la capacité de production de Nanocyl S.A. au cours du temps.

• Références

1. S.L. Pirard, S. Douven, J.P. Pirard. *Procédé et installation de fabrication de nanotubes de carbone extrapolables à l'échelle industrielle*. Chimie Nouvelle 119, 1-12 (2015).
2. S.L. Pirard, S. Douven, J.P. Pirard. *Large-scale industrial manufacturing of carbon nanotubes in a continuous inclined mobile-bed rotating reactor via the catalytic chemical vapor deposition process*. Frontiers of Chemical Science and Engineering 11, 280-289 (2017).



Les nanotubes

POUR LES NULS

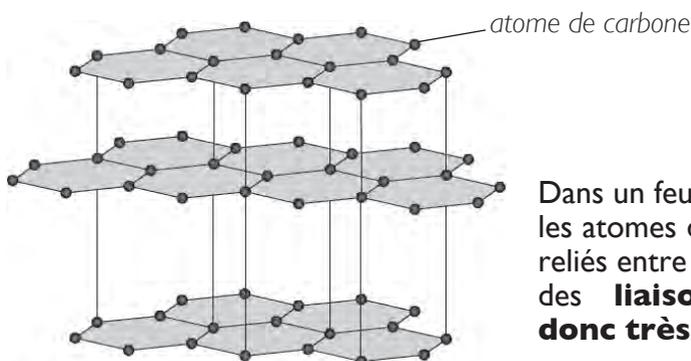
par René Cahay, Brigitte Monfort et François Remy

1. Le graphite : une variété bien connue de carbone

On trouve le graphite notamment dans les mines de crayon et dans le charbon.

Il est constitué uniquement d'atomes de carbone (représentés par les points noirs dans la figure 1).

Ceux-ci sont disposés en feuillets, (comme dans une pâte feuilletée, très friable), reliés entre eux par des **liaisons longues, donc faibles et faciles à briser**. Voilà pourquoi on peut écrire avec un crayon : en frottant la mine sur un papier, on rompt ces liaisons et des feuillets se déposent sur le papier, y laissant une trace noire.



Dans un feuillet, les atomes de carbone sont reliés entre eux par des **liaisons courtes, donc très fortes**.

Figure 1 - Structure du carbone graphite

2. Le graphène¹ : une variété dérivée du graphite

Un bloc de graphite d'un millimètre d'épaisseur comporte environ 3 millions de feuillets faiblement liés entre eux et empilés les uns sur les autres.

Des chercheurs ont eu l'idée d'essayer de les séparer.

En 2010, André GEIM et Konstantin NOSOLOV ont obtenu le prix Nobel de physique pour l'obtention du **graphène** qui correspond à **un feuillet d'atomes de carbone**.

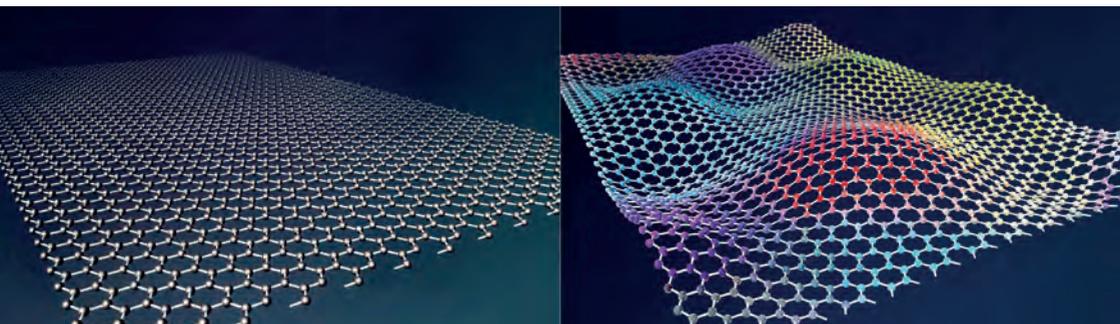


Figure 2 - Configurations d'une couche de graphène

Le graphène consiste donc en un réseau d'atomes de carbone ayant l'épaisseur d'un seul atome (Figure 2).

C'est le plus mince mais aussi le plus résistant des matériaux ; il est également bon conducteur de l'électricité et de la chaleur.

3. Les nanotubes : du graphène enroulé

Il s'agit de feuillets de graphène enroulés, formant ainsi des tubes à simple paroi ou emboîtés les uns dans les autres (Figure 3).

Pourquoi « **nanotubes** »² ?

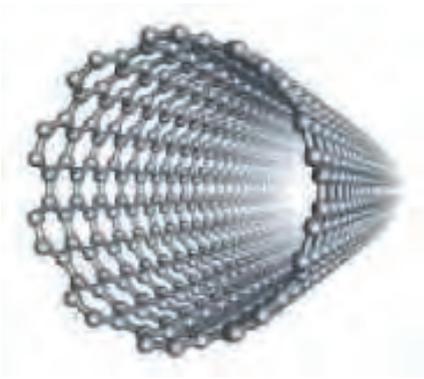
Parce que leur taille est de l'ordre du **nanomètre**³.

Les nanotubes ont un diamètre qui ne dépasse pas quelques nanomètres. Par contre, leur longueur est très variable et peut aller jusqu'à des millions de nanomètres.

¹ Cfr René Cahay, Le prix Nobel de Physique 2010 pour la découverte du graphène: un matériau à la fois simple et extraordinaire, Bulletin n°429 de Science et Culture, Janvier - Février 2011, pages 2 à 6

² https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube

³ Un nanomètre correspond à un milliardième de mètre, c'est à dire un millionième de millimètre.



Nanotube simple



Nanotubes emboîtés

Figure 3 - Nanotubes de carbone

Quant à savoir comment fabriquer des nanotubes, Jean-Paul Pirard nous en parle dans son article “Les nanotubes de carbone. Du laboratoire universitaire au procédé industriel” (pages 93 à 105 dans ce bulletin). Il y détaille aussi leurs structures et leurs propriétés.

Les nanotubes ne sont évidemment pas visibles à l'oeil nu mais la microscopie électronique peut en donner une image (cfr article J-P Pirard, figure 2, page 95).

Affaire à suivre ! ...

Remerciements

Un grand merci à André Rulmont et à Jean-Paul Pirard pour leur présentation des variétés du carbone dans le clip :

“Un corps simple : le carbone.

Diamant, graphite et nanotubes”,

à voir à l'adresse <https://vimeo.com/273464597>

Références

Figure 1 : www.linternaute.com/science/science-et-nous/pourquoi/07/diamant/diamant.shtml

Figure 2 : https://i0.wp.com/sitn.hms.harvard.edu/wp-content/uploads/2011/06/graphene_fig2.jpg

Figure 3 : <https://www.google.com/search?q=longueur+d%27un+nanotube&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>

Deux clips sur le carbone à l'attention des élèves et des professeurs

par René Cahay, Brigitte Monfort, François Remy et Roberto Savo

Après les clips sur l'approche expérimentale de trois familles d'éléments chimiques : les métaux alcalins, les gaz nobles et les halogènes¹, voici deux clips centrés sur le carbone.

A partir d'images extraites des deux DVD « Élémentaire, monsieur Mendéléïev ...! » sortis en 2005, nous avons réalisé les deux clips suivants, disponibles gratuitement sur VIMEO :

1. Corps simples et corps composés

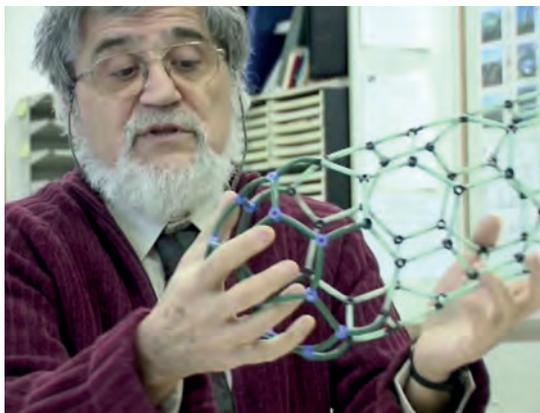
C, CO : carbone et monoxyde de carbone (1min 09s)

<https://vimeo.com/273466144>

2. Un corps simple : le carbone (C)

Diamant, graphite et nanotubes (8min 43s)

<https://vimeo.com/273464597>



Comment y avoir accès ?

Les clips sont accessibles gratuitement à l'adresse vimeo réservée aux productions du LEM :

<https://vimeo.com/user1053601>

¹ présentés dans le bulletin 469 sept-oct 2017
<http://www3.sci-cult.ulg.ac.be/wp-content/uploads/bulletins/Bulletin469.pdf>

Un “divertimento” simple et instructif : le carré chimique !

par René Cahay, Brigitte Monfort et François Remy

Le jeu proposé ici a été imaginé en 1991 par Boyd L. EARL¹. Son idée était d'utiliser des grilles simples pour retrouver les symboles des éléments chimiques. Allons-y !

Un carré formé de quatre cases.

Dans chaque case, on place une lettre de l'alphabet, par exemple :

Le but est d'utiliser ces quatre lettres pour former un maximum de symboles chimiques.

P	B
T	I

Toutes les combinaisons de lettres prises deux à deux sont permises : horizontalement de gauche à droite et de droite à gauche, verticalement de haut en bas et de bas en haut et de même pour les diagonales.

NB : Certains symboles ne comportent qu'une lettre (C, N, F, ...), les autres deux lettres.

Dans la présentation, les quatre lettres sont en majuscules même si, pour désigner un élément à deux lettres, son symbole comporte nécessairement une majuscule suivie d'une minuscule (exemple : Pt).

Voilà une belle occasion de parcourir le tableau périodique des éléments, de nommer l'élément dont on a trouvé le symbole et de le situer dans ce tableau.

Il n'est heureusement pas interdit de consulter le tableau périodique pendant le jeu !

En voici deux qui peuvent convenir :

- Le tableau suivant qui mentionne le nom de l'élément en dessous de son symbole https://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_périodique_des_éléments²

- Le tableau périodique du groupe transition de l'Uliège qui ne comporte que les symboles chimiques :

www.grptrans.ulg.ac.be/images/periodique.pdf

¹ Boyd L. EARL, A Divertimento on the Symbols of the Elements, *J.Chem.Educ.* 68, 1011/1022, 1991

² Ce tableau est joint en annexe de ce bulletin

Quelques exemples

A	R
B	E

- Un élément dont le symbole ne comporte qu'une lettre : **B**
- Horizontalement de gauche à droite : **Ar** et **Be**
- Horizontalement de droite à gauche : **Ra**
- Verticalement, de haut en bas : **Re** (rhénium) et de bas en haut **Ba** et **Er** (erbium)
- Selon les diagonales : **Rb** et **Br**

Soit au total les symboles chimiques de **neuf** éléments.

Le carré suivant est donné par Boyd L. Earl dans sa publication.

C	A
R	S

- Deux éléments dont le symbole ne comporte qu'une lettre : **C** et **S**
- Horizontalement de gauche à droite : **Ca**
- Horizontalement de droite à gauche : **Ac** et **Sr**
- Verticalement de haut en bas : **Cr** et **As**
- Selon les diagonales : **Cs**, **Ar**, **Ra** et **Sc**

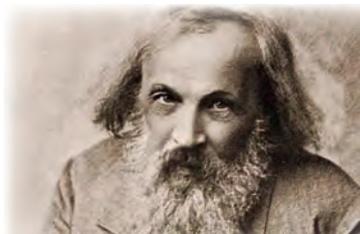
Soit au total, les symboles chimiques de **deux** éléments à une lettre et de **neuf** éléments à deux lettres.

Comme le signale l'auteur, avec un carré de 4 lettres, il serait théoriquement possible d'obtenir 12 symboles à deux lettres.

Depuis peu, le tableau périodique des éléments chimiques identifiés à ce jour, est complet, c'est-à-dire qu'on connaît les noms et les symboles des 118 éléments du tableau périodique.

Dans ce tableau périodique complet, en examinant les symboles situés au-delà de l'élément 92, on constate que seule la seule voyelle O a été utilisée (No (103) nobélium et Og (118) oganesson).

Il faudra donc restreindre les lettres à des consonnes si l'on veut pouvoir former les symboles au delà de l'élément 92.



Exemples

N	C
M	H

- Trois éléments dont le symbole ne comporte qu'une lettre : **C**, **H** et **N**
- **Cn** (112) copernicium, **Mn** (25) manganèse, **Nh** (113) nihonium, **Mc** (115) moscovium, **Cm** (96) curium

Soit au total les symboles chimiques de **huit** éléments dont 4 sont situés dans la fin du tableau.

M	C
A	T

- Un élément dont le symbole ne comporte qu'une lettre
- Dix éléments dont le symbole comporte deux lettres

Soit au total les symboles chimiques de **onze** éléments... **Lesquels ?**

Qui dit mieux ?!?!...

Le jeu proposé est donc un moyen simple et amusant de se familiariser avec ces nouveaux noms, même si leurs composés ne risquent pas de sitôt d'encombrer les étagères de nos laboratoires !

Challenge

– Rechercher des carrés de quatre lettres permettant de trouver le maximum de symboles chimiques.

– Composer un carré de quatre lettres permettant de trouver le moins de symboles chimiques du tableau.

– Les programmes de l'enseignement secondaire étant limités à l'étude des vingt premiers éléments du tableau périodique, quel est le minimum de carrés de lettres nécessaire pour faire apparaître ces 20 éléments ?

La mer amère !

Une BD de Stéphane Dizier (stephanedizier@hotmail.com)



En une série de planches dont les titres sont évocateurs, Stéphane Dizier aborde de manière humoristique l'état inquiétant de la mer et son futur .

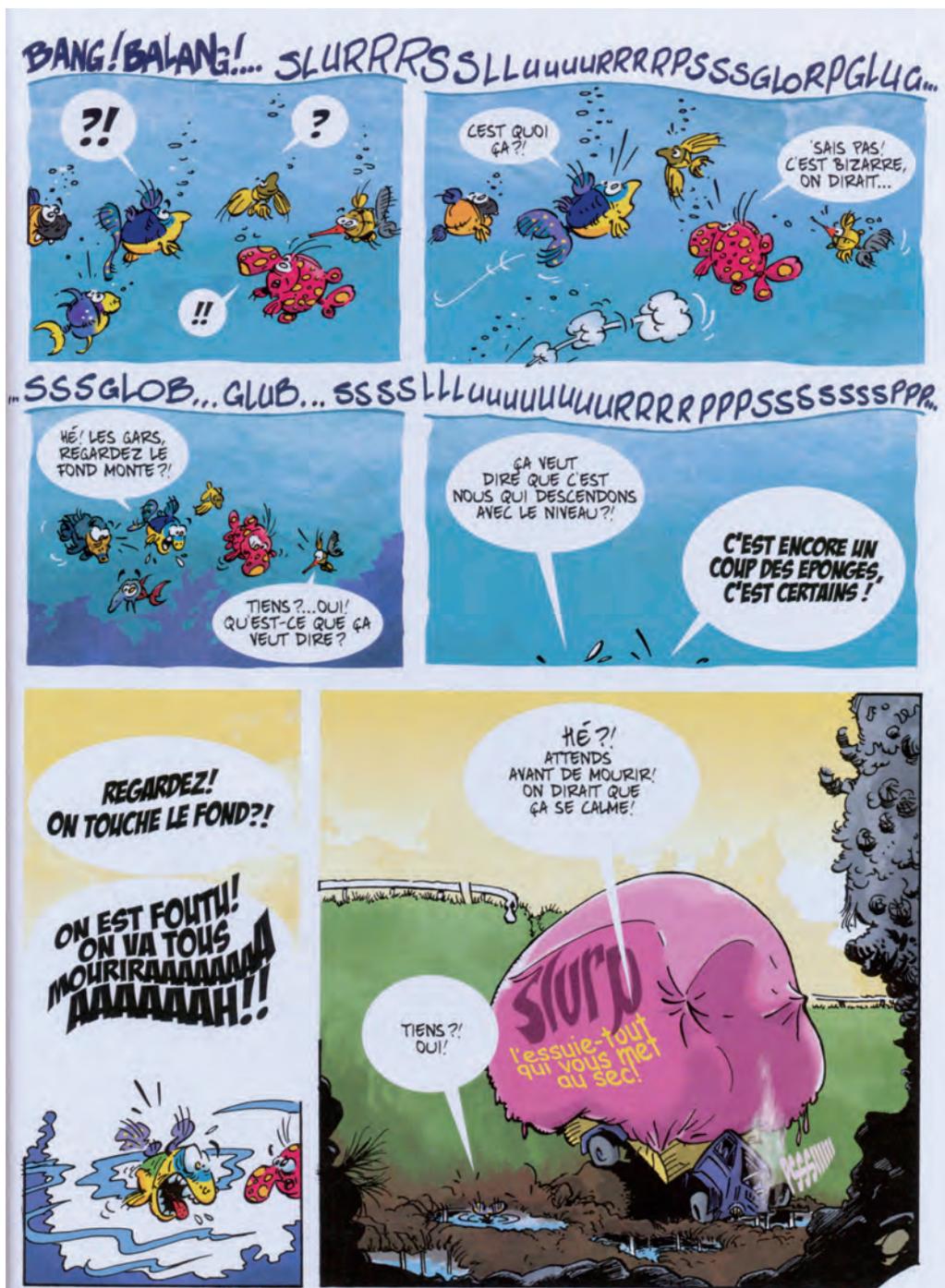
L'humour grinçant convient particulièrement à faire passer ce message alarmant.



A l'heure où l'homme prend conscience de la responsabilité qu'il a dans la dégradation globale de la planète, "La mer amère!" nous plonge dans le quotidien désopilant de créatures qui n'ont d'autre choix que de s'adapter dans cet océan-poubelle.

La phrase placée en 4^{ème} de couverture résume bien le propos de l'auteur.

A titre d'exemple, nous reproduisons ici la page 13 :



Le dossier des lectures pour l'été 2018

par Claudine Simart - Claudine.Simart@uliege.be

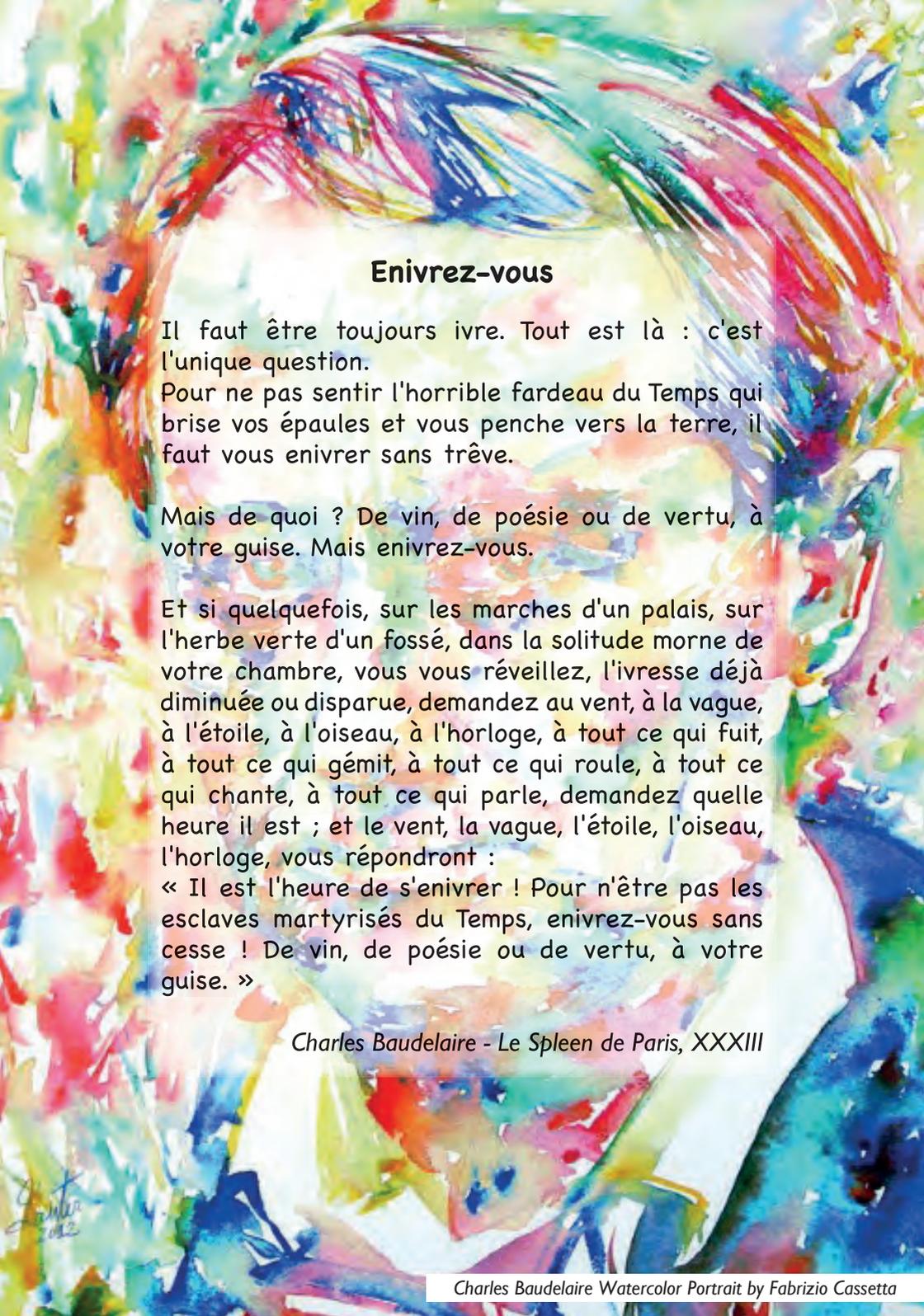
Les vacances d'été sont à nos portes. C'est le moment idéal pour se plonger avec délectation dans la lecture ...

Comme les années précédentes, des membres de la Communauté universitaire vous proposent leurs coups de cœur. Et, comme d'habitude, il y en a vraiment pour tous les goûts ! Vous trouverez à coup sûr quelques volumes à emporter dans vos valises.

campus.Uliege.Be

Bonnes lectures et bel été !





Enivrez-vous

Il faut être toujours ivre. Tout est là : c'est l'unique question.

Pour ne pas sentir l'horrible fardeau du Temps qui brise vos épaules et vous penche vers la terre, il faut vous enivrer sans trêve.

Mais de quoi ? De vin, de poésie ou de vertu, à votre guise. Mais enivrez-vous.

Et si quelquefois, sur les marches d'un palais, sur l'herbe verte d'un fossé, dans la solitude morne de votre chambre, vous vous réveillez, l'ivresse déjà diminuée ou disparue, demandez au vent, à la vague, à l'étoile, à l'oiseau, à l'horloge, à tout ce qui fuit, à tout ce qui gémit, à tout ce qui roule, à tout ce qui chante, à tout ce qui parle, demandez quelle heure il est ; et le vent, la vague, l'étoile, l'oiseau, l'horloge, vous répondront :

« Il est l'heure de s'enivrer ! Pour n'être pas les esclaves martyrisés du Temps, enivrez-vous sans cesse ! De vin, de poésie ou de vertu, à votre guise. »

Charles Baudelaire - Le Spleen de Paris, XXXIII



Opéra au cinéma : reprises estivales à Kinopolis

Les lundis à 19h15 et les dimanches à 16h45

Voici une belle occasion de voir ou de revoir pendant les vacances quelques-uns des opéras produits par le Metropolitan Opéra de New York au cours des saisons précédentes.

Quatre opéras sont proposés les lundis à 19h15 et les dimanches à 16h45

• *Lundi 9 et dimanche 15 juillet 2018*

Madame Butterfly de Giacomo Puccini
avec Kristine Opolais et Roberto Alagna

• *Lundi 23 et dimanche 29 juillet 2018*

Il Trovatore de Giuseppe Verdi
avec Anna Netrebko et Dmitri Hvorostovsky

• *Lundi 6 et dimanche 12 août 2018*

Eugène Onéguine de Piotr Ilitch Tchaïkovski
avec Renée Fleming et Dmitri Hvorostovsky

• *Lundi 20 et dimanche 26 août 2018*

Turandot de Giacomo Puccini
avec Nina Stemme, Anita Hartig, Marco Berti et Alexander Tsymbalyuk
dans la mise en scène spectaculaire de Franco Zeffirelli (1987)

Tickets : 17,50 € (normal) - 16,50 € (Kinopolis Student Card)

<https://kinopolis.be/fr/content/reprises-estivales-2018>

Le logo du Tour de France décrypté !

Une observation peut en cacher une autre...

Les designers des logos de grandes marques s'amuse depuis longtemps à y cacher des « messages subliminaux ».



*La flèche
du logo FEDEX*



*Le renard
du logo Firefox*



*L'ours
Toblerone*

Celui du Tour de France est plus subtil ...

Y voyez-vous quelque chose de particulier ?...

Réponse en bas de page !



La lettre "R" de "Tour" représente un cycliste sur un vélo.
Le "U" ressemble à une selle, et le "O", juste à sa gauche, à la roue arrière.
Le rond jaune complète ce dessin en représentant la roue avant.
Le jaune évoquant évidemment la couleur du maillot jaune.

Vrai ou faux ? ... Une question de point de vue !

Et si on se mettait dans les pas
de celui qui venait de la mer ? ...

PLACEMENTS - CREDITS - ASSURANCES



Eric Dupont SPRL
Banque & Assurances

CBFA : 100591A - cB

Rue Saint Léonard, 314
4000 Liège
☎ 04/227.54.34



Rue Saint Séverin, 40
4000 Liège
☎ 04/223.47.85

www.fintro.be

email : eric.dupont@portima.be

Du lundi au jeudi : de 9 à 12h30 et de 14h à 16h30.
Les vendredis jusqu'à 17 h ; les samedis uniquement sur RDV.



Des animations didactiques et spectaculaires présentées par des guides scientifiques > électricité statique, azote liquide, optique, son, transformations d'énergie, polymères, génétique, vélo de l'énergie...

Planétarium de Cointe > visites guidées pour groupes scolaires présentées par les animateurs de la Maison de la Science.



- > Stages d'éveil scientifique pour les 9-12 ans durant les vacances scolaires
- > Ateliers pédagogiques pour les élèves du primaire
- > Formations continuées pour enseignants du fondamental

MUSÉE

LES CHERCHEURS S'EXPOSENT

UN NOUVEL ESPACE !

Cet espace vous propose d'entrer dans les coulisses de la recherche et d'aller à la rencontre d'une chercheuse ou d'un chercheur. De son parcours professionnel à sa lecture du soir, de ses sources d'inspiration à la publication de ses résultats, vous êtes invités à pénétrer son univers.

Le patrimoine scientifique & culturel de demain, c'est aujourd'hui qu'il se construit ; venez voir comment et par qui.



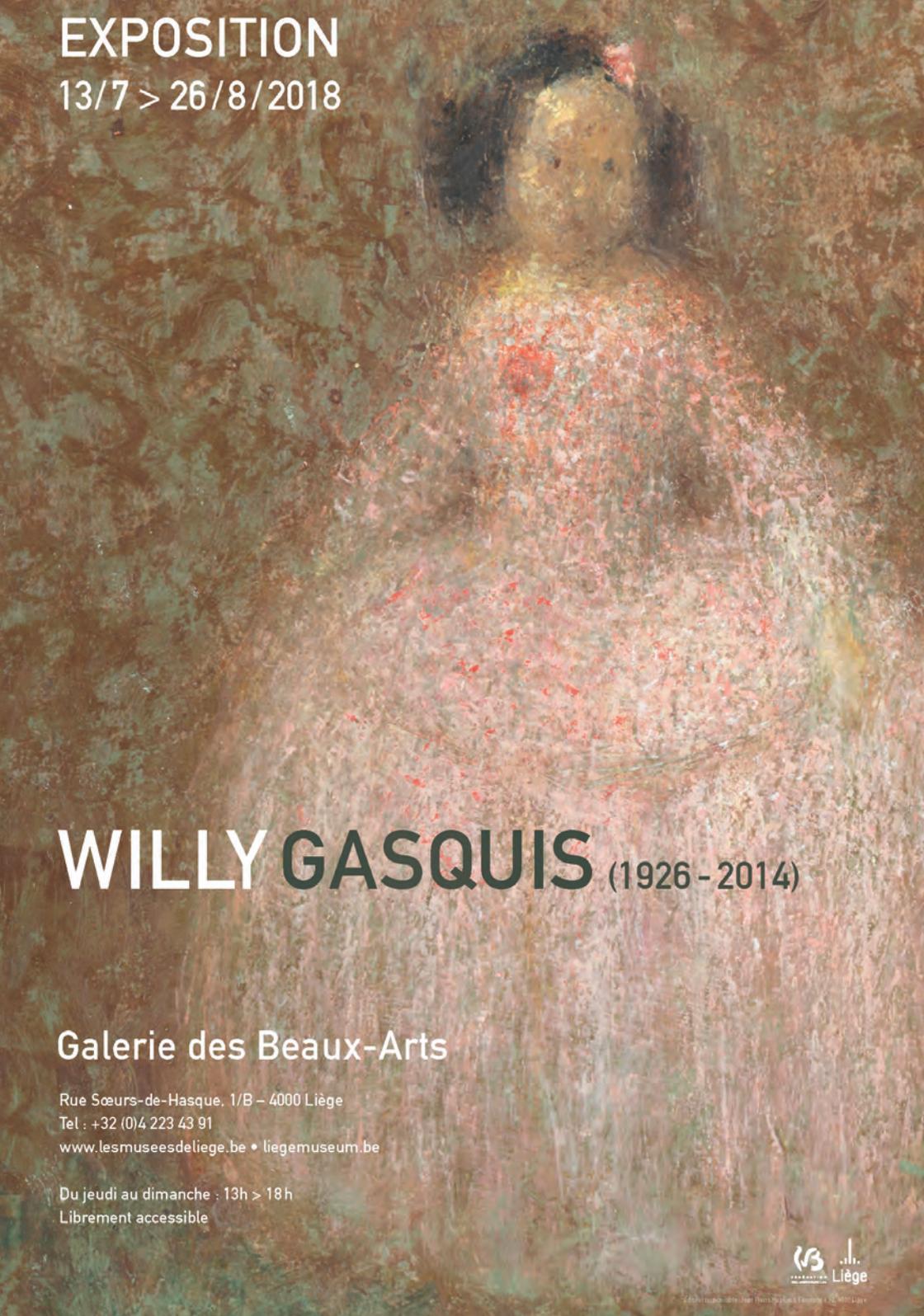
Embarcadère du Savoir
Culture Scientifique et Technologique

MAISON DE LA SCIENCE

Quai Édouard Van Beneden, 22 ♦ B-4020 Liège
T +32 (0)4 366 50 04 ♦ maison.science@ulg.ac.be

www.maisondelascience.be





EXPOSITION

13/7 > 26/8/2018

WILLY GASQUIS (1926 - 2014)

Galerie des Beaux-Arts

Rue Sœurs-de-Hasque, 1/B - 4000 Liège
Tel : +32 (0)4 223 43 91
www.lesmuseesdeliege.be • liegemuseum.be

Du jeudi au dimanche : 13h > 18h
Librement accessible