

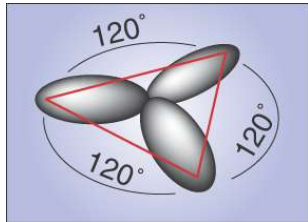
Le nouveaux Nano-Matériau Graphene

Oliver Gröning

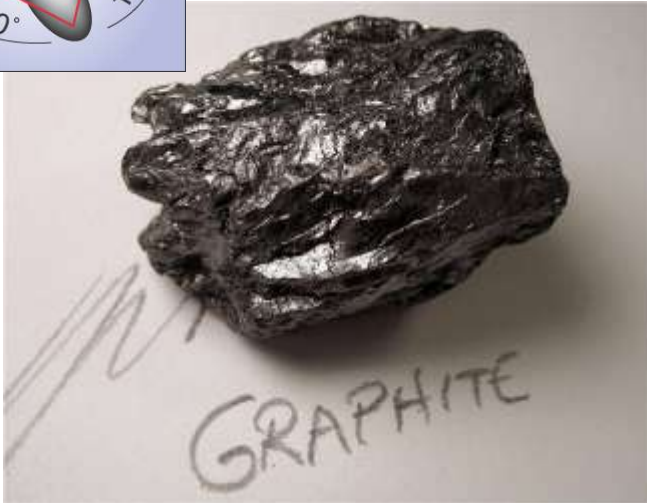
nanotech@surfaces Laboratory
Empa Materials Science and Technology
CH-8600 Dübendorf

Graphite et Diamant: Pure Carbone

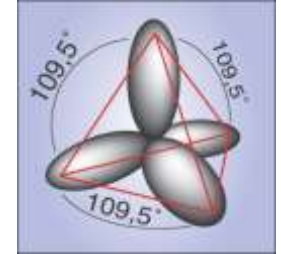
6	12.011
4470	$\pm 4,2$
4100	C
2.62	$1s^2 2s^2 p^2$
	Carbon



Carbone sp^2



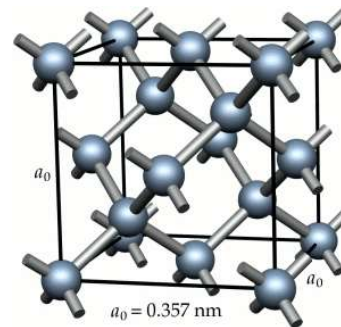
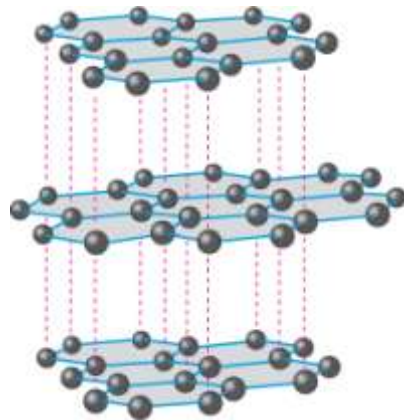
Carbone sp^3



Graphite:

Structure the feuille atomiques empilé avec des propriétés physiques hautement anisotropes.

3 liens covalentes par atome

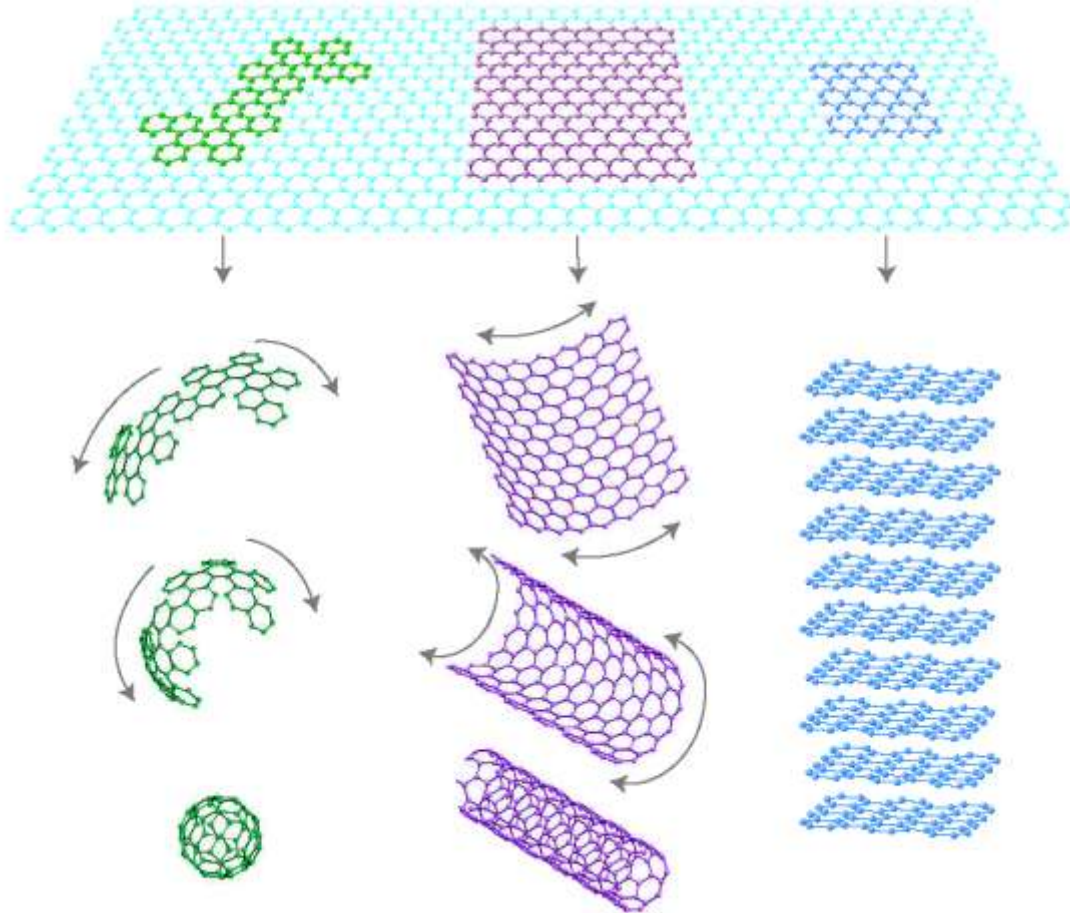


Diamant:

Structure avec des liens atomiques interconnecté on 3-dimension avec des propriétés physique isotropes.

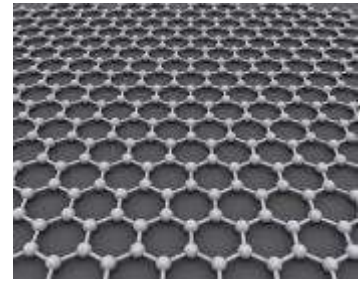
4 liens covalents par atome

Graphite, Graphene et pourquoi Nano?



- Réseau 2-dimensionnel et hexagonale d'atomes de carbone
- Atomes de carbone hybridés sp^2
- Structure de base pour le C₆₀ (fullerène), les nanotubes, et le graphite
- Une des liaisons chimiques les plus fortes (7.4 eV/C)

Les Superlatives de Graphene

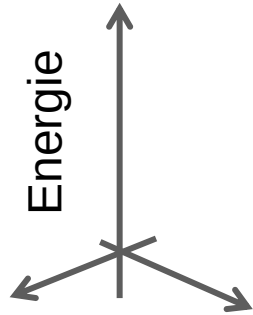


- *Le matériaux le plus **résistant***
- *Membrane la plus **mince***
- ***Imperméable** aux gazes*
- *La plus haute **conductivité thermique** à température ambiante*
- ***Transport balistique** sur une échelle de micromètres à temp. amb.*
- *Une **densité de courant** qui est six ordres de grandeurs plus grand que pour le cuivre*
- ***Effet Quantum Hall** à temp. amb.*
- *...*

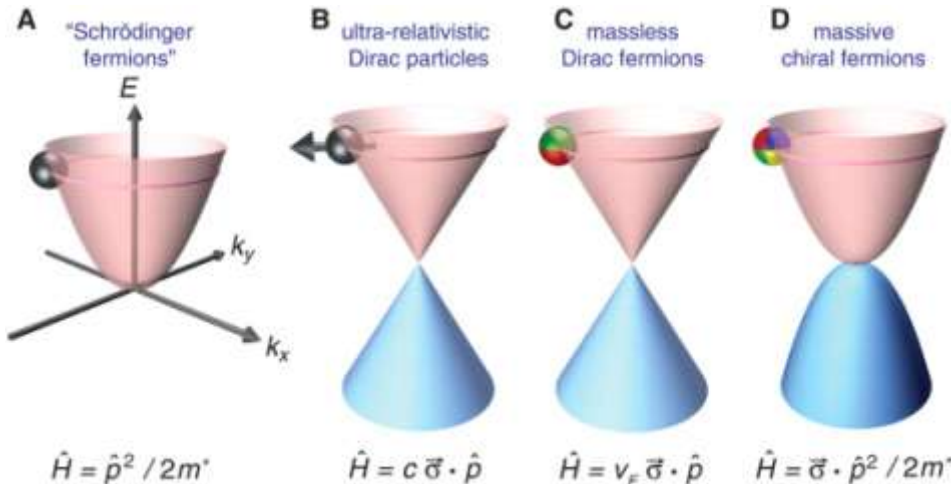
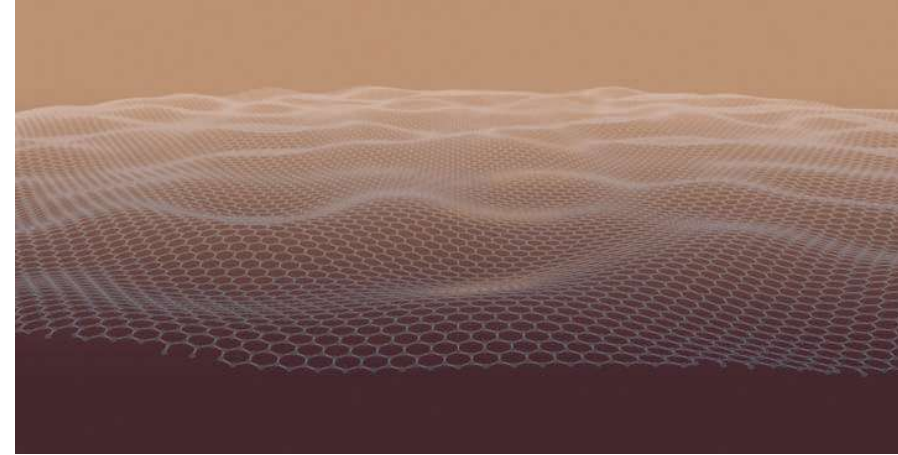
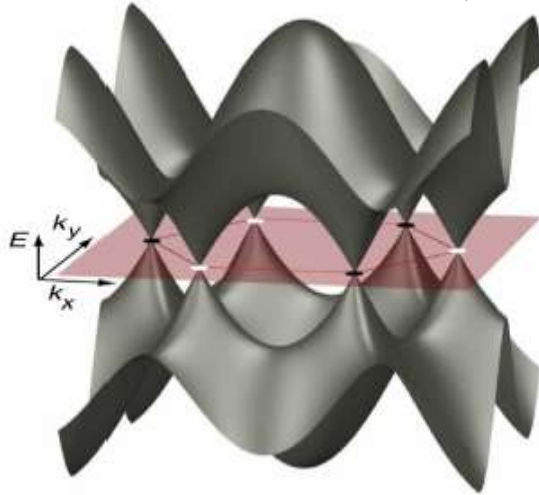
	Graphène	'Contender'
Module élastique	1060 GPa	500 (WC)
Résistance à la fracture	130 GPa	3.6 (Kevlar)
Mobilité électronique	200'000 cm ² V ⁻¹ sec ⁻¹	1'000 (Si), 8'500 (GaAs)
Résistance électrique	1x10 ⁻⁸ Ωcm	1.6 × 10 ⁻⁸ (Ag)
Conductance thermique	5000 Wm ⁻¹ K ⁻¹	400 (Cu), 2000 (diamant)
Surface spécifique	2630 m ² g ⁻¹	
Perméabilité	Imperméable même à l'He	

Les Propriétés Électronique de Graphene

$$E(\vec{p}) = E(\hbar\vec{k}) = E\left(\hbar\vec{e}\frac{2\pi}{\lambda}\right)$$



Quantité de mouvement



- La vitesse des électrons est indépendant de leur énergie
- La rétrodiffusion des électrons est fortement oppressé
- La mobilité des charges est extrêmement élevé $10^5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$
- Graphene est un semi-conducteur avec un lacune énergétique zero (Gate control)
- L'absorption optique (2.3%) est indépendant de la longueur d'onde (en bas énergie)

Electronique transparente

- Ecran LCD, touch screens
- Remplacement du ITO?
- Electronique flexible
- ...

Electrodes

- Super-capacitors
- Li-Ion batteries
- ...

Electronique ultrarapide

- Transistor THz
- Surtout systèmes analogues
- Interface envers cellules comme électrodes bio
-

Low cost printable electronics

Composantes optiques

- Photo-detectors, OLEDs, metamatériaux
- Cellules photovoltaïques
- Opto-électronique
- ...

Composantes mécaniques

- Résonateurs ajustables
- Senseur environnemental e et biomédical
- ...

Composites

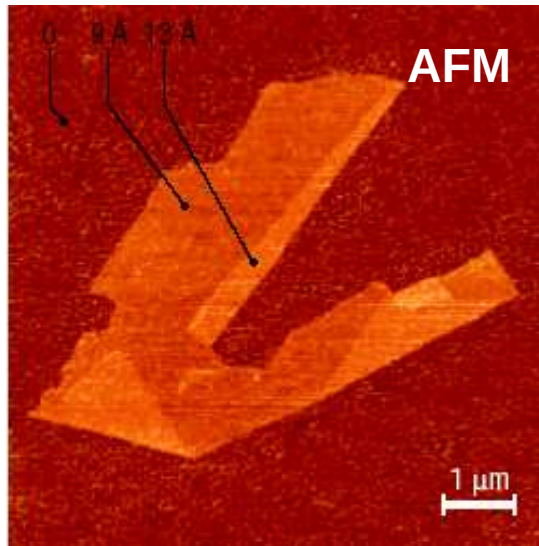
- Graphène augmente la résistance en traction et la rigidité des composites
- Aerospace, implants médicaux

Synthèse du graphène

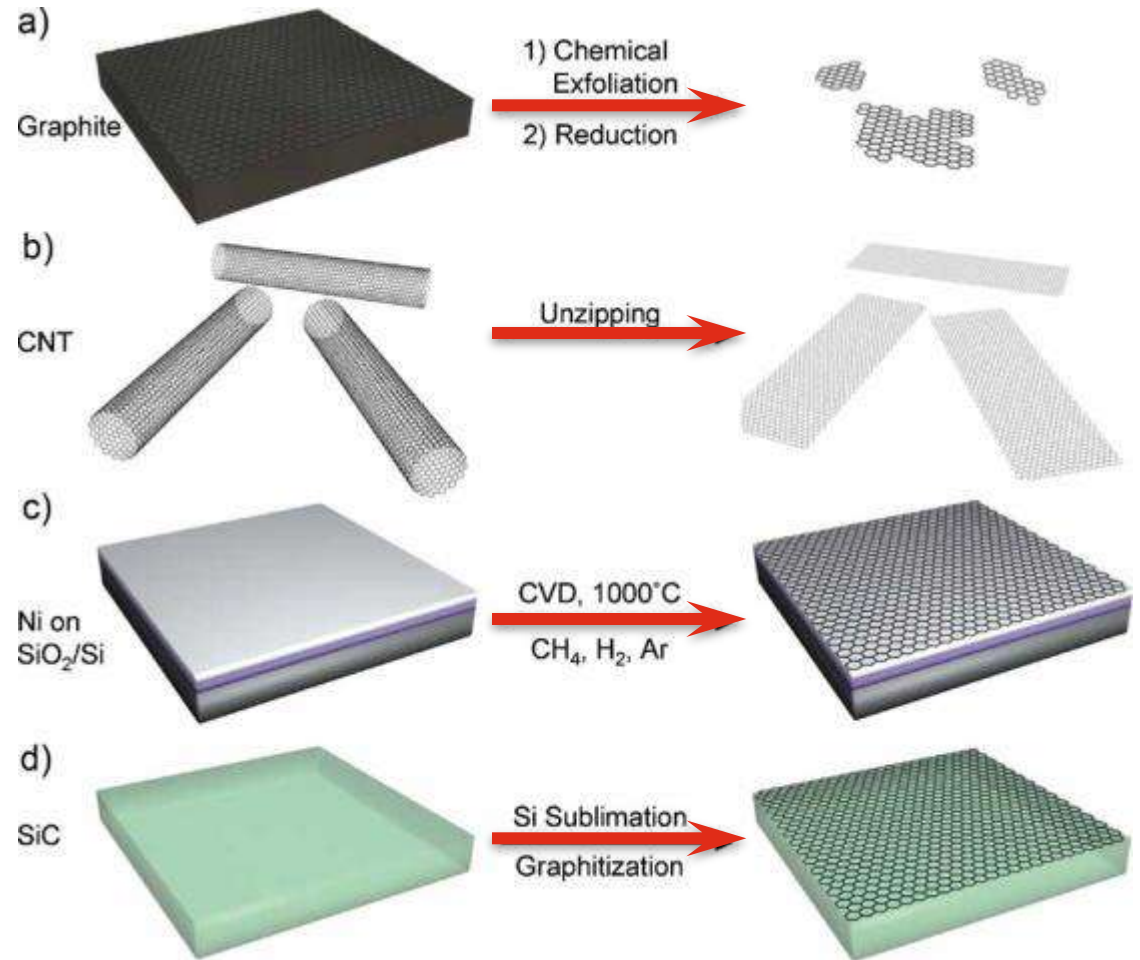


Clivage micromécanique avec bande adhésive

Novoselov et al., *Science* **306**, 666 (2004)



A.K. Geim & K. S. Novoselov.
The rise of graphene.
Nature Materials **6**, 183 (2007)



S. Unarunotai et al., *Adv. Mater.* **22**, 1072 (2010)

Graphène CVD pour des électrodes transparentes

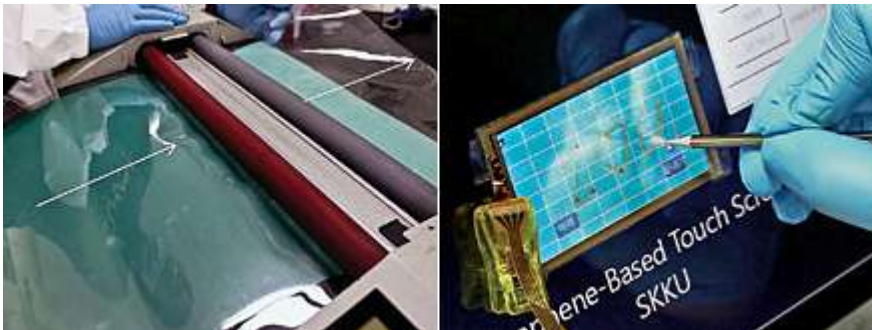
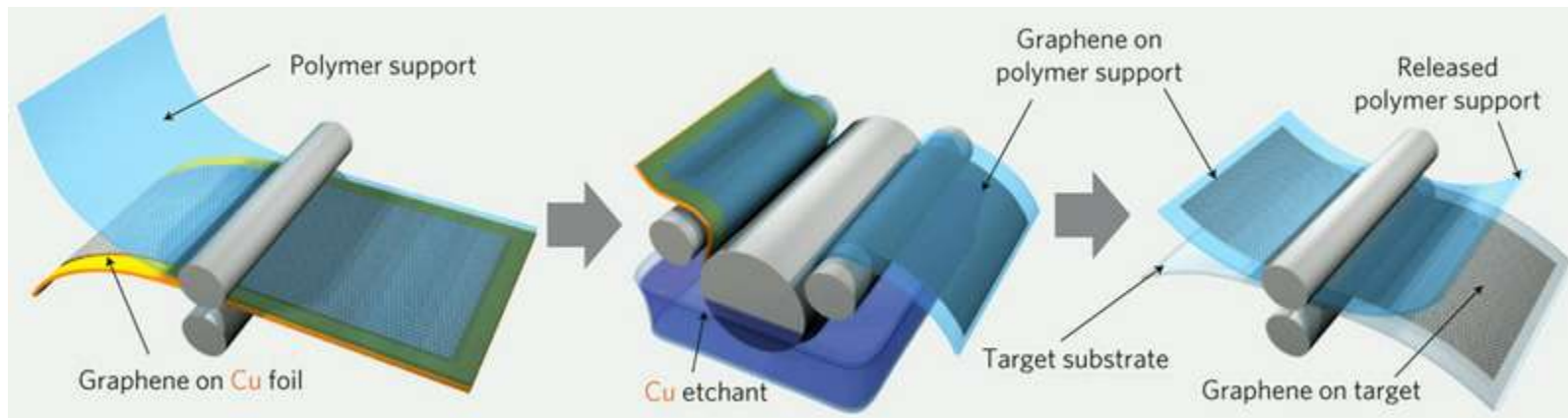
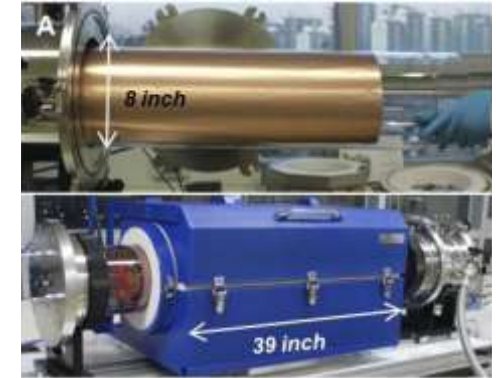
nature
nanotechnology

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 20 JUNE 2010 | DOI: 10.1038/NNANO.2010.132

Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes

*S. Bae et al.,
Nature Nanotechnology 5, 574 (2010)*

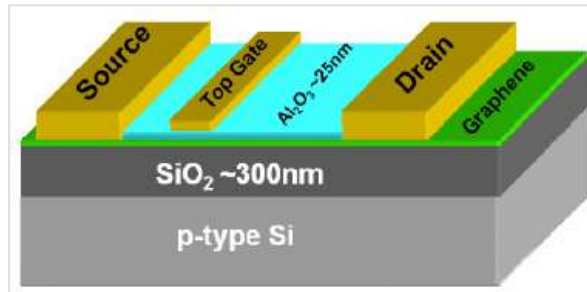
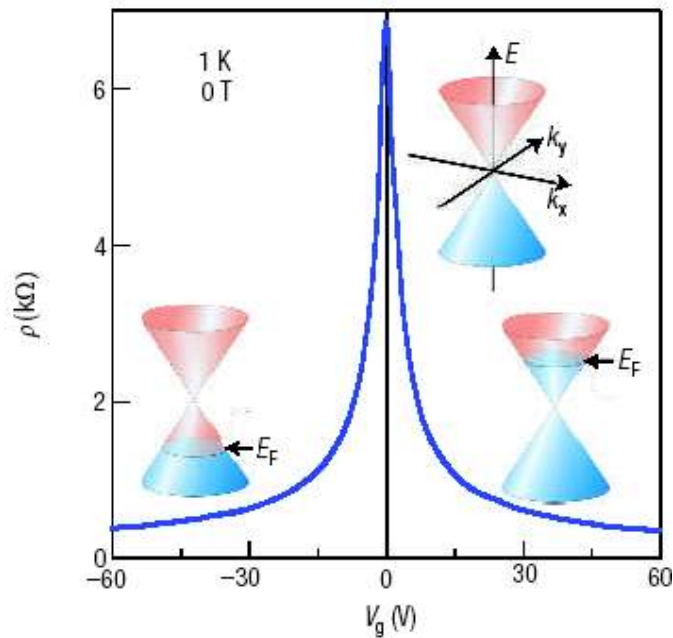


Rolle-zu-Rolle Übertrag von Graphen
via Thermotransferfolie auf eine PET
Folie bei 120°C.

Graphen-PET Touchscreen

Le problème de la lacune électronique absente

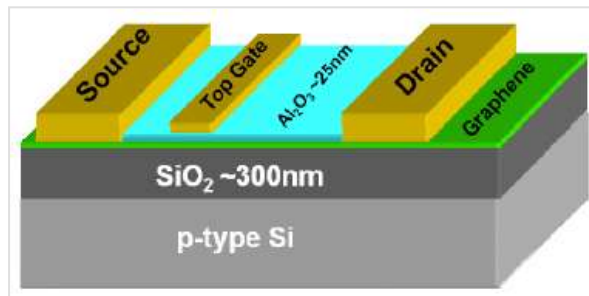
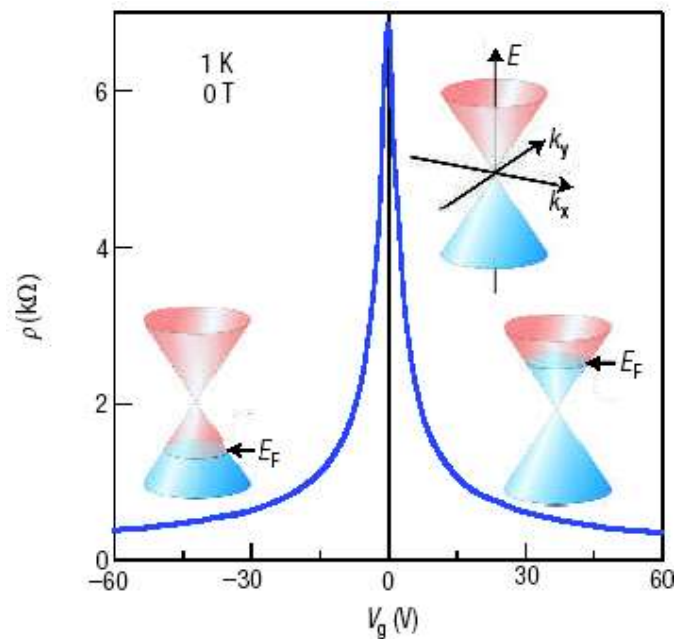
Transistor a effet de champs Ambipolar FET



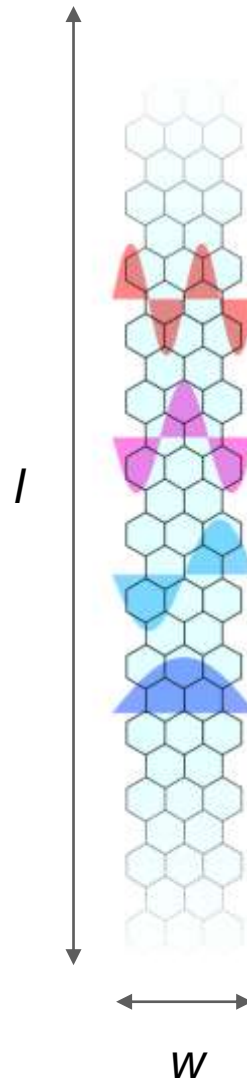
A. K. Geim & K. S. Novoselov. *The rise of graphene. Nature Materials* **6** 183 (2007)

Le problème de la lacune électronique absente

Transistor a effet de champs Ambipolar FET



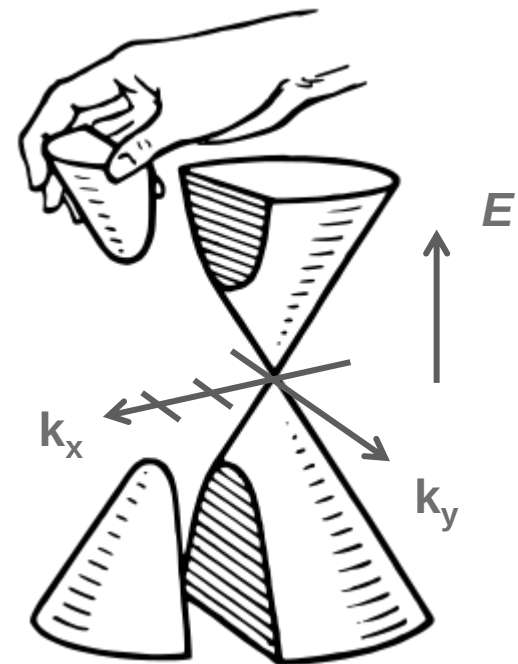
A. K. Geim & K. S. Novoselov. The rise of graphene. *Nature Materials* **6** 183 (2007)



$$l \ll w$$

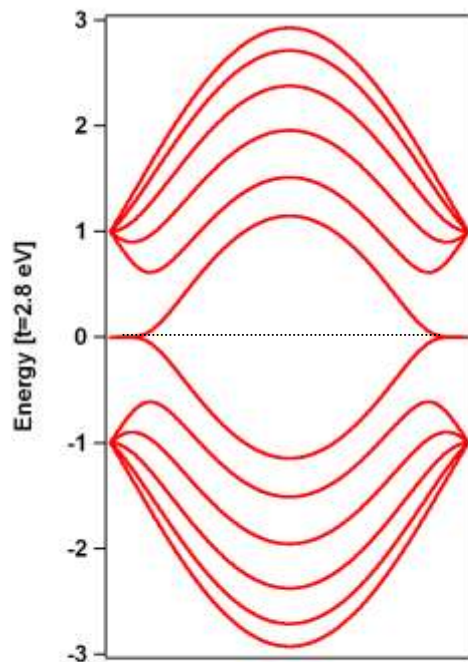
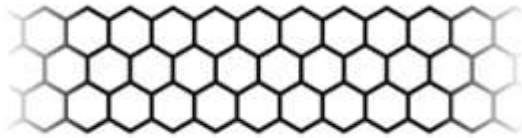
$$k_y = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{l}n \approx \text{continuum}$$

$$k_x = \frac{\pi}{w}n \approx \text{discrète}$$



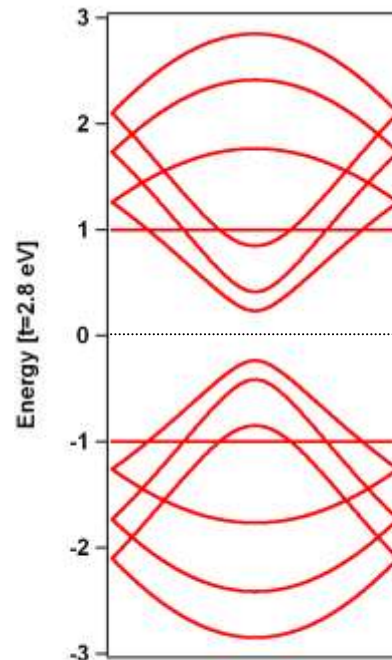
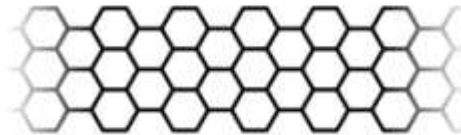
Electronic structure of Armchair and ZigZag GNR

Zigzag GNR



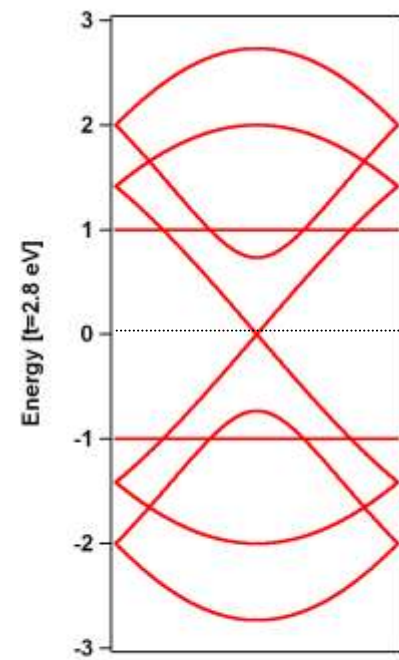
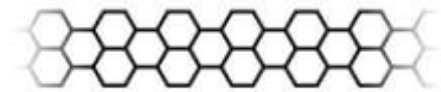
Axial Wavevector

Armchair GNR-7
(semi cond.)



Axial Wavevector

Armchair GNR
("metallic")



Axial Wavevector

Single band Tight Binding π -bands (O. Gröning unpublished)

Graphene Nanoribbons: approche 'bottom-up'

P. Ruffieux, R. Fasel et al. Empa

10,10'-dibromo-
9,9'-bianthryl



Step 1

T_1

200° C
Au(111)



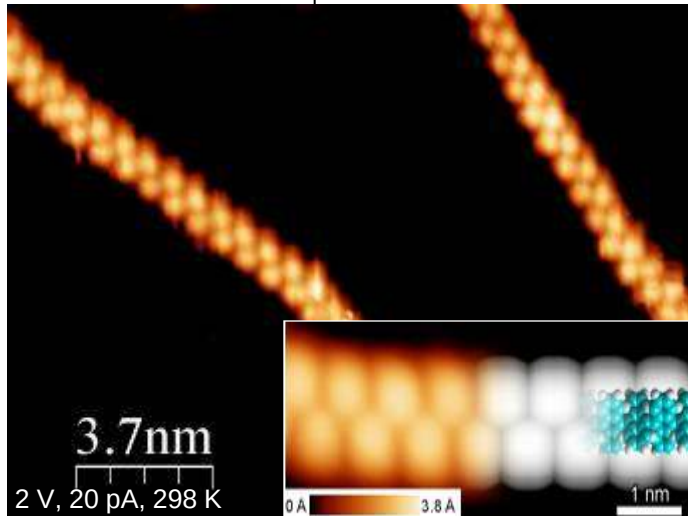
Step 2

$T_2 > T_1$

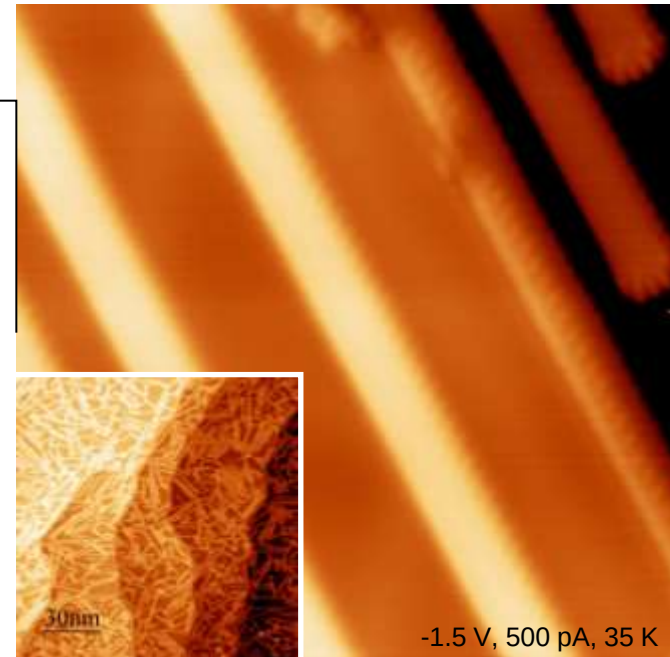
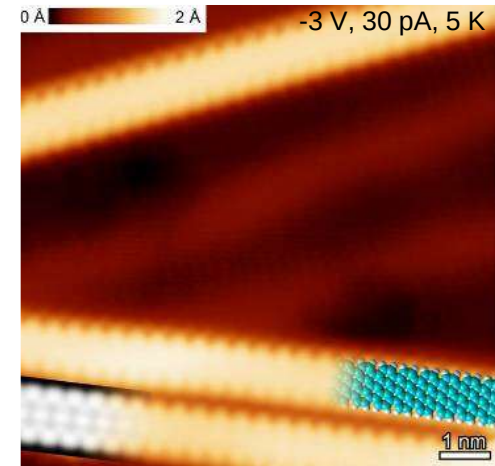
400° C
Au(111)



0.74 nm

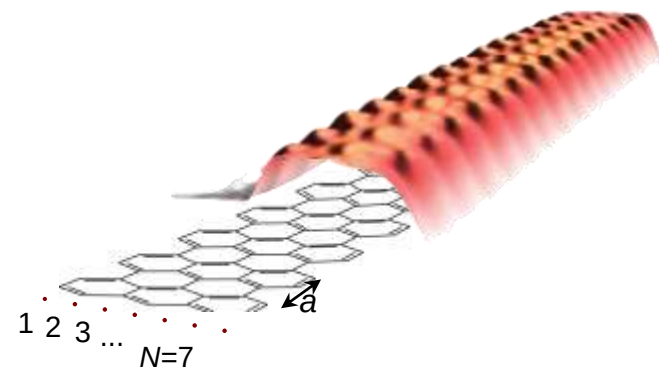
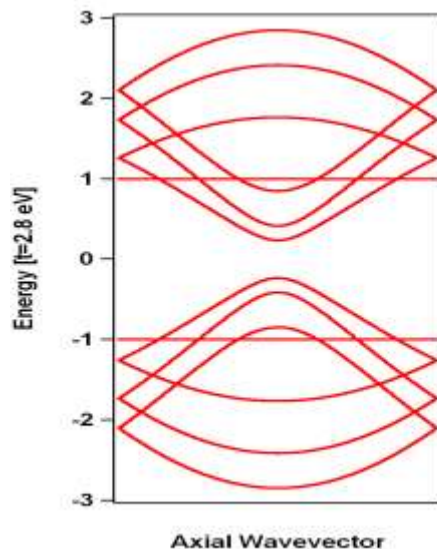


-1.9 V, 80 pA, 5 K

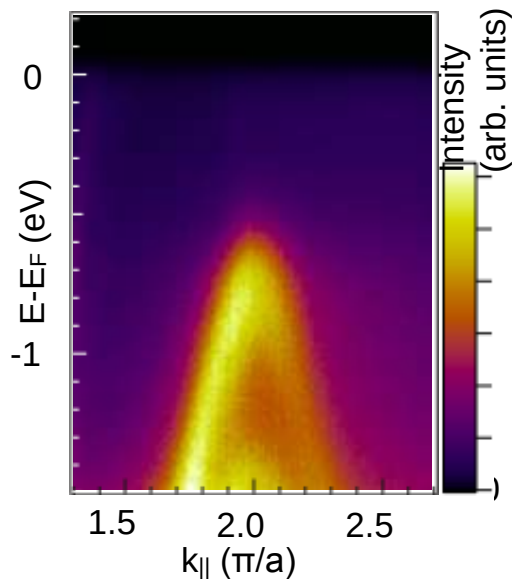


Graphene Nanoribbons: approche 'bottom-up'

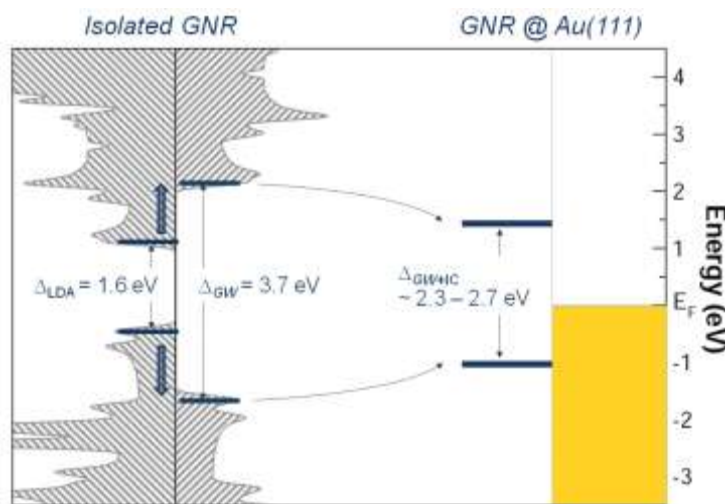
P. Ruffieux, R. Fasel et al. Empa



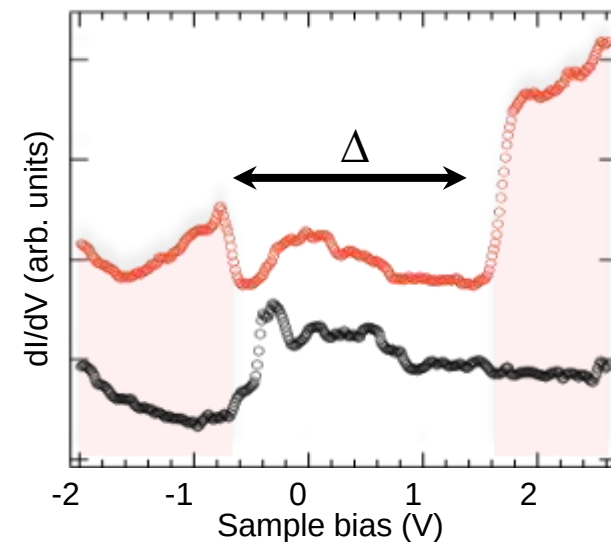
ARPES



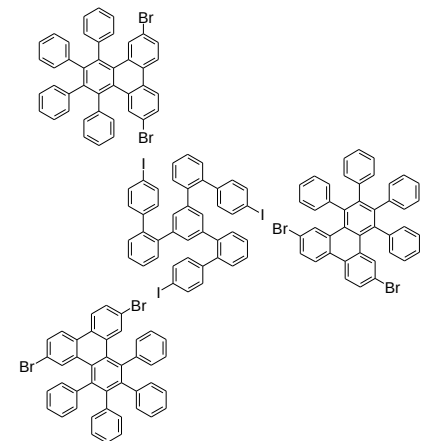
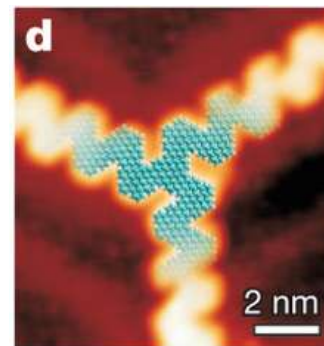
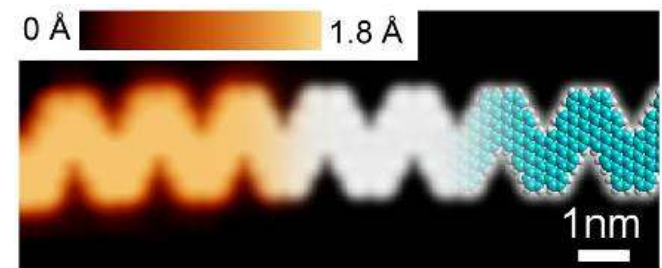
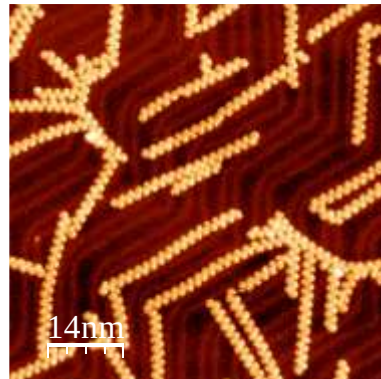
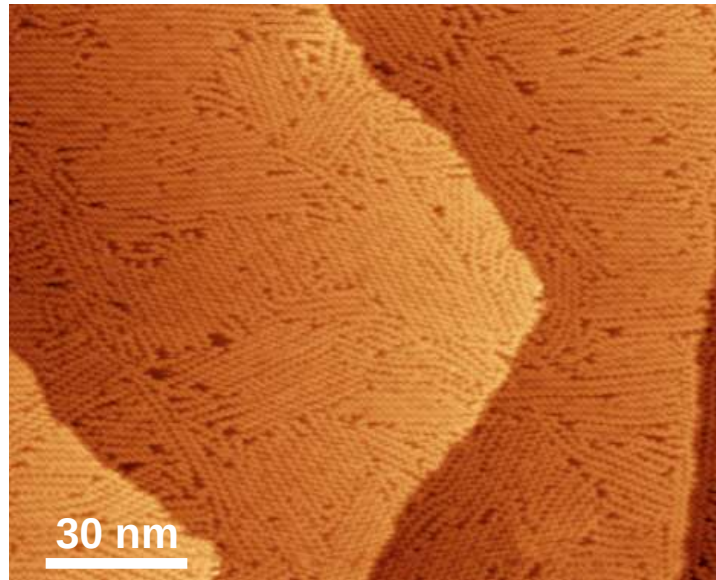
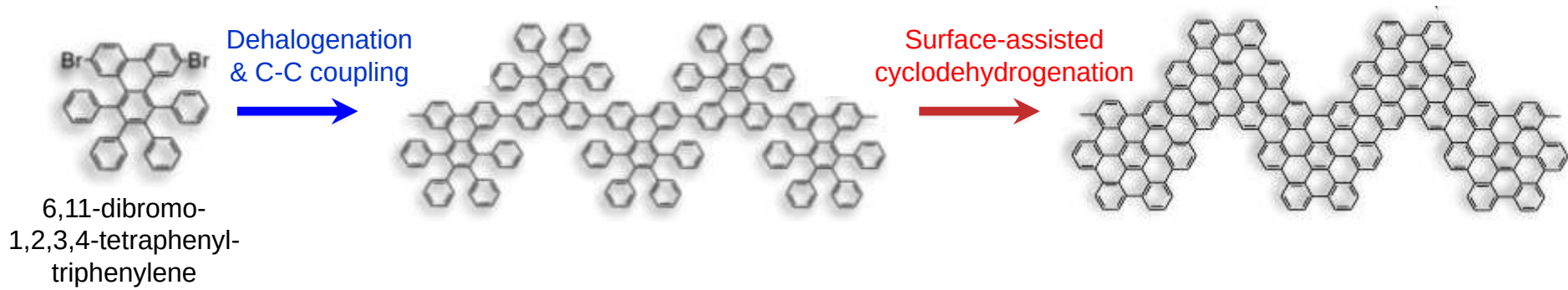
DFT



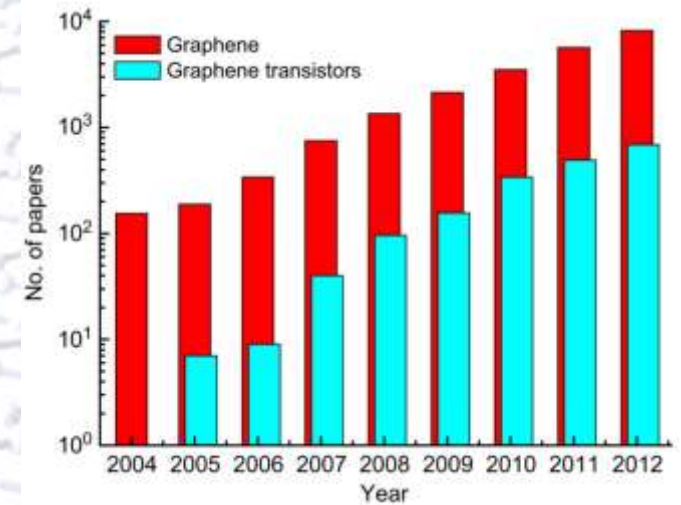
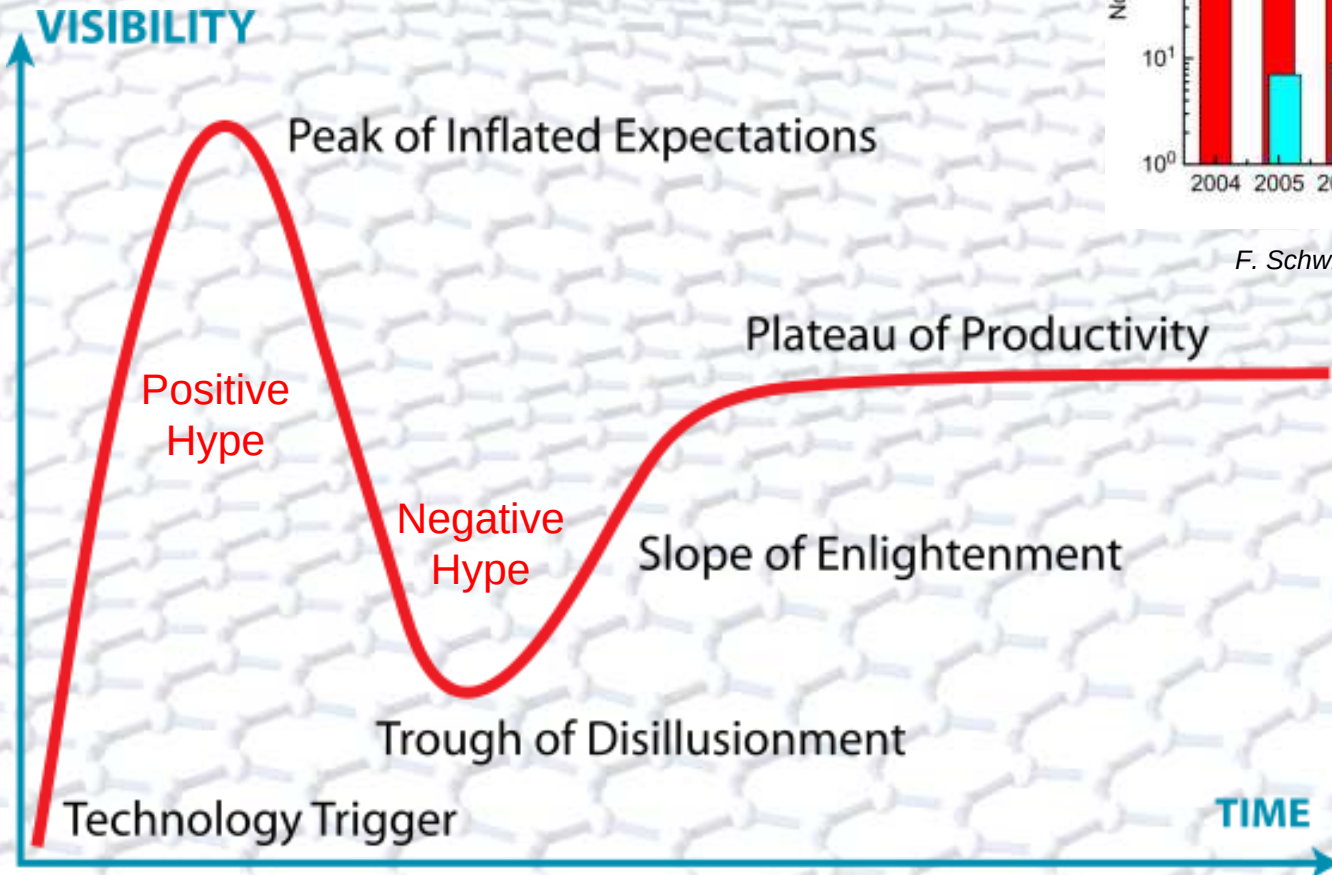
STS



Graphene Nanoribbons: Bottom-up approach



Graphène – hype or hope?



F. Schwierz, Proc. IEEE, 101, 7, 1567 (2013)

adapted from: http://en.wikipedia.org/wiki/Hype_cycle

... dans la phase du 'hype' positive, des prédictions sur des applicaiton réalistiques sont difficiles ...



Graphene flagship initiative Budget: 10⁹ €



J. Kinaret



V. Falko



A. Ferrari



D. Neumaier



S. Roche



V. Palermo



J. Kivioja



A. Helman

Key application fields

Electronic and optical devices

Flexible electronics

Functional lightweight components

Advanced batteries

Budget assumes 50% matching funds by contributing countries

Starting with 126 academic and industrial partners in 17 countries with a 30 month budget of 54 M€

Swiss initial partners:

ETH, Uni Basel, Uni Geneva, Uni Zurich, Empa

*Currently open call for projects within flagship
(Nov. 2013, budget of 9 M€ until 2016)*

- Materials,
- Health & environment,
- Fundamental science,
- High-frequency electronics,
- Optoelectronics,
- Spintronics,
- Sensors,
- Flexible electronics,
- Energy applications,
- Nanocomposites,
- Production

Production

Production en masse adapté à une application spécifique

Défauts

Éviter des défauts (propriétés intrinsèques), ajouter des défauts d'une manière contrôlée

Contacts

Résistance électrique entre électrodes et canal de graphène

Band interdite

Contrôler et maintenir une haute mobilité

Manipulation

2D matériel...

Interactions avec le substrat (free standing / supported / suspended)

