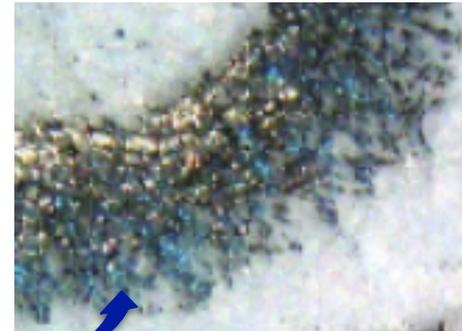
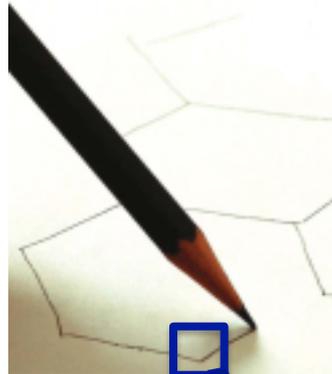


GRAPHENE FLAGSHIP



Le futur est dans une trace de crayon noir



La découverte du graphène

La technique du scotch ou comment effeuiller du graphite

Ingrédients:



substrat
de silice



rouleau
de scotch



cristal de
graphite



(A. Geim, K. Novoselov 2004)

Prix Nobel de
Physique 2010

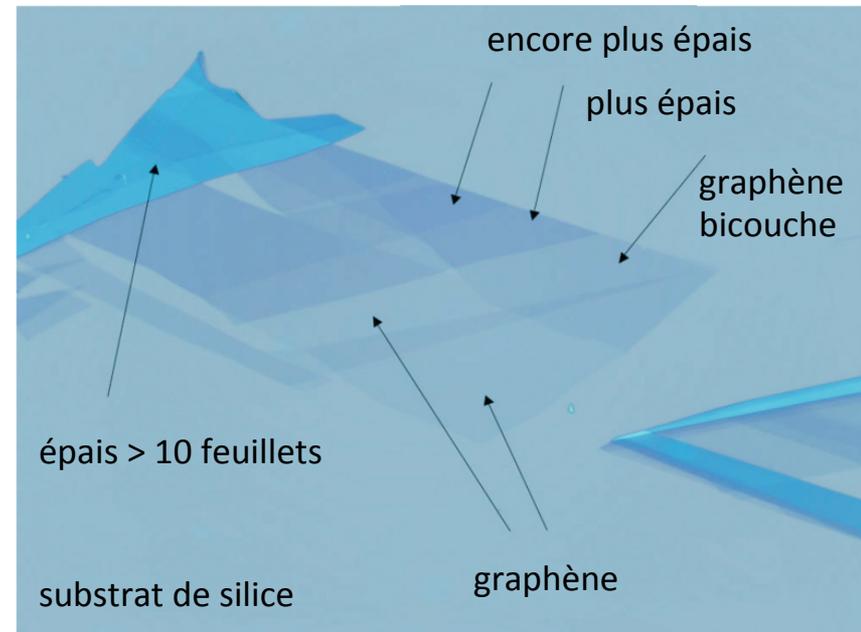
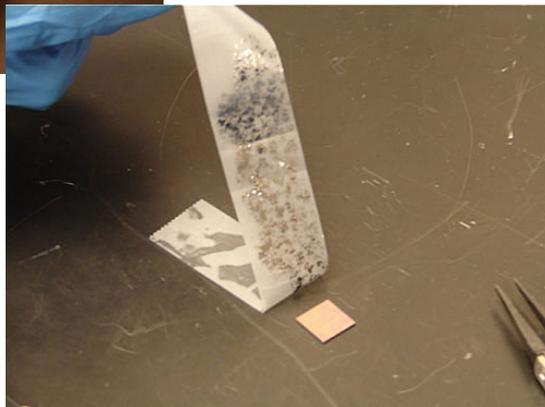
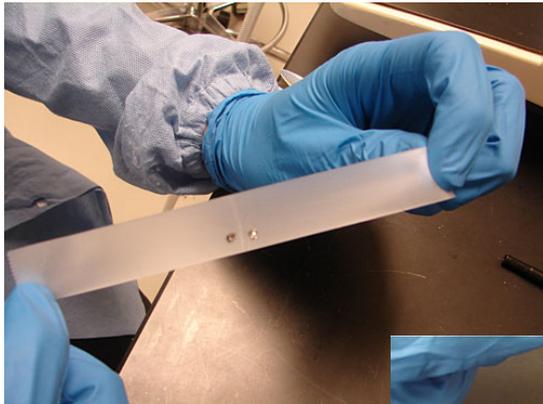
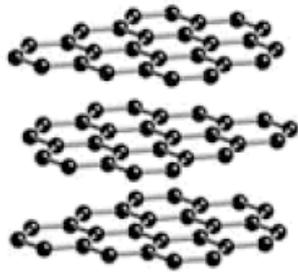


Image en microscopie optique

Qu'est ce que le graphène ?...

3D



Graphite
17°s

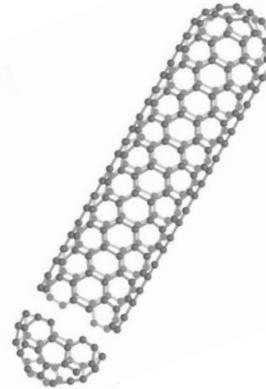
0D



Fullerène
1985

Taille:
0,7 nm

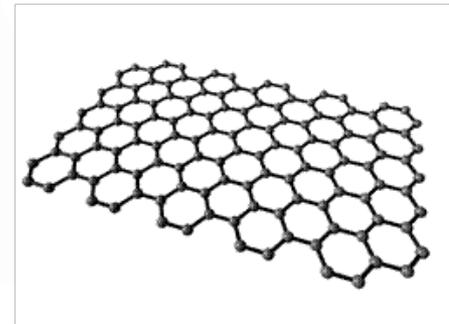
1D



Nanotube
1991

Diamètre:
1 – 10 nm

2D

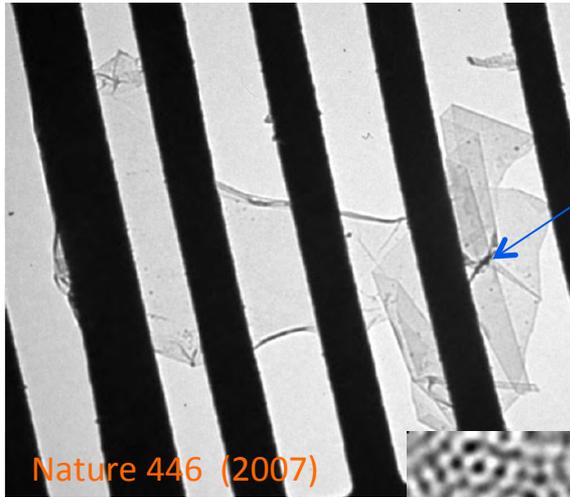


Graphène
2004

Epaisseur:
1 plan atomique

.... ou la saga du carbone

Le graphène: une réalité



Feuillet exfolié
déposé sur une
grille de cuivre

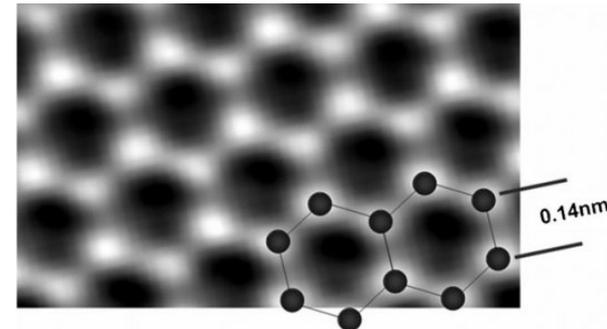
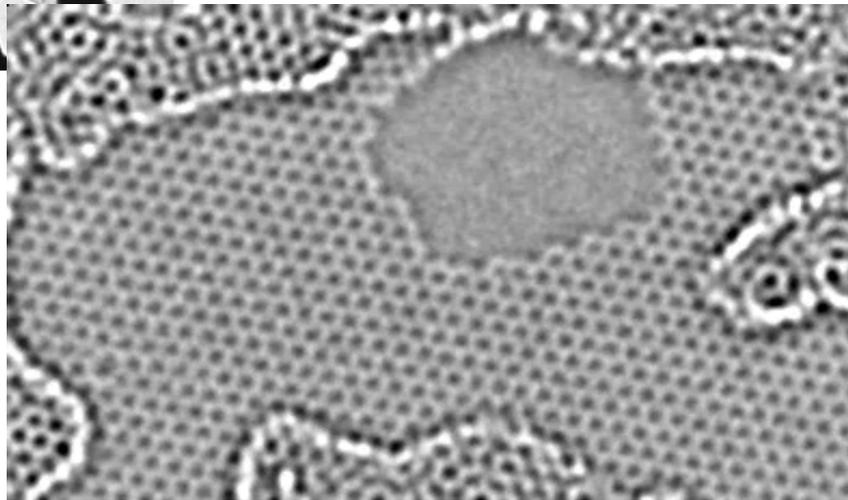
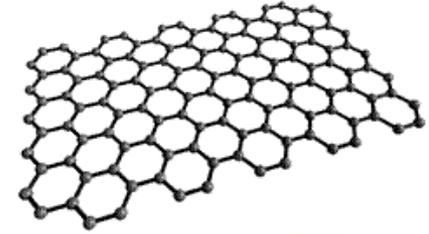
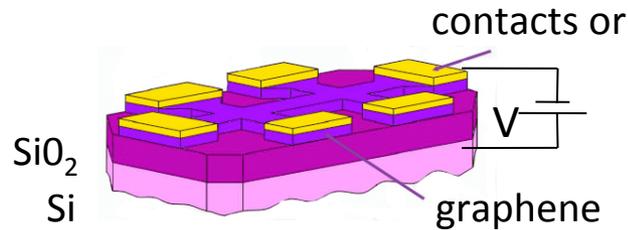


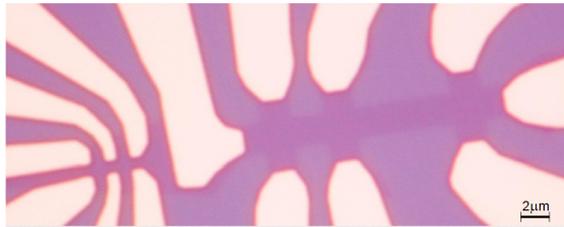
Image de l'arrangement des atomes de carbone obtenue en
microscopie électronique en transmission

Un matériau aux superlatifs

Un conducteur électrique surdoué

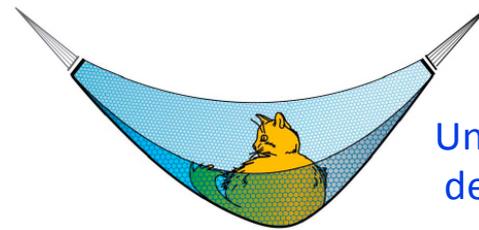


Dispositif de mesure de conductivité



- Les électrons s'y déplacent de façon très particulière car leur énergie est reliée linéairement à leur impulsion
- Leur mobilité est superélevée

Une membrane super résistante super flexible et superfine.....



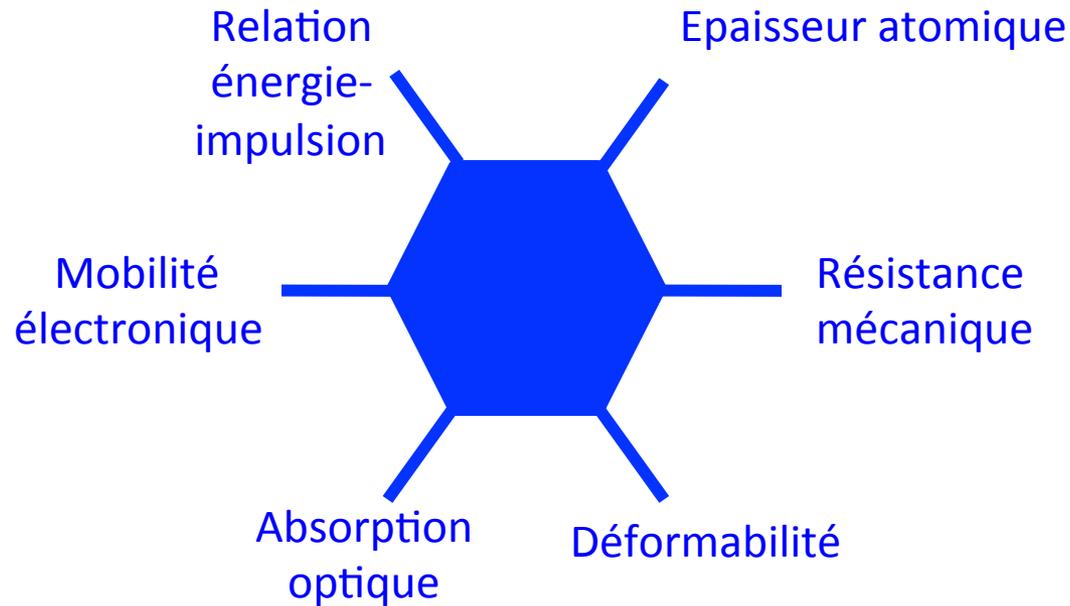
Un hamac en graphène de 1m² pèserait 0.77 mg

- Grâce à la force des liaisons entre atomes de carbone, la contrainte à rupture est de 42 Newtons / m
- Image équivalente: résistance d'un film alimentaire sur lequel on appuierait un poids de 2 tonnes avec une pointe de 1 mm

.... et super transparente

Le graphène absorbe 2,3% de la lumière visible

Des propriétés aux applications

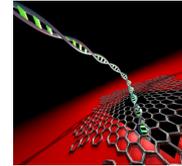


Des propriétés aux applications

Informatique et communication

Santé

Membranes
Capteurs
chimiques

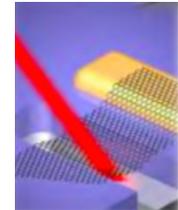


Relation
énergie-
impulsion

Epaisseur atomique

Electronique
rapide

Résonateurs



Energie

Mobilité
électronique

Résistance
mécanique

Matériaux



Conducteurs
transparents

Composites conducteurs
Encres conductrices

Absorption
optique

Déformabilité



Photovoltaïque

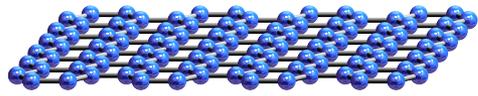


Ecrans tactiles
souples

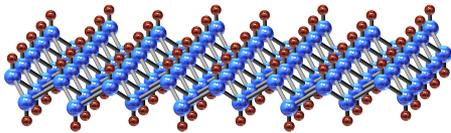
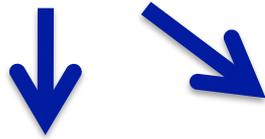
Aéronautique
Automobile

Un nouveau paradigme

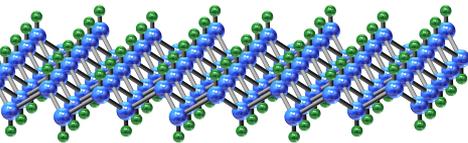
les matériaux d'épaisseur atomique



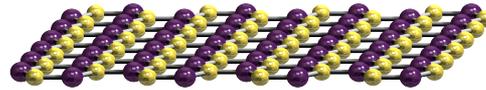
Graphene



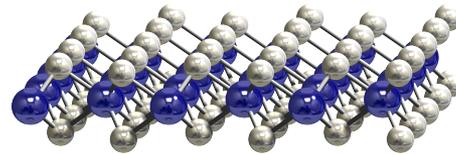
Graphane



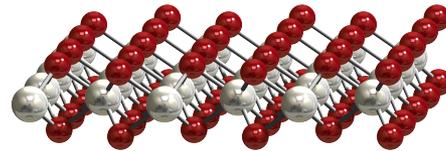
Fluorographene



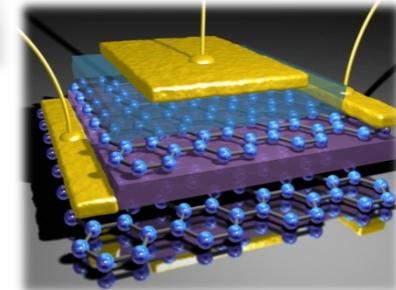
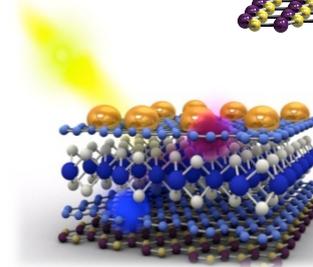
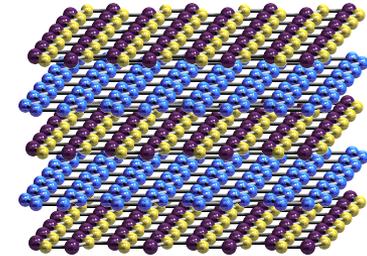
Boron Nitride



MoS₂



WS₂



Grande variété de matériaux et
de propriétés

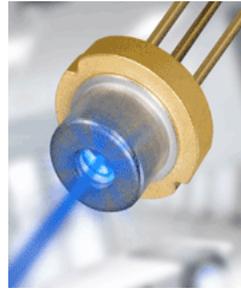
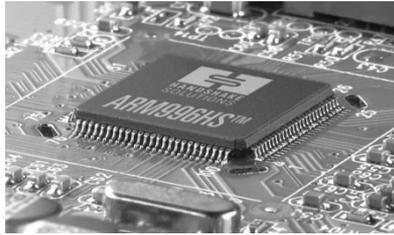


Des possibilités infinies de
combinaisons pour des dispositifs
aux multiples fonctionnalités

Le graphène: une rupture technologique

Notre civilisation technologique utilise peu de matériaux!

Electronique:
silicium



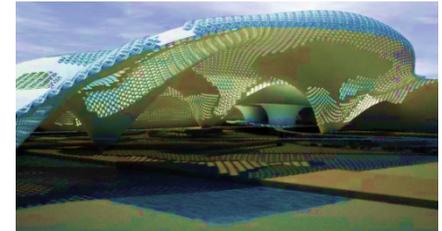
heterostructures



Construction:
acier



plastiques



Aéronautique:
aluminium



composites



Nous avons besoin de plus, avec davantage de propriétés

Un défi relevé par l'Europe



The future in a pencil trace

Un projet sur 10 ans, de l'académique à l'intégration industrielle

La France est le 1° pays bénéficiaire et le CNRS le plus important partenaire

<http://www.graphene-flagship.eu>

Le projet Phare Graphene



Graphene, the future
in a pencil trace

- **Mission:**

” Concrétiser le potentiel du graphène pour révolutionner de multiples industries :
électronique flexible, portable et transparente – calcul haute performance
énergie – santé”

- Réaliser une rupture technologique par rapport à l'état de l'art
- Mettre l'Europe au coeur du processus, avec un retour sur investissement en termes d'innovation technologique et d'exploitation économique
- Répondre au manque d'intégration vertical en Europe vis-à-vis de l'Asie”

Challenges

- **Brevet : activité mondiale 2011**

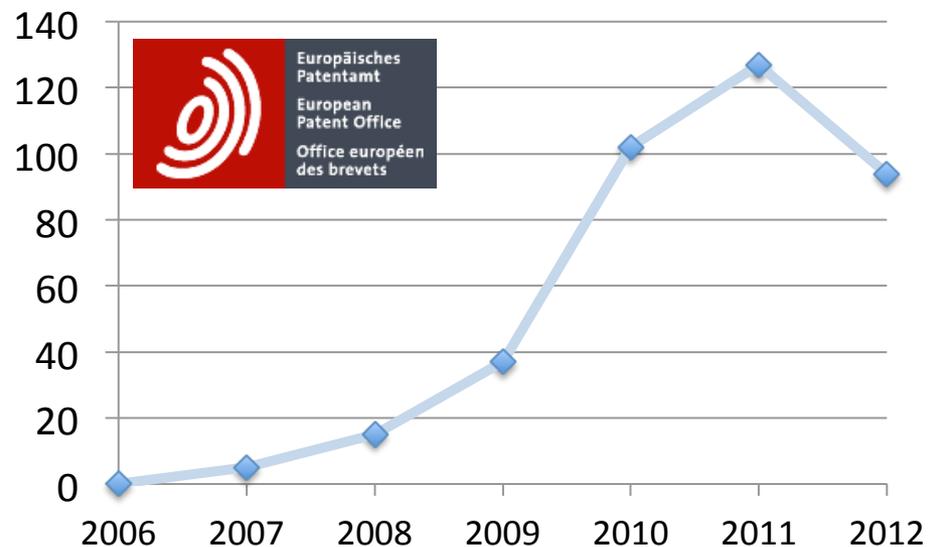
Chine 2200
 USA 1700
 S-Korea 1100
 EU 150

- Office Européen des brevets

- **Articles scientifiques, fév. 2012**

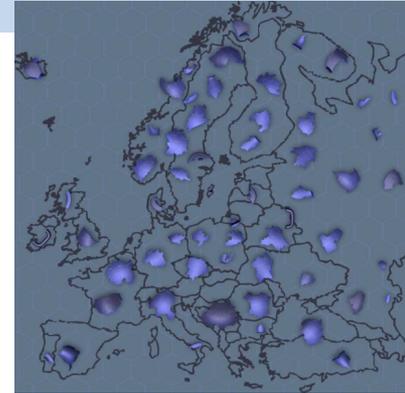
USA 3261 art 104000 cit
 EU 2861 art 97000 cit
 China 2613 art 25000 cit ...

DE 760 art 19000 cit
 UK 513 art 31200 cit
 FR 436 art 12300 cit



Le FLAGSHIP GRAPHENE :

- Coordonner l'effort de recherche Européen et résoudre le problème de fragmentation
- Créer les synergies garantes d'une plus grande efficacité



Amener le graphène depuis le laboratoire vers le monde industriel, en associant acteurs académiques et industrie :

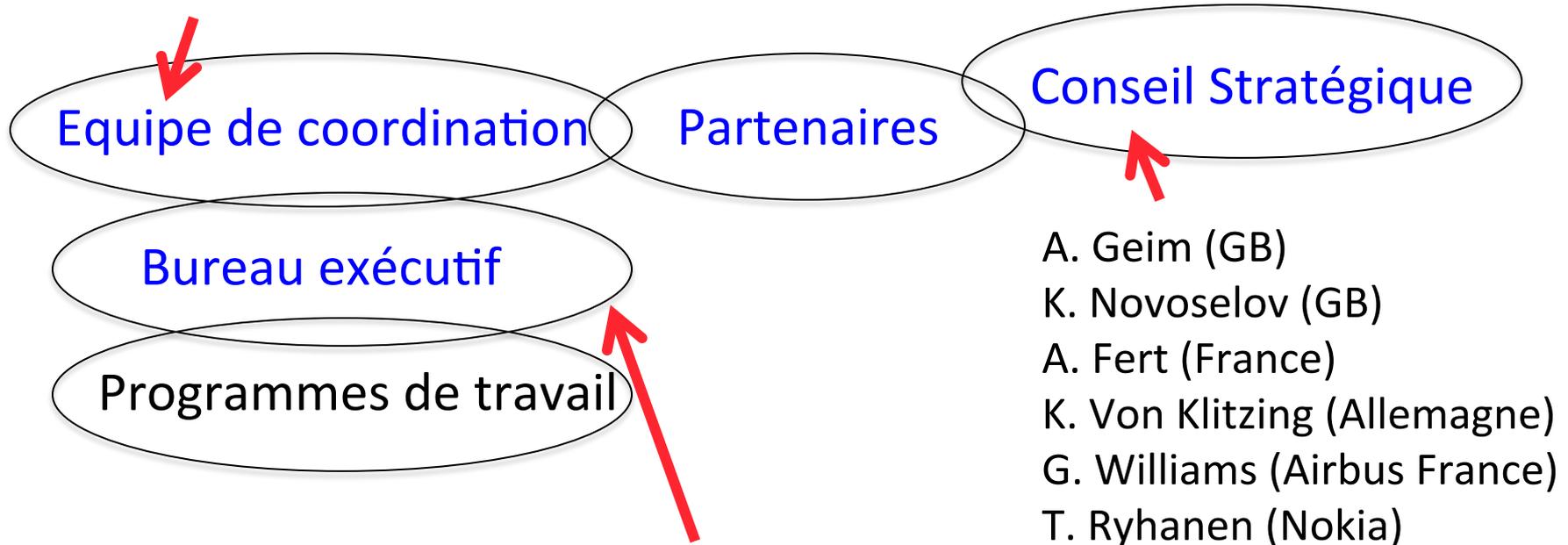
- Feuille de route intégrant recherche, stratégie de développement technologique et de production
- Chaîne industrielle couplant élaboration de matériaux – fabrication de composants – intégration de systèmes

Le projet en l'état actuel

- Cofinancement Union Européenne et états membres (100 M€ / an pendant 10 ans)
 - volet entièrement financé par l'UE: 'Core Project'
 - volet cofinancé UE et états membres: ERANET +
- 1° Phase: Phase de lancement @ FP7 (30 mois = octobre 2013 – mars 2016)
 - **Core Project = Collaborative project – coordinated support action' CP-CSA**
 - **ERANET + = Flag ERA**
- 2° Phase: Phase de maturité @ H2020 avec une nouvelle gouvernance (> 2016)
 - élargissement du consortium du 'Core Project'
 - projets satellites
 - montée en puissance des financements
 - négociation en cours

Collaborative project – coordinated support action' CP-CSA

J. Kinaret (Chalmers, Suède)



15 Membres dont pour la France:

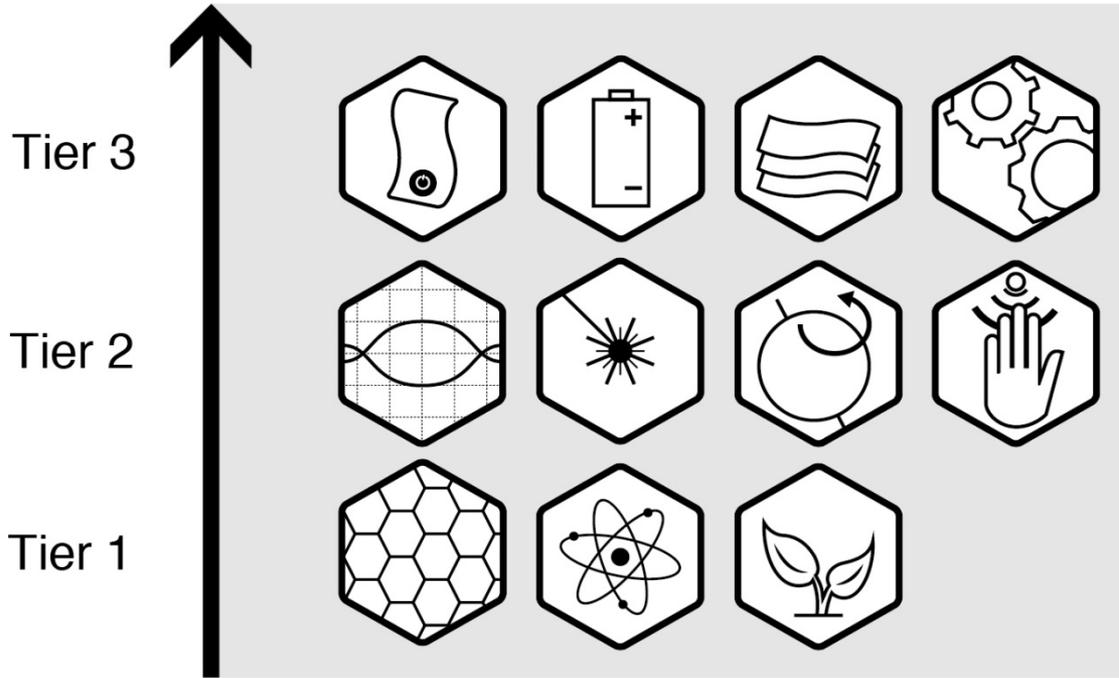
A. Loiseau (Cnrs- Onera)

E. Quesnel (CEA)

11 Programmes de travail

Science et Technologie

increasing maturity
and company involvement



WP1 Materials



WP2 Health & Environment



WP3 Fundamental science of graphene
and 2D materials beyond graphene



WP4 High Frequency Electronics



WP5 Optoelectronics



WP6 Spintronics



WP7 Sensors



WP8 Flexible Electronics



WP9 Energy Applications



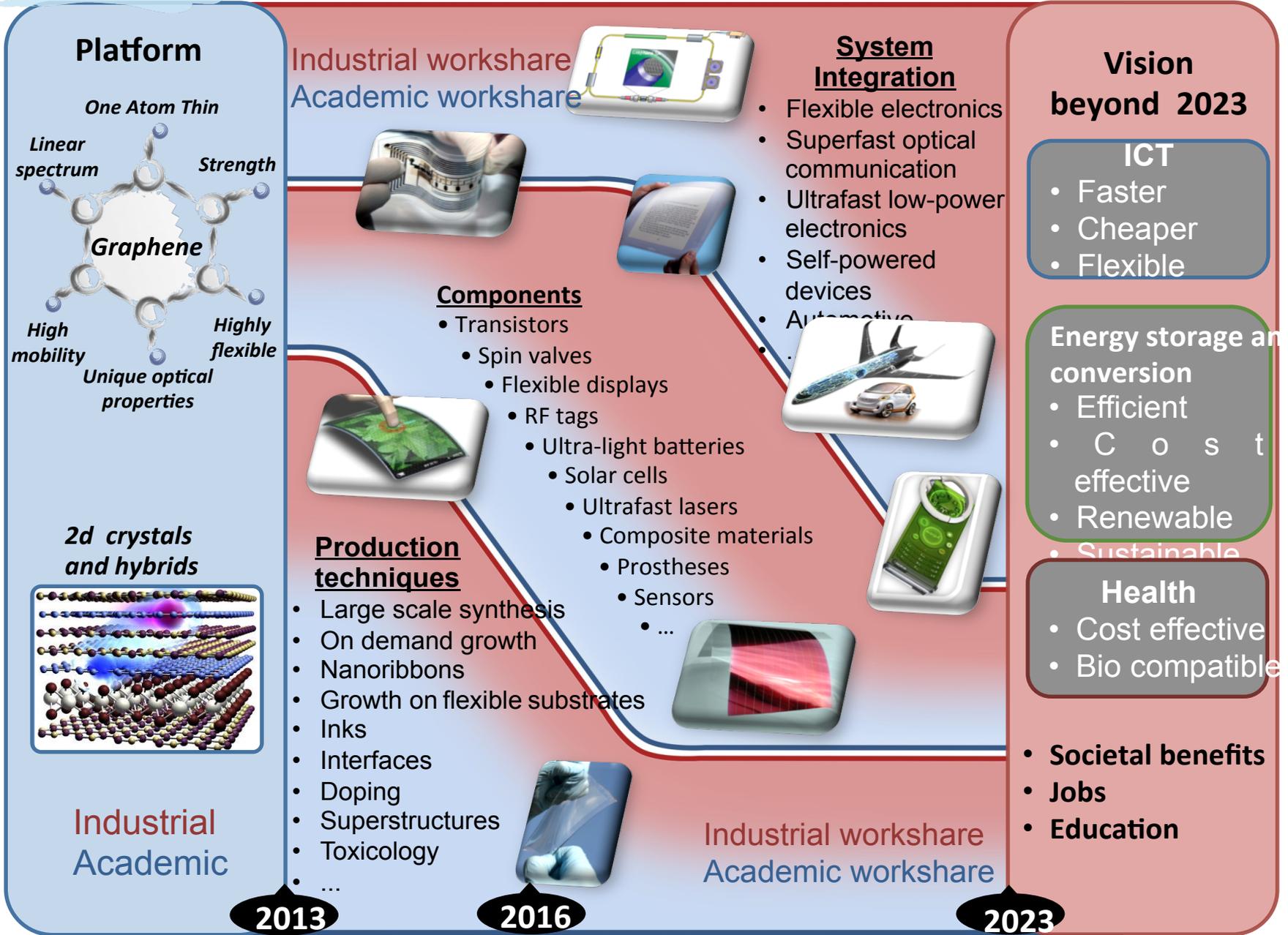
WP10 Nanocomposites



WP11 Production

- Implications des partenaires français dans tous les programmes
- Implication dans le pilotage des WP 2 et 9

Feuille de route, octobre 2012

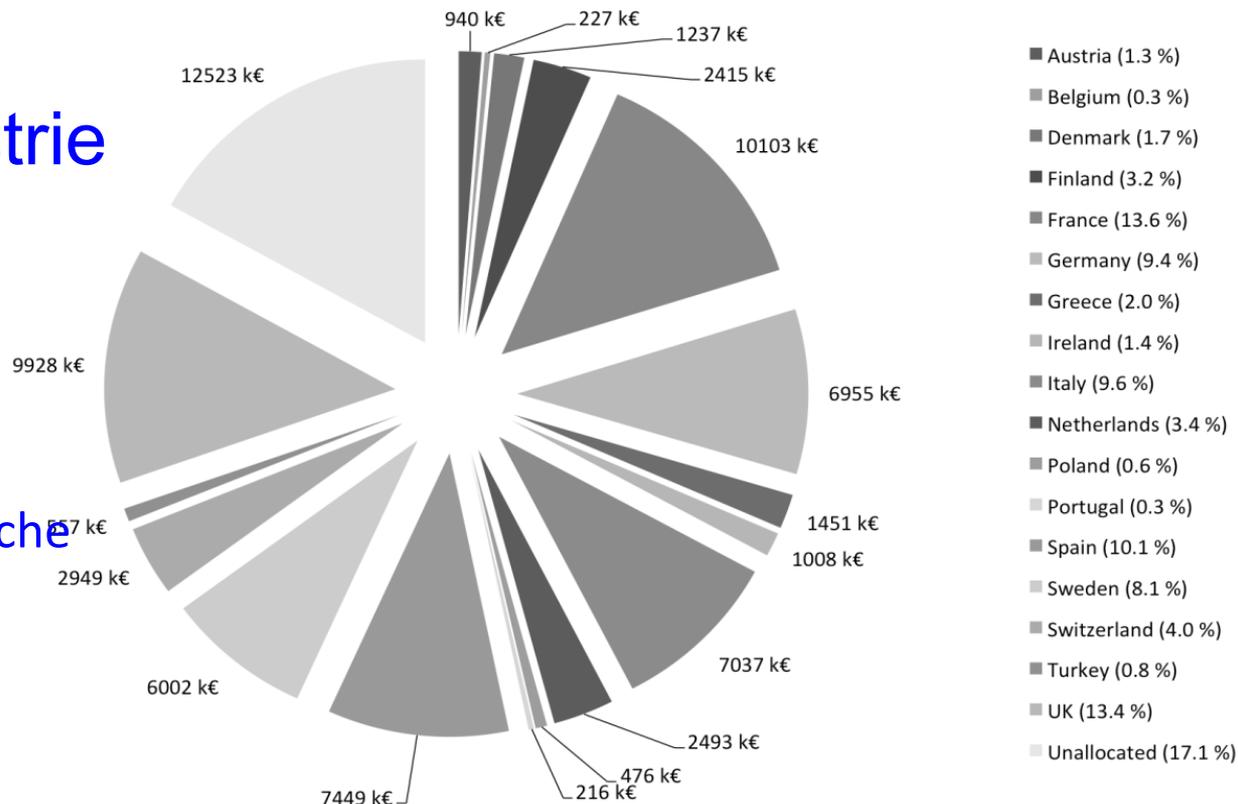


- Rassemblement de propositions individuelles
 - Organisation par le consortium pilote du projet de colloques thématiques
 - Textes de synthèse rédigés au niveau national par des états membres
-
- **La contribution en France:**
 - Reflexion coordonnée par les groupements de recherche du CNRS 'graphene' et 'physique mésoscopique qui rassemble une soixantaine de laboratoires
 - Tenue d'une série de colloques 'les Discussions Lavoisier'
 - Rédaction d'un document de synthèse



Académie + Industrie

- 74 entités légales
 - 136 responsables
 - 126 groupes de recherche
 - 17 pays
- Budget de la 1° Phase: **74 M€**
 44% aux organismes académiques,
 24% à des instituts de recherche
 14% à des partenaires industriels;
17 % (9 M€) réservé pour un 'open call'



Parmi les industriels:
Airbus Industrie, Thales, Aixtron

La France dans le Projet

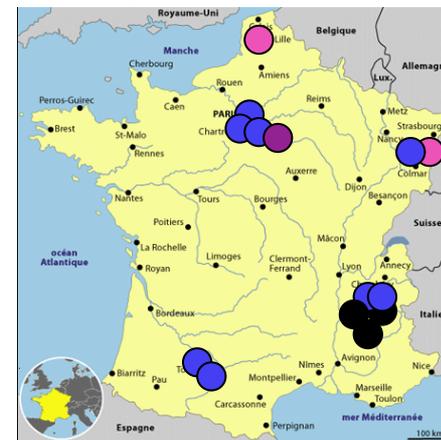
- La France est le 1^{er} partenaire = 14,4 % (6.38 M€) du budget attribué
- 15 Laboratoires du CNRS, Universités, CEA, Onera et Thales
- 30 Responsables scientifiques
- Entités légales:

CNRS,

CEA,

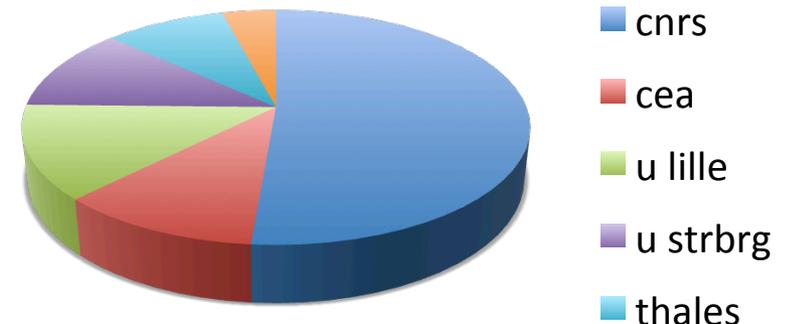
Universités de Lille et de Strasbourg,

THALES



- En chiffres:

CNRS	[3.10 M€ / 468 p.m.]
CEA	[1.22 M€ / 101 p.m.]
U. Lille	[0.57 M€ / 118 p.m.]
U. Strasbourg	[0.75 M€ / 105 p.m.]
Thales TRT	[0.74 M€ / 83 p.m.]



- Première extension du Core Project dans la première phase
- Réserve de 9.2M€ pour de nouveaux partenaires soit 18 – 24 consortia d'équipes
- 11 thèmes orientés vers des recherches applicatives + 1 thème blanc
- 1 à 2 projets seront sélectionnés par thème (350 ou 700 k€ / projet)
- Projets portés par des consortia de 2 - 4 équipes, partenaire industriel souvent requis
- Intégrabilité et complémentarité vis-à-vis des WP existants doit être démontrée
- Institutions déjà partenaires non éligibles (CNRS, CEA...)
- Ouverture: 25 novembre 2013 - date limite de soumission: 5 février 2014
<http://www.graphenecall.esf.org/>
- Evaluation et sélection par un comité d'experts extérieurs au Flagship

Open call topics -1

- **Standardization :**
 - achieve a reliable tool box and standard procedures for assessing quality of graphene and related materials in relation with the targeted applications
 - post growth methods for quality control and industrial in-line monitoring
- **Chemical sensor, bio sensors and bi-interfaces (with an industrial partner)**
 - selective detection of single molecule
 - cell-bionic systems: technologies for communication with living cells and tissues
 - detection of electrical field and chemical gradient at membranes/cell surfaces
- **Membranes technologies (with an industrial partner)**
 - ultra-filtration, desalination, new renewable energy production
 - energy harvesting technologies using membranes as fluid vectors
 - nanoresonators and High Q resonators
- **Catalysts for energy applications (with an industrial partner)**
 - demonstration of catalytic electrode integration into electrochemical device
 - development of efficient Gr-based catalyst nanomaterials in energy devices
- **Functionalized materials for composites and energy applications (with an industry) :**
 - development of innovative Gr for improving efficiency of energy conversion and storage

Open call topics -2

- **Functional coatings and interfaces (industry led)**
 - include Gr into complex multiscale architecture for low-weight and high performances applis.
 - target functionalities and benchmark of technological advantages; material production
- **Integration into semiconductor devices (with an industrial partner)**
 - develop a scalable route for wafer scale integration of Gr films, assess properties
- **New layered materials and heterostructures (industrial partner desirable)**
 - scalable growth of new types of 2d crystals and their characterization
 - new Gr for spintronics devices: methods to induce spin-orbit interaction to couple electric and spin signals or to make all Gr spin valve devices
- **Passive components for RF applications (with an industrial partner)**
 - design and realisation of Gr based passive RF components and performance assesement
- **Integration with Si photonics (with an industrial partner)**
 - demonstrate the potential for wafer scale integration of Gr with opto-electronic circuits based on Si platform
- **Prototypes based on Gr and other 2d crystals and hybrid systems (industry led):**
 - industry led
 - demonstrate a functional prototype device exploiting Gr performance beyond state of the art

- Coordination transnationale des agences de financement pour
 - renforcer les synergies entre programmes de financement
 - préparer des appels à projets communs et transnationaux
 - assurer une cohérence entre projets nationaux et européens
 - assurer l'interconnexion avec le 'Core project' des Flagships
- Coordinateur Flag ERA: E. Geoffroy (ANR, France)
- 22 partenaires de 17 Etats membres à deux niveaux :
 - stratégique: ministères
 - opérationnelle: agences de financement
- Financement européen réservé au travail de coordination
- Travail organisé en 7 WP
- Flag ERA a démarré le 1^o octobre 2013
- 1 call transnational en 2014

Un moteur à exploiter

- Utiliser le Flagship pour créer une dynamique de coopérations et de recherches
- Plusieurs atouts en France
- Diversité des compétences, synergies universités – organismes - entreprises
- Structuration nationale des recherches
 - Groupements de recherche nationaux (GDR) :
 - Graphene & nanotubes [A. Loiseau]: 50 à 60 équipes !
 - Physique quantique et mésoscopique [G. Montambaux, B. Plaçais]
 - Fondations Nanoscience [A. Fontaine]
 - Réseaux sciences et technologie : C’nano, Renatech, METSA
 - National facilities: LNCMI, SOLEIL, LETI, ...

