

2011

Les nanotubes de carbone dans les écrans du futur

LEPOT Florian
FABRE Maxime
Groupe D



Introduction

La découverte des nanotubes de carbone a été une des plus importantes du 20ème siècle. C'est plus précisément ses propriétés et leurs structures exceptionnelles qui fascinent les scientifiques. Découverts il y a une quinzaine d'années dans un monde où la recherche du microscopique est en pleine expansion, leur potentiel d'exploitation est de plus en plus prometteur. Depuis, le développement d'applications a été considérable et la recherche s'est tournée vers différents domaines notamment celui du sport, de la médecine ou encore plus récemment des écrans. Encore en période de tests, beaucoup croient à l'avenir des nanotubes de carbone dans les écrans de demain. Après avoir défini ce que sont les nanotubes de carbone, comment ils sont constitués et surtout quels sont leurs propriétés si exceptionnelles, nous nous attarderons sur la problématique de l'avenir des nanotubes de carbone dans les écrans du futur.

Table des matières

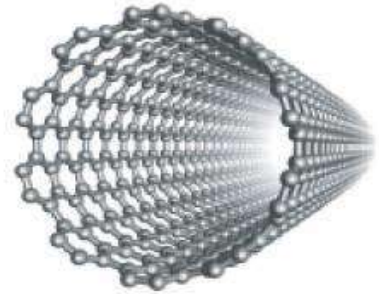
Introduction.....	0
I. Les nanotubes de carbone	3
A. Définition.....	3
B. Propriétés mécaniques.....	5
C. Propriétés électriques	5
D. Propriétés d'émission de champs	6
E. Propriétés optiques	7
II. Application dans les écrans du futur	8
A. Les écrans d'aujourd'hui	8
B. Les écrans du futur	11
Conclusion	13

I. Les nanotubes de carbone

A. Définition

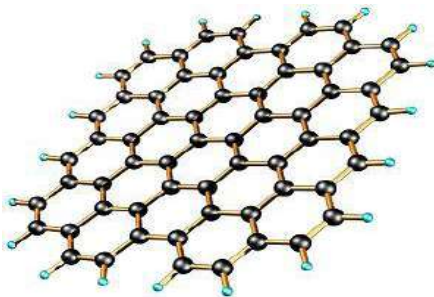
Le nanotube de carbone est une structure moléculaire (forme de structure cristalline du carbone) se présentant sous forme de tubes creux concentriques séparés à l'ordre du nanomètre (parfois il n'y a qu'un seul tube) avec une longueur de l'ordre de quelques micromètres. Ces structures allongées sont éventuellement fermées à leurs extrémités. Il existe deux types de nanotubes de carbone :

- Les nanotubes de carbone monofeuillets (SWNT)
- Les nanotubes de carbone multifeuillets (MWNT)



1) Les nanotubes de carbone monofeuillets (SWNT)

La structure d'un nanotube de carbone monofeuillet peut être représentée par un feuillet de graphène enroulé sur elle-même et fermé à ses deux extrémités. Rappelons que le graphène est une structure moléculaire bidimensionnelle, plane, constituée d'atomes de carbone. Les atomes sont disposés régulièrement en nid d'abeilles comme nous pouvons le voir sur cette image.



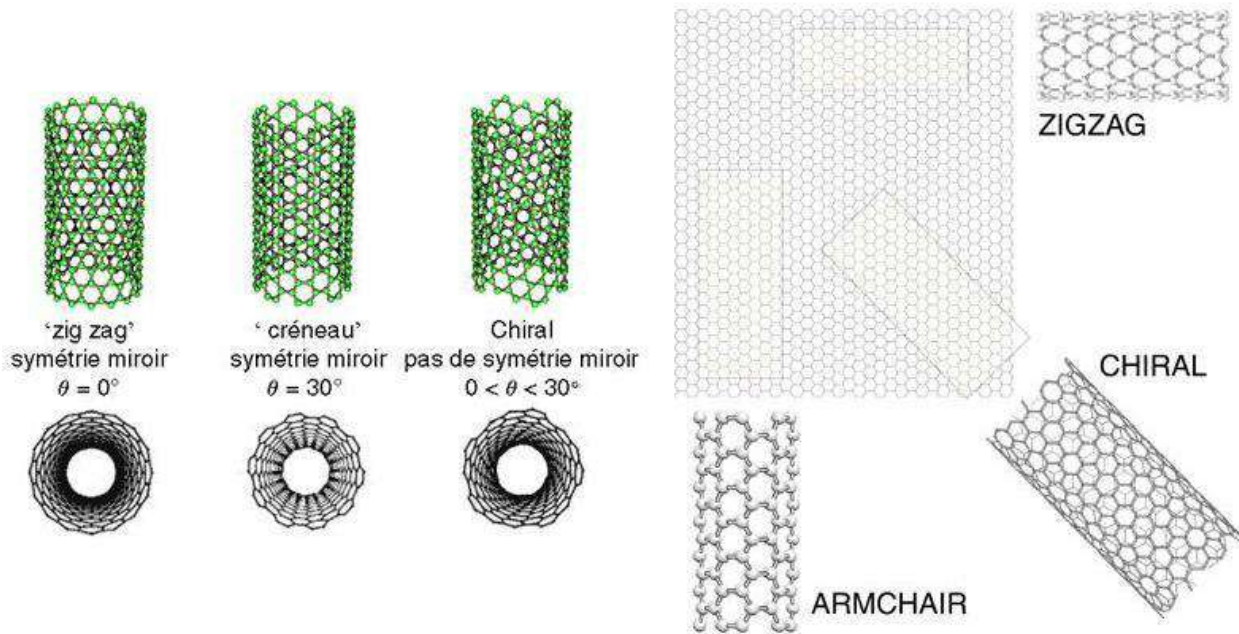
La manière dont la feuille est enroulée détermine l'hélicité. L'angle d'hélicité variant de 0 à 30° permet de caractériser les différents types de nanotubes. En fait, l'enroulement consiste à superposer deux hexagones du feuillet de graphène. C'est le choix de ces deux hexagones qui va déterminer le diamètre du nanotube ainsi que son hélicité.

Pour définir cette hélicité :

- On prend une direction de référence parallèle à un côté d'un hexagone,
- On mesure l'hélicité comme l'angle entre l'axe du cylindre formé et cette direction de référence.

On distingue 3 types d'enroulement :

- Chiral (semi-conducteur)
- Fauteuils (bon conducteur)
- Zigzag (semi-conducteur)



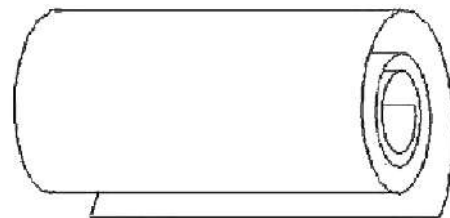
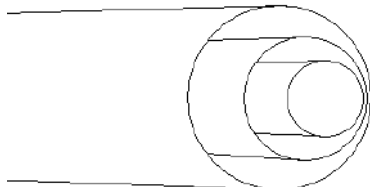
Ces différences d'hélicité donneront aux nanotubes de carbone des propriétés différentes. Notamment, en ce qui concerne les propriétés électriques. Un nanotube de carbone de chiralité sera métallique. Sinon, il sera semi-conducteur. Donc, un nanotube de carbone chaise sera toujours métallique tandis qu'un nanotube zigzag ou chiral sera soit métallique, soit semi-conducteur. C'est une des caractéristiques très importante des nanotubes de carbone monofeuillet à savoir qu'ils ont la particularité tout à fait exceptionnelle de pouvoir être soit métalliques soit semi-conducteurs en fonction de leur géométrie (diamètre du tube et angle d'enroulement de la feuille de graphène). Leurs propriétés seront détaillées plus précisément dans la partie suivante.

2) Les nanotubes de carbone multifeuillets

Un nanotube de carbone multifeuillet est constitué de plusieurs feuilles de graphène enroulé les uns autour des autres. Tout comme les nanotubes de carbone monofeuillet, il existe plusieurs structures de ces nanotubes :

- Le modèle parchemin
- Le modèle de la "poupée russe"

Le modèle parchemin se présente sous la forme d'un seul feuillet de graphène enroulé sur lui-même, comme une feuille de papier. Le modèle dit de la "poupée russe" consiste en une réunion de plusieurs plans de graphènes arrangées en cylindres concentriques.



Modèle « poupée russe »

Modèle parchemin

Concernant les extrémités d'un nanotube de carbone, ceux-ci sont fermés par des demi-fullerènes

B. Propriétés mécaniques

Le principal intérêt des nanotubes de carbone sont ses propriétés :

- La rigidité

La présence des liaisons C-C rendent les propriétés mécaniques des nanotubes uniques. On peut notamment noter une très grande résistivité et rigidité. A titre d'exemple, malgré leur taille minuscule (100 000 fois plus petit qu'un cheveu) les nanotubes sont six fois plus rigides que l'acier à section égale, et ont une résistance à la rupture cent fois plus grande.

- La dureté

La dureté est aussi très forte dans un nanotube de carbone. La dureté est une propriété qui est étroitement liée à la résistance d'un matériau. Certains nanotubes sont plus durs que le diamant. Un nanotube de carbone est donc plus dur qu'un diamant, plus rigide que l'acier mais est extrêmement flexible.

- La flexibilité

L'élasticité est la contrainte mécanique qui engendre un allongement de 100% de la longueur initiale d'un matériau (il double donc de longueur). Le nanotube se déforme bien avant que cette valeur soit atteinte. Les nanotubes de carbone devraient être environ 200 fois plus résistants que l'acier pour un poids 6 fois moindre, du fait de leur très faible densité.



C. Propriétés électriques

La conductivité électrique est l'aptitude d'un matériau à laisser les charges électriques se déplacer librement, autrement dit à permettre le passage du courant électrique. Tous les nanotubes de carbone n'ont pas la même conductivité, c'est une de leurs propriétés étonnantes. Par exemple, les nanotubes mono feuillets ont de meilleures propriétés que les multi-feuillets (ces derniers ont de moins bonnes propriétés en partie à cause des interactions électriques, de type van der Waals interaction électrique de faible intensité entre atomes, molécules, ou entre une molécule et un cristal), entre les différentes couches de graphène).

Avant d'étudier les propriétés électriques des nanotubes de carbone nous allons rappeler brièvement les propriétés des semis conducteurs par rapport aux matériaux conducteurs et ceux non conducteurs. Lorsque l'on a un solide avec énormément d'atomes et d'électrons, il y a création de bandes d'énergie. Ici, ce qui est important est le niveau de Fermi qui correspond au remplissage, à température nulle, par l'ensemble des électrons qu'il y a dans le solide.

Trois cas sont à distinguer :

- Si le niveau de Fermi se situe dans la bande de Conduction:

Cela signifie qu'il va être très facile de déplacer des électrons : c'est-à-dire que lors de l'application d'une très petite tension, il va y avoir passage d'un courant (différence de potentiel).
On dit qu'il s'agit d'un métal. (Exemple : le Cuivre)

- Si le niveau de Fermi se situe entre les bandes de Valence et de Conduction (dans une bande interdite) :
Dans ce cas, il va falloir fournir de l'énergie pour déplacer des électrons (celle-ci est liée à la taille de la bande interdite, plus celle-ci est large, plus l'énergie à fournir est importante) afin de changer de bande.

Si l'énergie fournie est faible, on dit qu'il s'agit d'un semi-conducteur : le courant ne passe qu'à partir d'une certaine tension. (Exemple : le Silicium)

- Si l'on a un GAP (bande interdite) très large :

Alors c'est un isolant : le passage d'un courant électrique est impossible. (Exemple : un plastique)

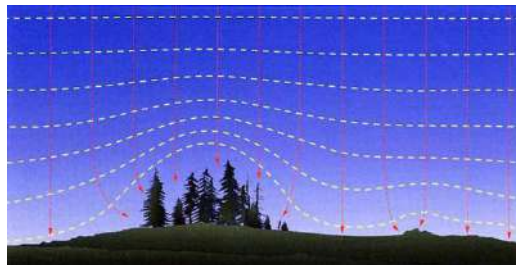
On distingue donc plusieurs propriétés électriques très intéressantes :

- Le nanotube de carbone a la plus grande mobilité jamais mesurée : $100\,000\text{ cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ à 300 K
- Nanotubes de type fauteuil peuvent supporter un courant extrêmement fort (environs 1000 fois plus fort que les fils de cuivres)
- Nanotubes sont supraconducteur à basse température ce qui permet de réaliser des transistors à un niveau de miniaturisation jamais atteint jusqu'à maintenant.

Grace à ces propriétés électriques Les nanotubes de carbone pourraient également devenir un constituant essentiel des semi-conducteurs de nouvelle génération remplaçant ainsi les fils de cuivres.

D. Propriétés d'émission de champs

Le champ est l'expression des forces qui résulteraient de l'action à distance de particules
Les nanotubes peuvent présenter une longueur extrêmement grande devant leur diamètre.
Lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique, ils présentent un très fort effet de pointe, principe du paratonnerre (effet de pointe : La présence d'objets pointus au sol renforce localement un champ électrique).

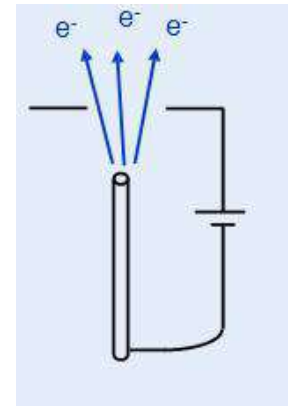


Avec des tensions relativement faibles, on peut générer à leurs extrémités des champs électriques énormes, capables d'arracher les électrons de la matière et de les émettre vers l'extérieur.

Cette émission est extrêmement localisée (à l'extrémité du tube) et peut donc servir à envoyer des électrons sur un endroit bien précis, un petit élément de matériau phosphorescent qui constituera le pixel d'un écran plat par exemple.

Le matériau phosphorescent évacue l'énergie reçue sous forme de lumière (même principe que les écrans de tubes cathodiques).

L'exploitation de cette propriété a déjà permis de réaliser des prototypes d'écrans plats à nanotubes.



E. Propriétés optiques

Le matériau le plus noir jamais conçu par l'Homme est un tapis de nanotubes, réalisé par des chercheurs l'Université Rice, il est 30 fois plus sombre que le carbone, ce qui lui permet d'absorber 99,9 % de la lumière qu'il reçoit. C'est 3 fois « mieux » que ce que permettait l'alliage de nickel-phosphore qui était le matériau réputé le plus sombre. Ces inventions pourraient intéresser les secteurs militaire, de la communication, de l'énergie (solaire notamment), de l'observation, des colorants, etc.

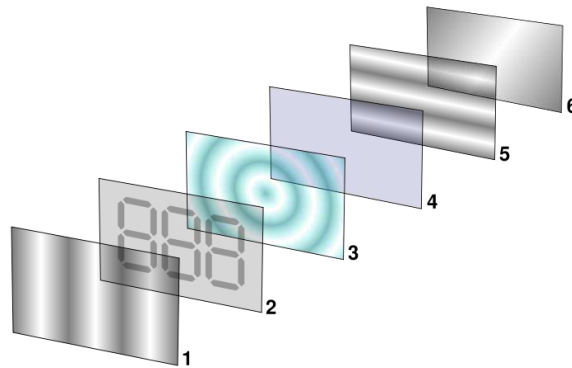
Les nanotubes de carbones possèdent aussi quelques propriétés chimiques et thermiques qui nous intéressent moins. Après avoir donc rappelé brièvement les structures et propriétés des nanotubes de carbone, nous allons pouvoir à présent étudier leur éventuelle chance d'intégrer les écrans du futur. Les nanotubes de carbone sont-ils vraiment intéressants pour le marché des écrans ? Peuvent-ils jouer un rôle économique important dans quelques années ?

II. Application dans les écrans du futur

A. Les écrans d'aujourd'hui

1. Ecran LCD

Les écrans LCD, aussi connus sous le nom d'écrans à cristaux liquides sont constitués de 6 couches, comme on peut le voir sur le schéma suivant :



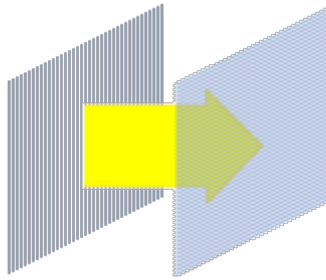
- La couche 1 est un polarisateur,
- La couche 2 est l'électrode avant,
- La couche 3 représente les cristaux liquides,
- La couche 4 est l'électrode arrière,
- La couche 5 est un autre polarisateur,
- La couche 6 est un miroir.

Le principe est assez simple, on a une couche de cristaux liquides entre 2 plaques de verre qui serviront d'électrodes. On entoure ce dispositif de 2 polarisateurs, dont les directions de polarisation sont perpendiculaires.

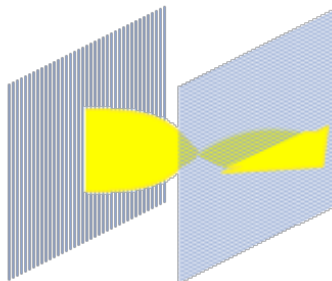
Les cristaux liquides ont la propriété de s'orienter lorsqu'ils sont soumis à du courant électrique.

Ainsi, en combinant ceci à une source de lumière, la première plaque ne laisse passer que les composantes de la lumière dont l'oscillation est parallèle à son degré de polarisation.

En cas d'absence de courant électrique, la lumière est bloquée par la 2eme plaque polarisante car le degré de polarisateur est perpendiculaire à la source de lumière.



En présence de courant électrique, les cristaux vont progressivement s'aligner dans le sens du champ électrique, la lumière va donc pouvoir traverser la 2eme plaque.



Il est ensuite possible de contrôler localement l'orientation des cristaux, on peut alors former des pixels. On peut différencier deux types d'écrans plats selon le système de commande, utilisant des transistors, permettant de polariser les cristaux :

- Les écrans à matrice passive :
Avec ce système, les pixels sont contrôlés par ligne et par colonne, grâce à des conducteurs transparents situés dans la dalle. Le pixel s'allume lors de son adressage et s'éteint entre deux balayages.
- Les écrans à matrice active :
Chaque pixel est contrôlé individuellement, le contrôle s'effectue individuellement par le biais de trois transistors, un par couleur (Rouge, Vert, Bleu). Chaque transistor a un rôle de mémorisation de l'état du pixel et le maintien allumé entre chaque phase de balayage.

Ces 2 types d'écrans, ont l'un comme l'autre besoin d'une source lumineuse pour fonctionner. Il existe plusieurs types d'écrans, différenciés par la manière par laquelle l'écran est éclairé :

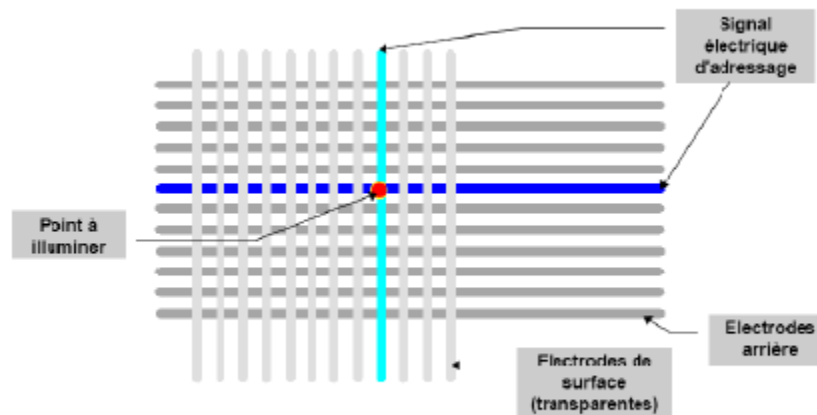
- Les écrans réfléchifs :
Ils sont éclairés par devant, par une lumière artificielle ou tout simplement par la lumière ambiante.
Exemple : Les montres
- Les écrans transmissifs :
Ils utilisent un rétro éclairage pour afficher les informations. Ils sont particulièrement adaptés pour un usage en intérieur ou dans des conditions de faible éclairage et fournissent une image contrasté et lumineuse. En contrepartie, ils deviennent difficilement lisibles utilisés en extérieur.

- Les écrans transflectifs :
Ils utilisent un rétro éclairage ainsi qu'un polariseur composé d'un matériau translucide capable de transmettre la lumière d'arrière-plan tout en réfléchissant une partie de la lumière ambiante. Ce type d'écran convient en particulier aux appareils destinés à une utilisation tant en intérieur qu'en extérieur.
Exemple : Appareils photos, PDA, etc...

2. Ecran Plasma

Les écrans plasmas sont basés sur une technologie utilisant l'émission de lumière grâce à l'excitation d'un gaz qui est un mélange d'argon (90%) et de xénon (10%)

Le fonctionnement est assez simple, on met de ce gaz dans des cellules, qui correspondront aux pixels de l'écran. On associe ensuite à chacune de ces cellules une électrode ligne et une électrode colonne afin de pouvoir exciter le gaz de la cellule choisie.



En modulant la valeur de la tension appliquée entre les électrodes et la fréquence de l'excitation il est possible de définir jusqu'à 256 valeurs d'intensités lumineuses.

Le gaz ainsi excité produit un rayonnement lumineux ultraviolet. Grâce à des luminophores (sous pixels) bleus, verts et rouges répartis sur les cellules, le rayonnement lumineux ultraviolet est converti en lumière visible, ce qui permet d'obtenir des pixels (composés de 3 cellules) de 16 millions de couleurs (256 nuances par cellule).

La technologie plasma permet d'obtenir des écrans de grande dimension avec de très bonnes valeurs de contrastes mais le prix d'un écran plasma reste élevé. De plus la consommation électrique est plus de 30 fois supérieure à celle d'un écran LCD. En modulant la valeur de la tension appliquée entre les électrodes et la fréquence de l'excitation il est possible de définir jusqu'à 256 valeurs d'intensités lumineuses.

B. Les écrans de demain

1. Quel genre d'écran peut-on créer ?

Les nanotubes de carbone, dont les applications ne sont pas encore toutes définies, pourraient dans les mois à venir se faire une place dans le monde des écrans.

En effet, leur utilisation ne semble pas avoir de limite, notamment grâce à leurs propriétés mécaniques, électriques et optiques.

On peut par exemple s'en servir pour fabriquer du papier électronique ou des écrans flexibles, comme le montre la photo ci-contre.

Les militaires ont également l'intention d'exploiter les nanotubes de carbone pour créer de nouveaux écrans. Leur principale idée est de constituer des cartes légères et flexibles, comme les modèles papier actuels, mais au contenu dynamique afin d'informer les troupes sur l'avancement ou la position d'un ennemi pour les militaires. Ils veulent également s'en servir de signalisations.

Mais l'industrie « publique » a également de grands projets pour ces nanotubes de carbone, notamment pour les écrans de téléphone portable. Apple aurait en effet fait connaître son intention de s'en servir pour l'élaboration des écrans tactiles des futurs iPhones.



2. Avantage et fonctionnement des nanotubes de carbone dans un écran



Les propriétés exceptionnelles des nanotubes de carbone font d'eux une bonne alternative à la technologie LCD et plasma, cela s'explique également par le fait qu'ils soient sources d'électrons, qu'ils soient étirables, flexibles, et qu'ils ne consomment que très peu d'électricité.

La technique utilisée est la suivante, on étale les nanotubes de carbone en couche mince sur un film de polyéthylène téréphtalate. On obtient alors un ensemble mesurant 20 nanomètres d'épaisseur. Ce matériau obtenu est transparent à 98% et fournit d'excellentes

propriétés mécaniques et électriques.

On forme alors des électrodes qu'on va utiliser pour fabriquer un dispositif électroluminescent flexible.

L'écran se compose au final, d'une multitude de micro-tubes en verre, enfermant eux-mêmes les nanotubes de carbone.

3. Prototypes élaborés



Plusieurs sociétés ont commencé à s'intéresser de très près à cette technologie, certaines ont d'ailleurs déjà travaillé sur des écrans pour faire avancer les recherches.

C'est le cas de Motorola qui a élaboré un prototype d'écran nano-émissif basé sur la technologie des nanotubes de carbone.

Leur afficheur est un tube cathodique mince et plat avec des milliers de canons à électrons pour chaque pixel. Le prototype possède une vidéo pleine-couleur, une luminosité intense, une uniformité et une pureté de couleurs dans les

intervalles exigés pour un produit commercial. Il montre que la technologie NED a un avenir prometteur dans le domaine des écrans plats.

Selon eux, la meilleure « technique » est d'incorporer les nanotubes directement sur le substrat de verre de l'écran. Par le passé, les CNT ont été collés ou imprimés sur une surface mais la qualité résultante de l'affichage était décevante.

Samsung compte également profiter de cette nouvelle technologie, notamment dans l'élaboration d'un premier prototype de papier électronique couleur. Ce papier mesure moins d'1mm d'épaisseur, et consomme très peu d'énergie. Ce n'est toutefois que le début d'un long développement car il se contente d'une définition d'environ 1000 x 700 pixels et d'un taux très faible de contrastes.



La société Applied Nanotech a également travaillé sur un prototype d'écran utilisant la technologie des nanotubes de carbone. Ils sont d'ailleurs les premiers à avoir produit un écran couleur de ce genre. L'écran est bien sûr de basse qualité mais c'est un prototype qui fonctionne correctement. L'écran est un 22 pouces, avec une résolution de 280 x 200 pixels.

Conclusion

Les nanotubes de carbone ont donc un avenir prometteur, notamment dans le domaine de la conception des écrans de toute sorte.

Leurs propriétés exceptionnelles notamment mécaniques, électriques, d'émission de charges, ou encore optiques font d'eux une alternative viable dans le futur aux technologies LCD ou plasma.

On peut d'ailleurs trouver de nombreuses utilisations dans le monde des écrans, que cela soit des écrans flexibles, papiers électroniques, comme élément d'écrans de téléphones portables, et bien d'autres qu'il nous reste à découvrir.

Les nanotubes de carbone semblent donc être la technologie qui va révolutionner de nombreux domaines.

Bibliographie

http://fr.wikipedia.org/wiki/Nanotube_de_carbone

<http://www.futura-sciences.com>

<http://www.industrie.com/it/conception/les-ecrans-plats-a-nanotubes-de-carbone-se-concretisent.3259>

<http://www.presence-pc.com/actualite/carbone-ecran-26162/>

<http://www.itespresso.fr/les-nanotubes-de-carbone-une-solution-de-choix-pour-les-nouveaux-semiconducteurs-21167.html>