

A 3D ball-and-stick model of a graphene lattice structure, showing a hexagonal arrangement of atoms connected by bonds. The model is rendered in a light gray color and is set against a background of a textured, crumpled paper surface. The word "Graphène" is overlaid in the center of the image.

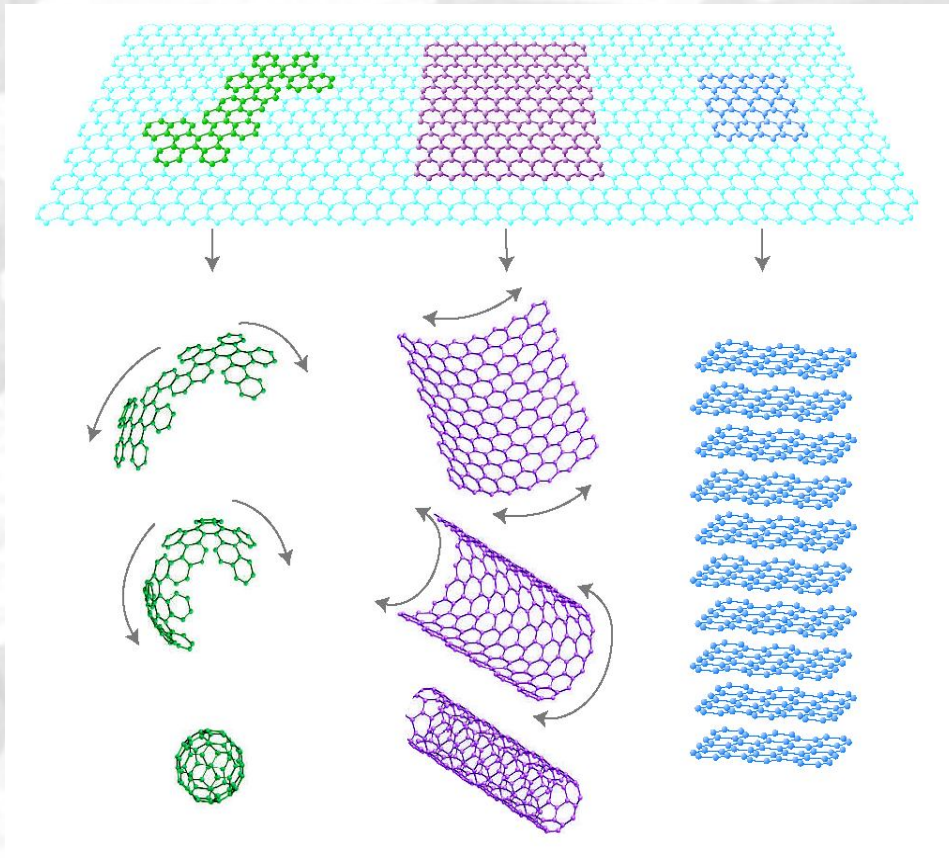
Graphène



Plan

1. Introduction
2. Comment fabriquer?
3. Propriétés
4. Applications
5. Conclusions

I. Introduction: Graphène

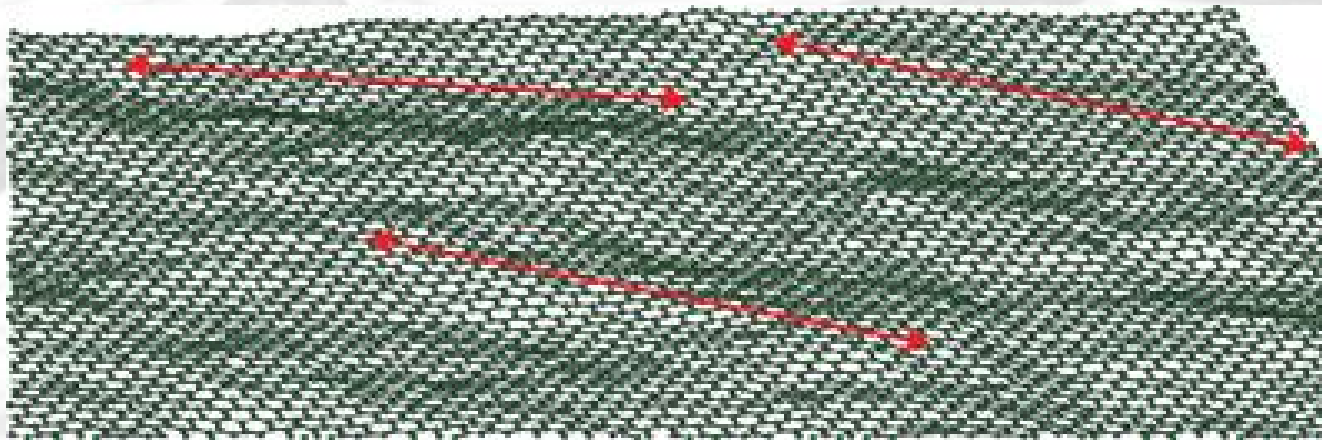


- 2-dimensionnel réseau hexagonal de carbone
- d'épaisseur d'un atome unique
- Base de C-60 (balles 0D de Bucky), de 1D nanotubes, et de 3D graphite
- Parmi les matériaux les plus forts dans la nature (200 fois plus résistant que l'acier et 6 fois plus léger).

A. K. Geim & K. S. Novoselov. The rise of graphene.

Paradoxe d'existence?

- 1930s, Landau et Peierls (et Mermin, plus tard) ont montré que la thermodynamique empêche 2-d cristaux à l'état libre.
 - D'après le cours: Déplacement quadratique moyen $\langle u^2 \rangle = \infty$
 - Température de fusion des couches minces décroît rapidement avec la température -> monocouches généralement instables..
- Le graphène fut isolé en 2004 par Andre Geim, du département de physique de l'université de Manchester => Paradoxe?
- Explication: 3-d ondulation stabilise cristal.

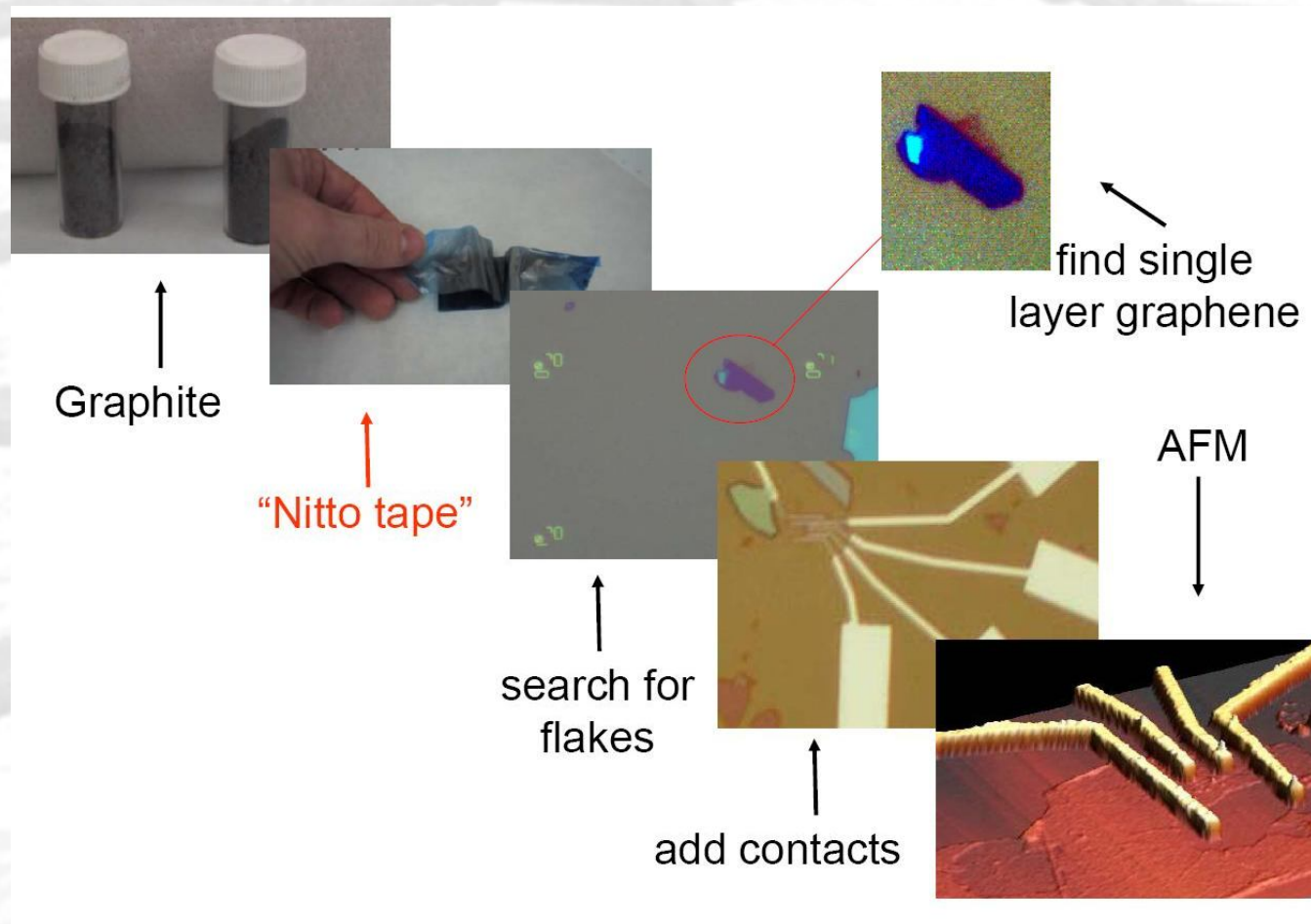


Les flèches rouges
sont ~ 800 nm de
long.

II. Comment fabriquer le graphène

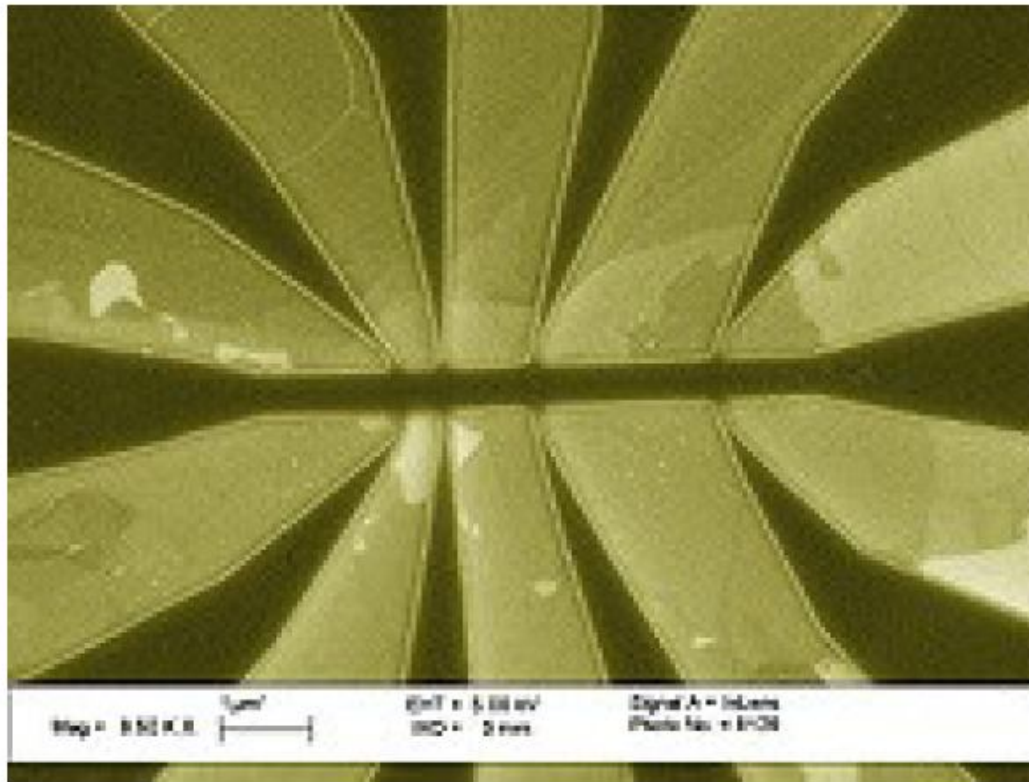
- Facile et pas cher
- Le graphène visibles à travers les effets d'interférence faible. Différentes épaisseurs sont de couleurs différentes.
- 2 méthodes principales:
 - exfoliation mécanique
 - graphène épitaxie sur SiC

Exfoliation mécanique



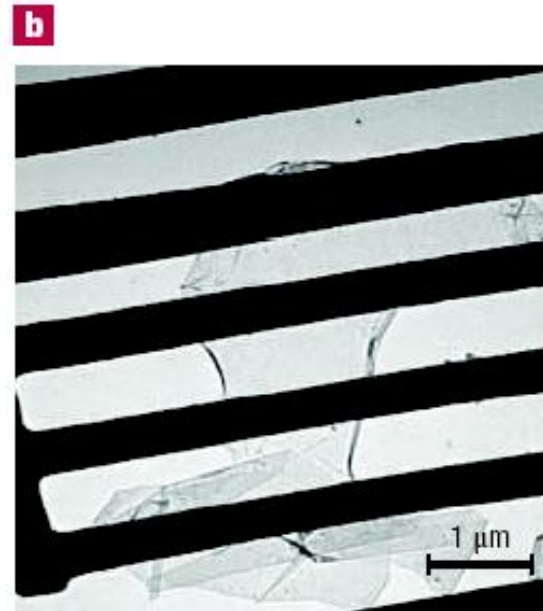
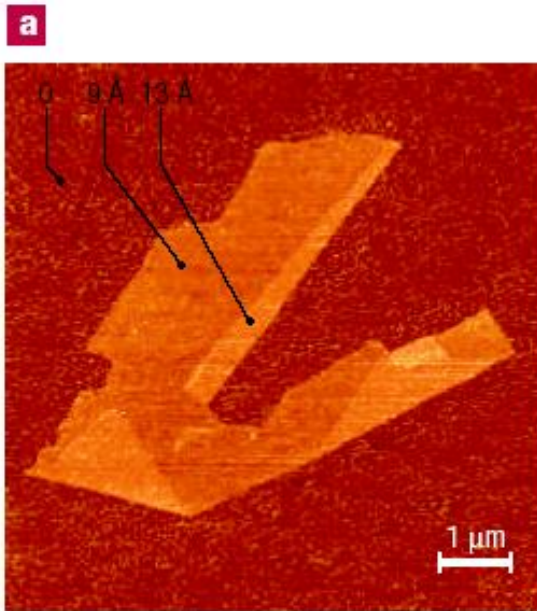
Le graphène devient visible au microscope optique s'il est placé sur le dessus d'une tranche de silicium avec une épaisseur soigneusement choisie de SiO_2 , en raison d'un contraste faible interférence comme l'égard d'une plaquette vide.

Graphène epitaxié sur SiC



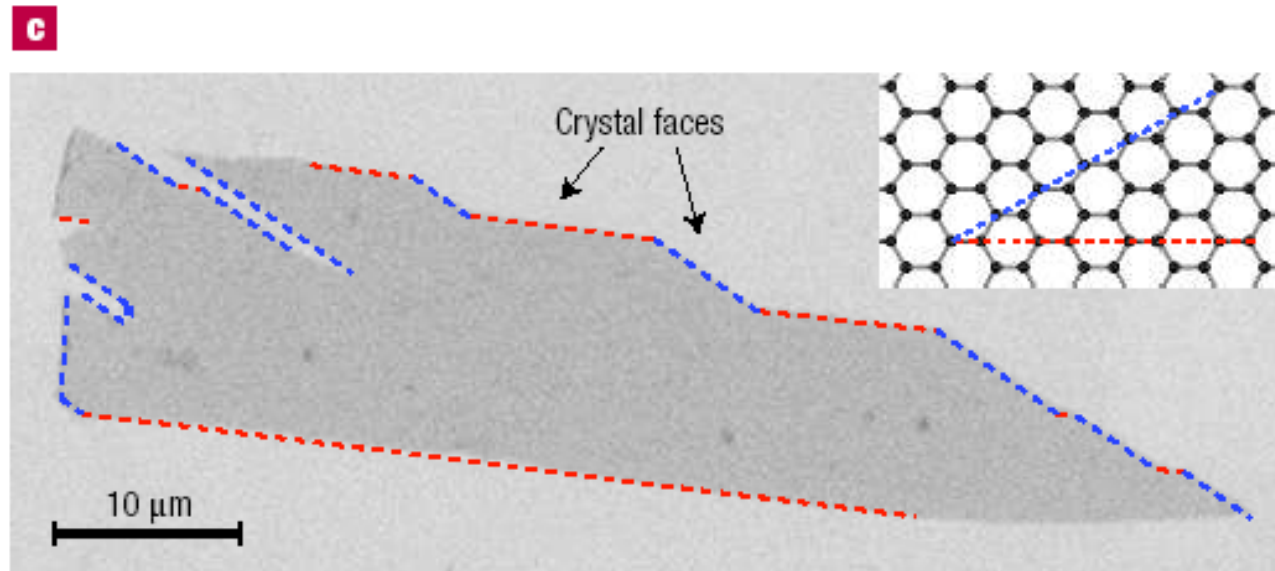
Berger et al., J. Phys. Chem. 2004 [de Heer's group]

Les échantillons de graphène



- a) Graphite films visualisés par microscopie à force atomique.
- b) Image microscopie électronique à transmission.

c) Image microscope électronique à balayage du graphène.

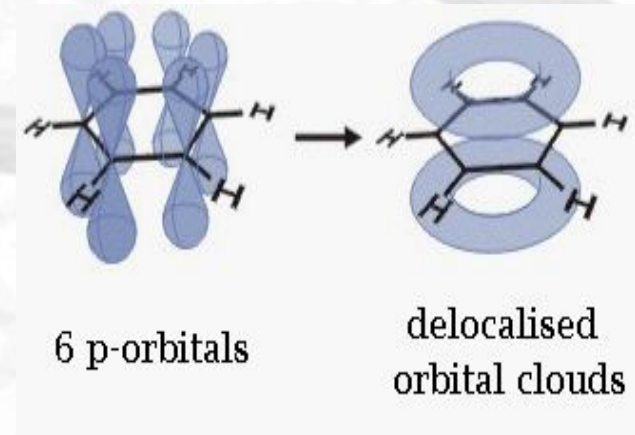
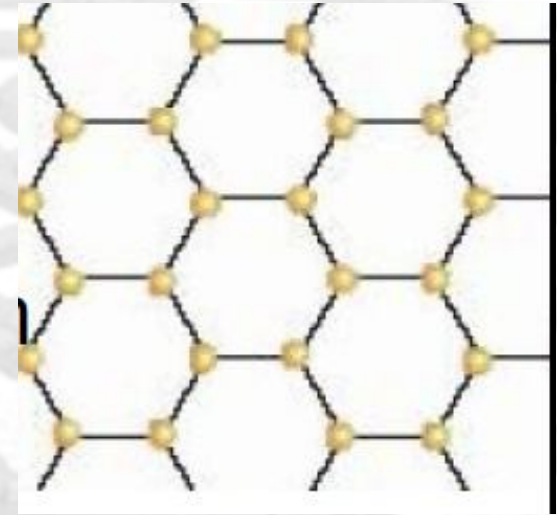




III. Propriétés

Structure atomique

- Le graphène = 2D-cristal de carbone en nid d'abeilles
- Orbitales p devenu conjuguées à travers le plan
- Electrons sont libres de se déplacer partout dans le plan orbitales délocalisées.
- 1 électron de conduction par atome C

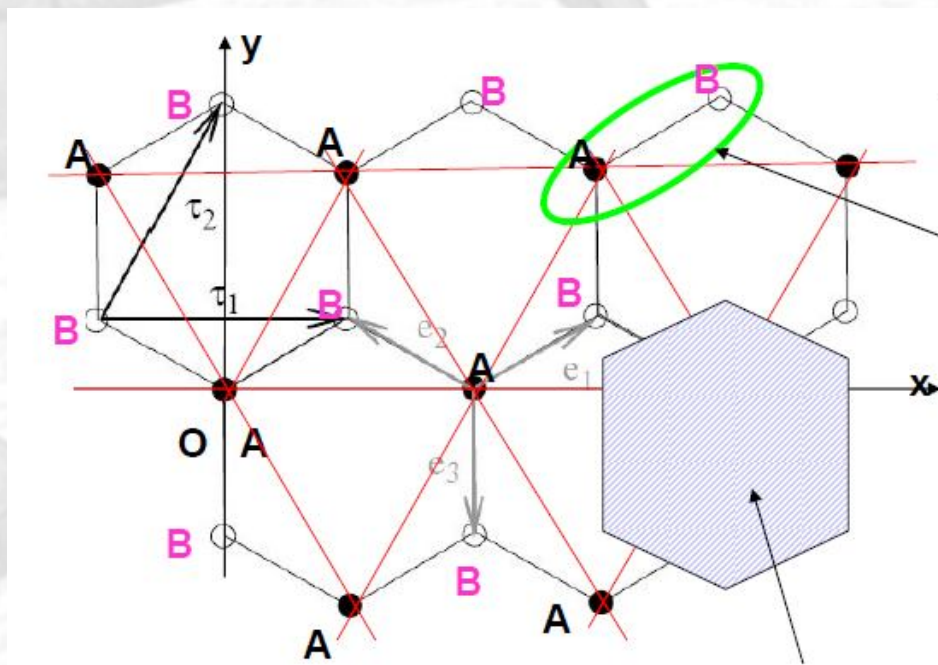


<http://en.wikipedia.org/wiki/Aromaticity>

Structure atomique

- cristal en nid d'abeille = réseau triangulaire (2D) de Bravais + 2 atomes des bases (important pour le théorème de Bloch)

a) Espace directe:



- 2D réseau triangulaire: vecteur de réseau (τ_1, τ_2)
constantes de réseau $\tau_1 = \tau_2 = a\sqrt{3} = 2,5 \text{ \AA}$

- atomes bases: $C_A(0,0)$ et $C_B(1/3, 1/3)$
distance C-C = $a = 1,42 \text{ \AA}$

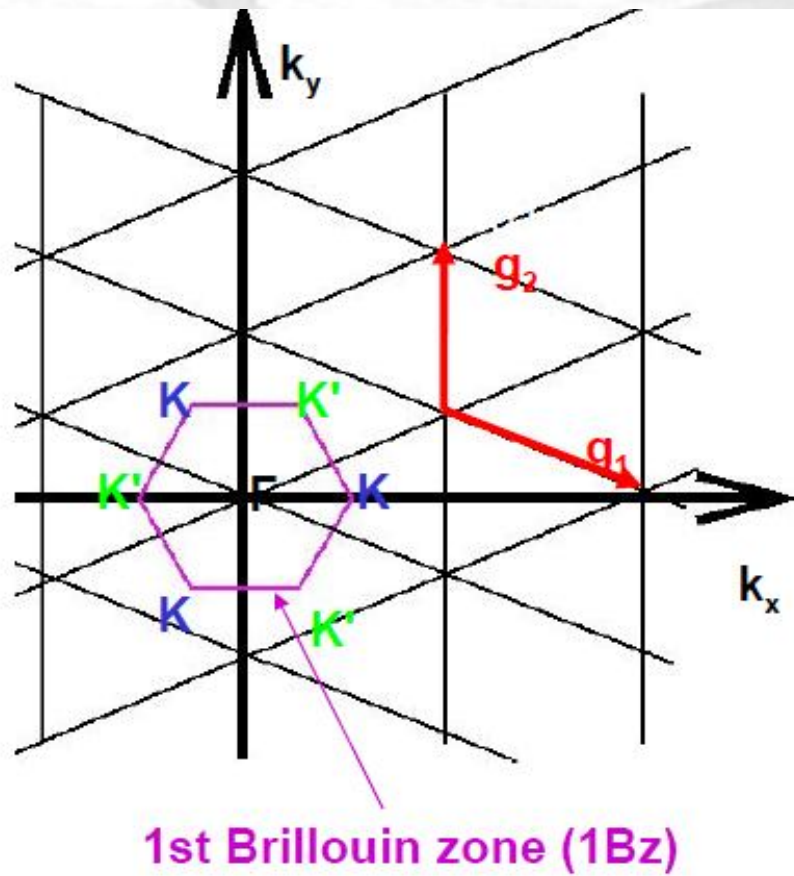
- vecteurs cousins les plus proches
 (e_1, e_2, e_3)



- 2 électrons de conduction par maille primitive

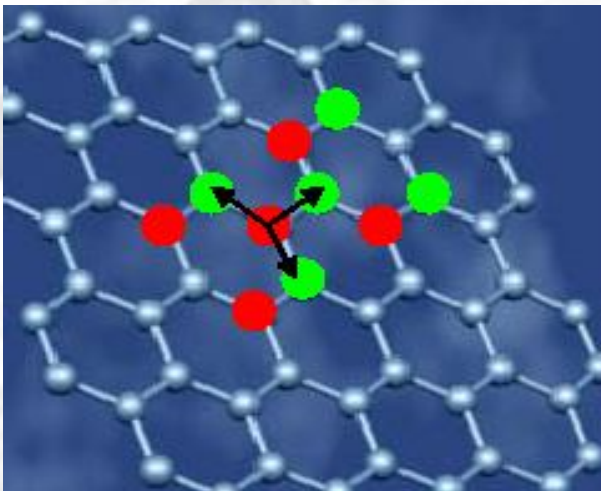
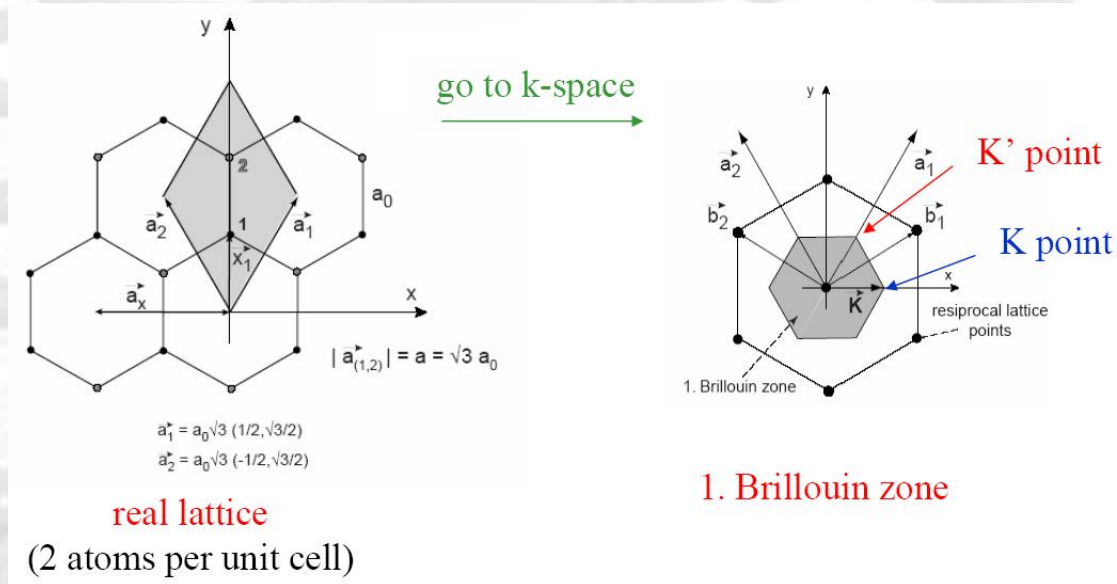
Structure atomique

b) Réseau réciproque: réseau triangulaire



- 2D réseau triangulaire
 - vecteurs de réseau: (g_1, g_2)
angle = 120°
 $g_1 = g_2 = 4 \cdot \pi / 3a$
 - maille primitive = première zone de Brillouin 1Bz
- Seuls 2 coins équivalence de 1Bz:
 K et K'

Structure de bandes

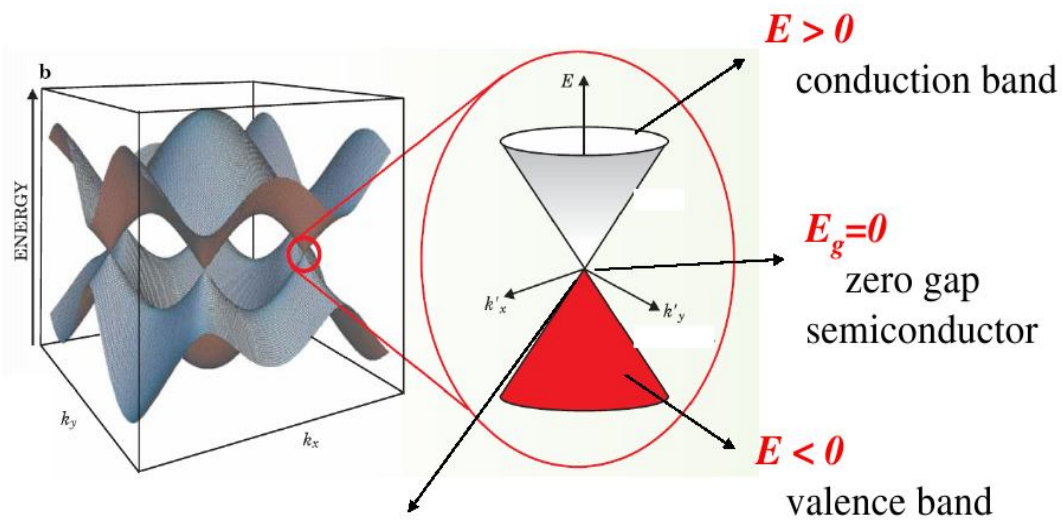


Modèle de liaisons fortes
des électrons au premiers voisins:

$$H = -t \sum_{\mathbf{n}, \delta_i, \sigma} [a_{\mathbf{n}, \sigma}^\dagger b_{\mathbf{n} + \delta_i, \sigma} + h.c.]$$

V. P. Gusynin, S. G. Sharapov, and J. P. Carbotte. **AC conductivity of graphene: from tight-binding model to 2+1-dimensional quantum electrodynamics.** International Journal of Modern Physics B, 21, No.27:4611-4658, 2007

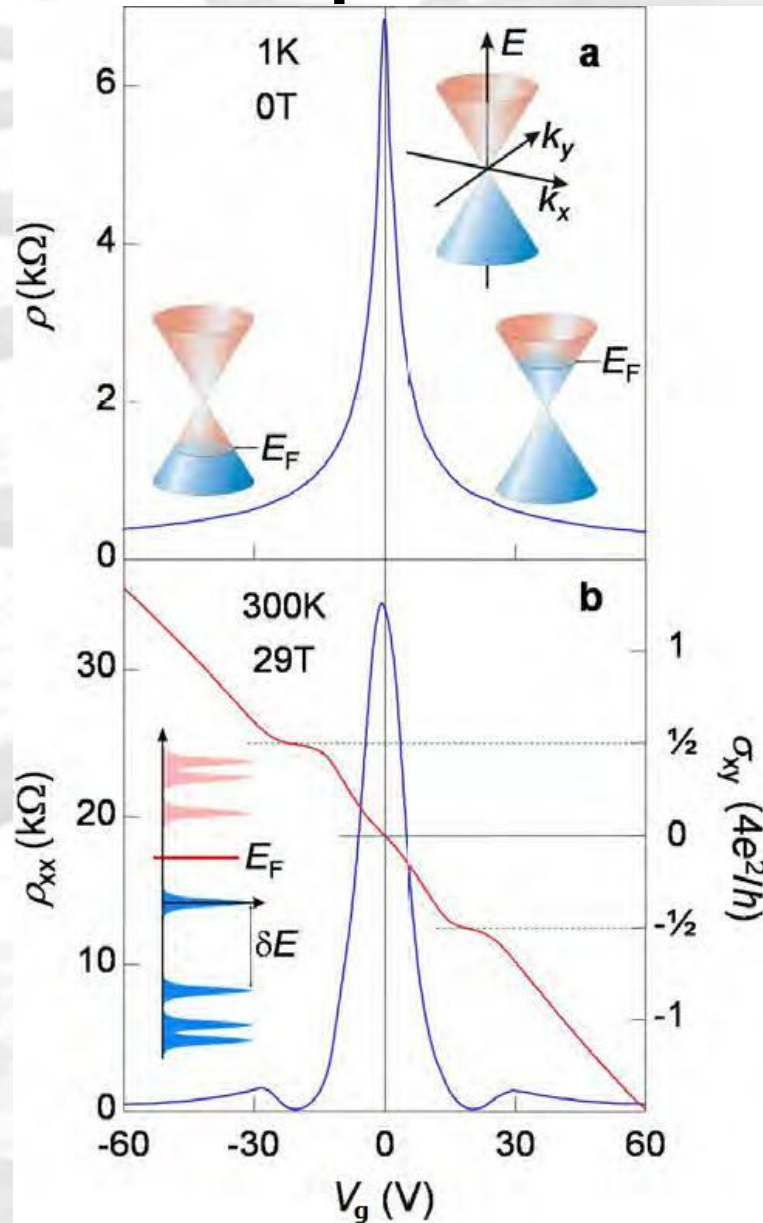
Structure de bandes



undoped graphene: Fermi energy at Dirac point

- La bande de conduction et la bande de valence se touchent à six points distincts: les points coin du premier zone de Broullins 1.BZ (K et K' points)
- Graphène non dopé: la bande de valence (BV) et complète et la bande de conduction (BC) est vide
- Graphène dopé: la BC est occupé. La densité d'état réglable.

Transport balistique



- a) La diminution rapide de la résistivité ρ avec des porteurs de charge ajoutés indique une grande mobilité électronique.

Andre Geim et al. (University of Manchester), Graphene Speed Record, Physics News Update Number 854 #2, January 23, 2008: $\mu \approx 200\,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

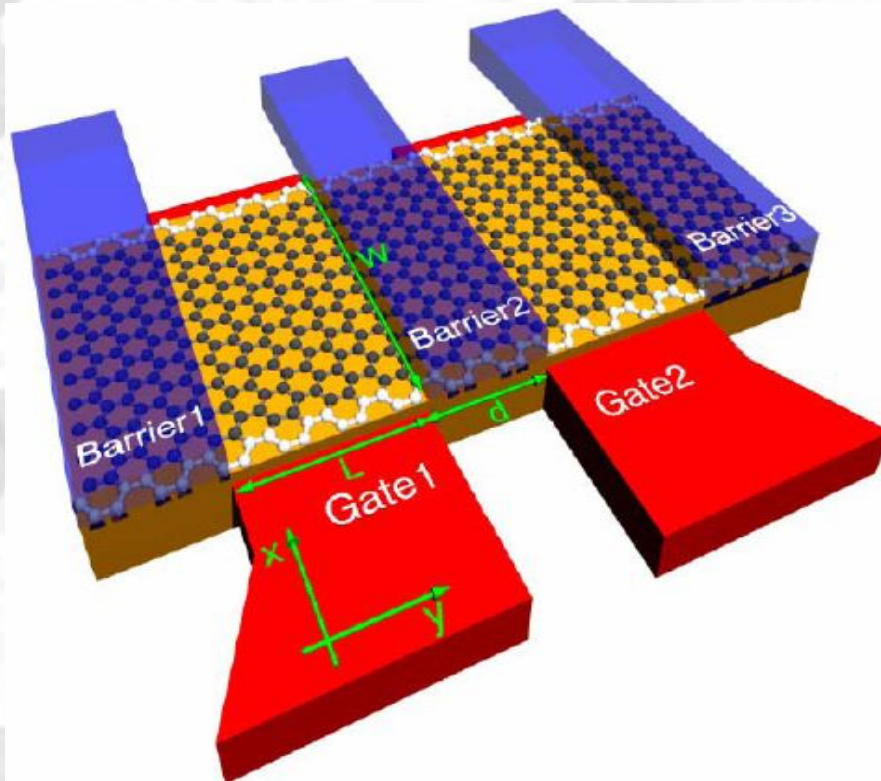
- b) Comportement ne présente qu'en monocouche de graphène, disparaît avec 2 ou plusieurs couches.
- c) Effet Hall quantique à température ambiante: quasi-particules dans le graphène sont de masse nulle et présentent peu de diffusion, même dans des conditions ambiantes

IV. Applications possibles

- Haute mobilité électronique, même au plus haut champ électrique induit par la concentration, peu affectée par le dopage = transport balistiques des électrons sur des distances $< \mu\text{m}$ à 300K
 - Peut mener à des transistors balistiques à température ambiante.
- Remplacement des nanotubes de bon marché dans certaines applications: les matériaux composites et des batteries pour une meilleure conductivité
- calcul quantique basé graphène? Base spin-orbite graphène accouplement> peut être idéal comme un q-bit.
- Ecran OLED
- Tester le QED, QHE

Spin qubits dans des boîtes quantiques Graphène

- couplage spin-orbite est faible en carbone (faible poids atomique) → décohérence de spin due au couplage spin-orbite devrait être faible
- carbone naturel est constitué principalement de l'isotope ^{12}C de spin zéro → décohérence de spin due à l'interaction hyperfine du spin de l'électron avec entourant spins nucléaires devraient être faibles



Björn Trauzettel, Denis V. Bulaev, Daniel Loss, and Guido Burkard:
Spin qubits in graphene quantum dots. *Nature Phys.*, 3:192, 2007

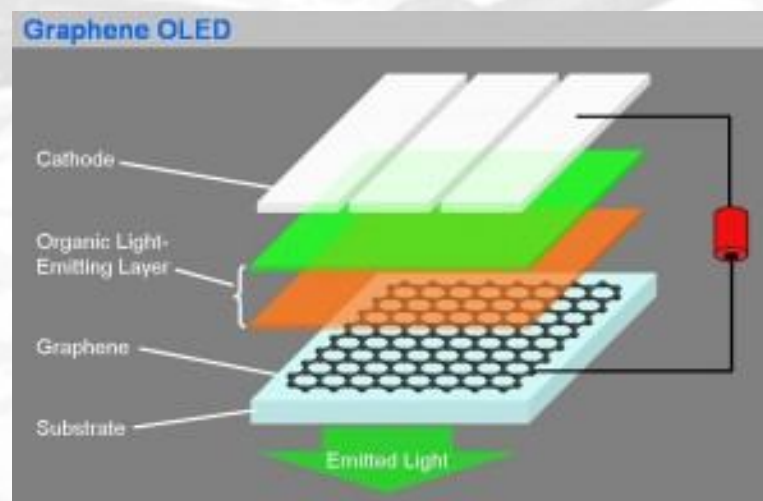
Le graphène quantique double point: ruban de graphène (gris) avec semi-conducteurs bords fauteuil (blanc).

Le confinement est réalisé par réglage de la tension appliquée à la "barrière" portes (bleu) aux valeurs appropriées, telles que les états liés existent.

Les portes supplémentaires (rouge) permettent de passer les niveaux d'énergie des points. Virtual sauts d'électrons à travers pare-2 (épaisseur d) donne lieu à un couplage d'échange J accordable entre deux spins électroniques localisés dans la gauche et la droite dot.

Ecran OLED

- Le graphène a le potentiel d'être une électrode transparente avec des performances supérieures, ce qui signifie qu'elle est plus transparente et plus conductrice.
- Des chercheurs de l'Université de Stanford ont développé avec succès un nouveau concept d'éclairage diodes électroluminescentes organiques électroluminescentes (OLED) à quelques nanomètres de graphène comme conducteur transparent.



V. Conclusion

- Le graphène est un nouveau matériau aux propriétés très inhabituelles
- Facile à faire dans le laboratoire; peut s'avérer facile et économique à fabriquer (inconnu).
- Large gamme d'applications pour la recherche future.
- Variété de possibles applications pratiques.

Référence

1. A. K. Geim & K. S. Novoselov. The rise of graphene. *Nature Materials Vol 6* 183-191 (March 2007)
2. Introduction au graphène – Jean Noel Fuchs - Université Paris Sud
3. Graphène: wikipédia
4. grapheneworld.org
5. A few topics in Graphene physics - *Antonio H. Castro Neto – Université de Boston - 2008*



Merci de votre attention!

Question?