

Intercalation du Li dans du Graphène sur un substrat de SiC

Marion Bonhomme

Maîtres de stage : Dr Stefan Heun et Yuya Murata



Sommaire

- Introduction
- Expériences
- Résultats
 - **Différence de hauteur entre les régions 1x1 et $6\sqrt{3}$ avant et après recuit**
 - **Triangles**
- Conclusion

Introduction

Graphène

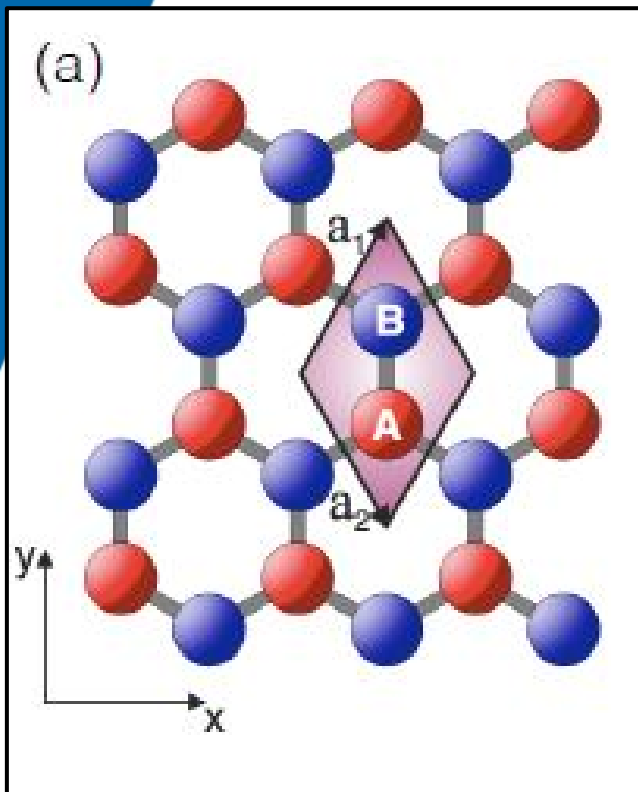


Schéma du graphène

Matériau 2D, structure des atomes de C en nids d'abeille

Isolé pour la 1^{ère} fois en 2004 par Novoselov et Geim

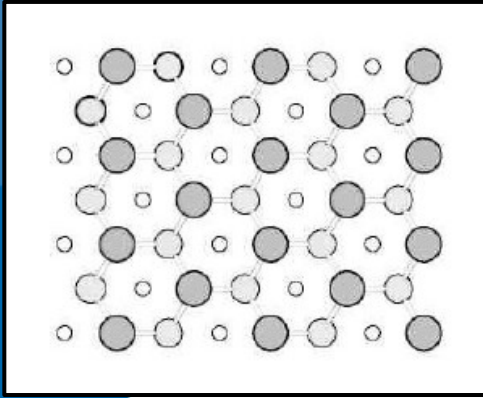
Distance entre 2 atomes de carbone = 1,42 Å

$$a_1 = a_2 = 2,46 \text{ \AA}$$

Propriétés du graphène:

- Mobilité électrique: $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- Conductivité thermique : $4000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
10 fois plus élevée que celle du cuivre

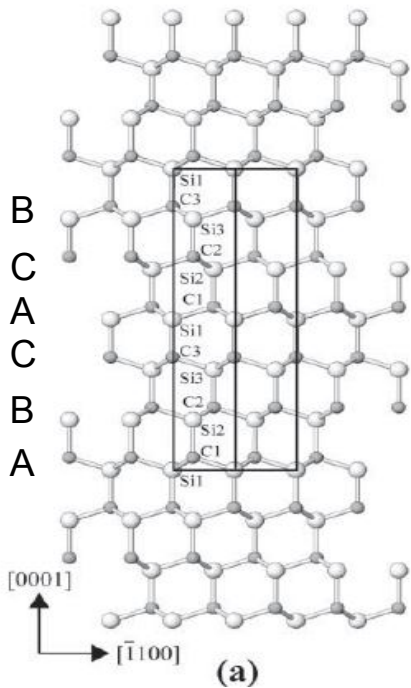
SiC 6H : Vue de dessus



Substrat de SiC :
empilement de bicouches
d'atomes de Si et de C

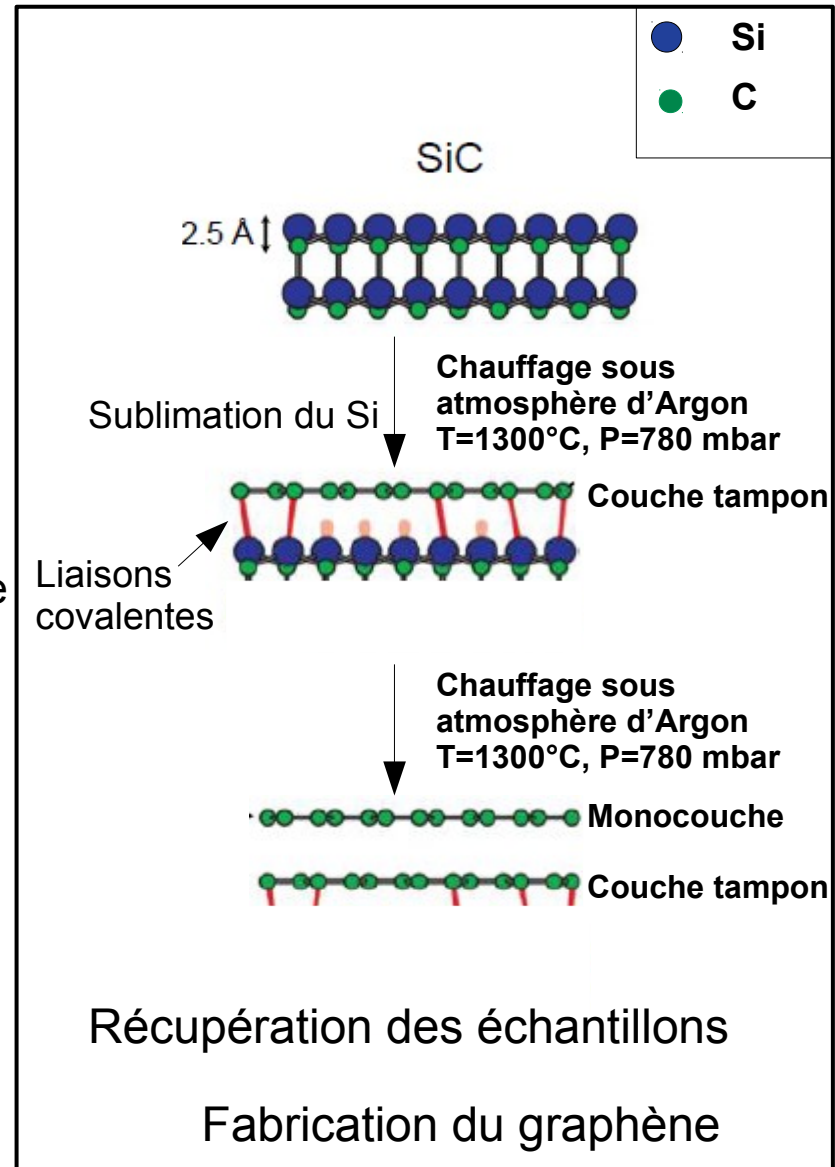
SiC 6H:

- H: hexagonale compacte
- 6 : périodicité



SiC 6H : Vue transversale

Carbure de Silicium (SiC)



N. Carey, Physical Review, 93(195421), 2016.

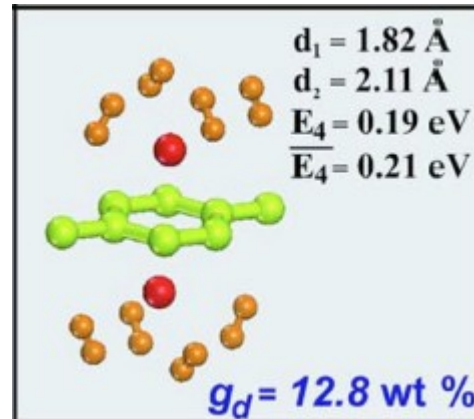
Intérêt Li sur graphène

Batteries



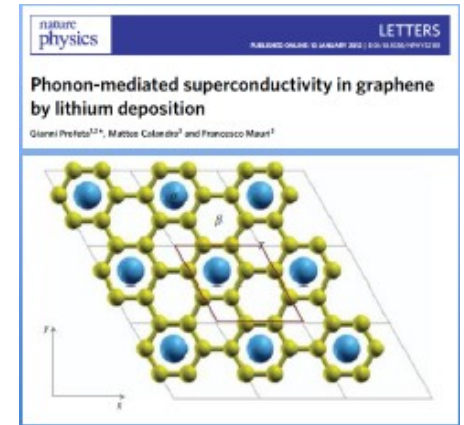
E. J. Yoo and al. Nano Lett, 8(2277), 2008.

Stockage d'hydrogène



C. Ataca *et al.*, Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 043123.

Superconductivité



G. Profeta *et al.*, Nat. Phys. 8 (2012) 131.

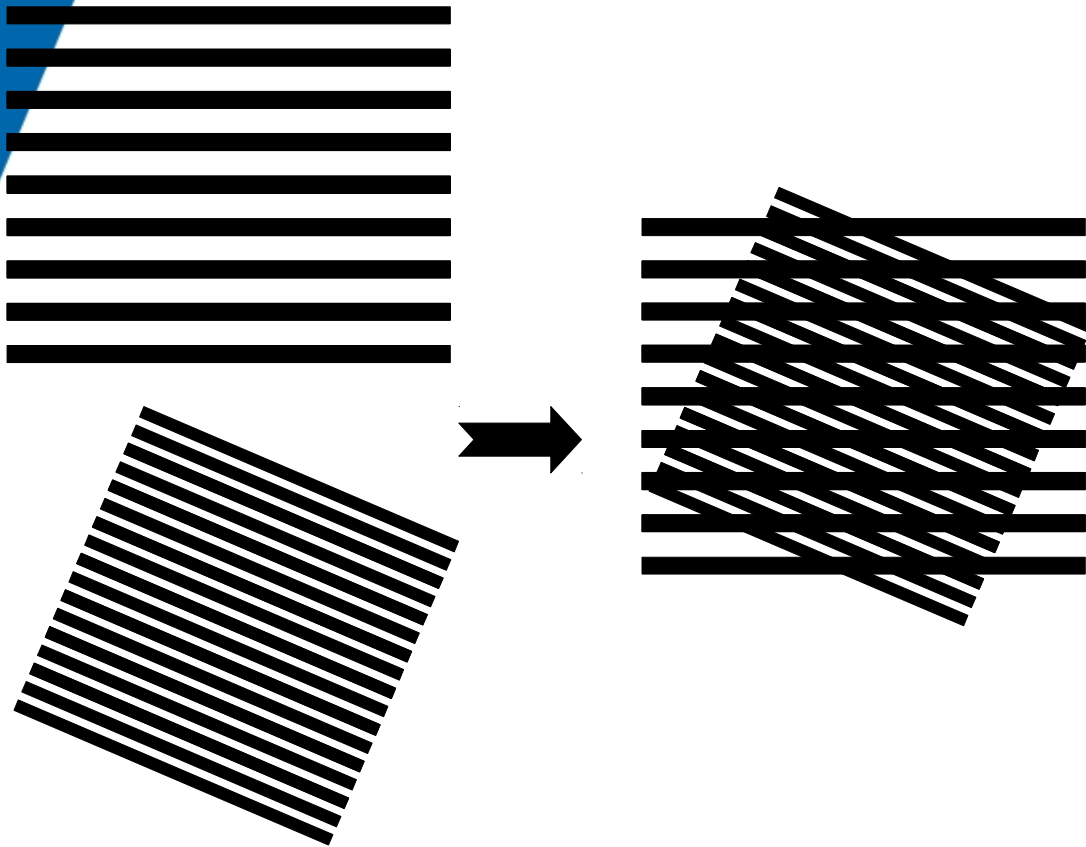
Etudier l'intercalation du Li dans du graphène et la transformation des échantillons après des recuits grâce à 2 méthodes :

- La diffraction d'électrons lents (LEED)
- Le microscope à effet tunnel (STM)

Expériences

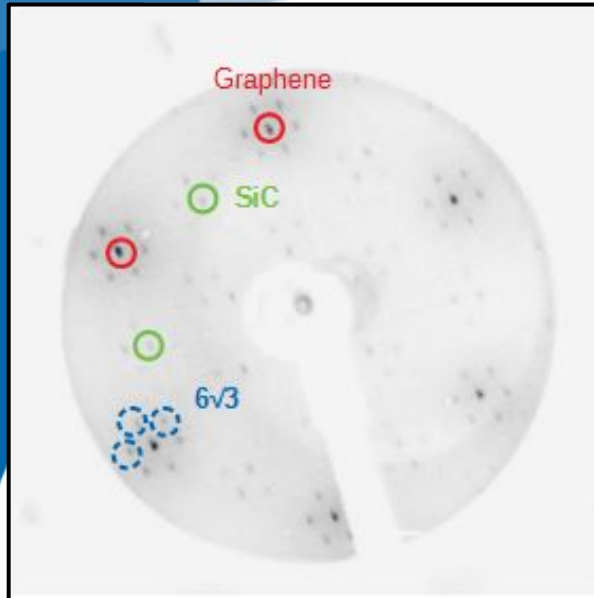
Motif de Moiré

Superposition de 2 réseaux
→ création d'une nouvelle
périodicité



Point de départ : échantillons de SiC avec des régions de graphène monocouche et des régions de couche tampon

Echantillon vierge



Cliché LEED

- 3 types de points :
- Graphène (rouge)
 - SiC (vert)
 - $6\sqrt{3}$ (bleu)

Paramètre échantillon:
• Recuit à 900°C

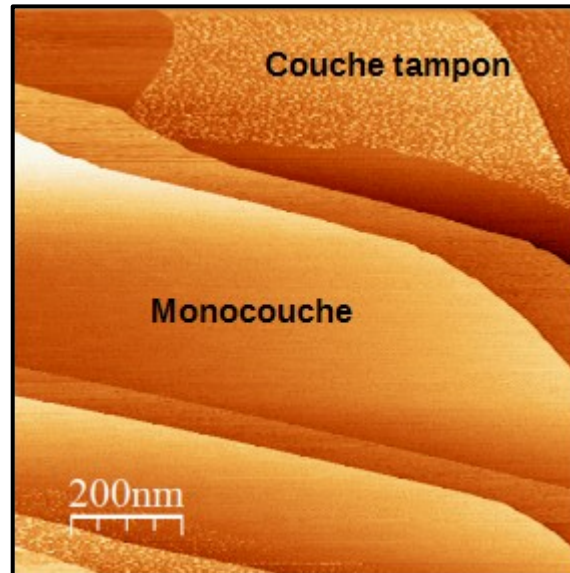
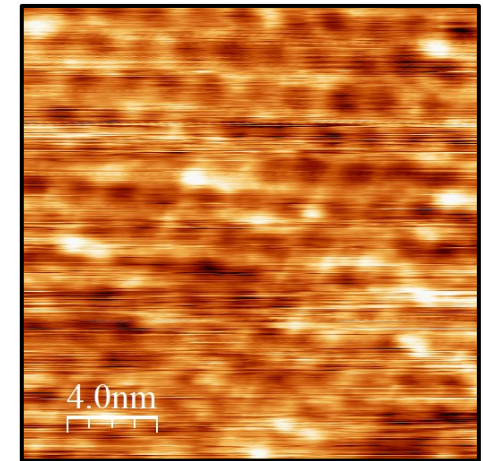


Image STM

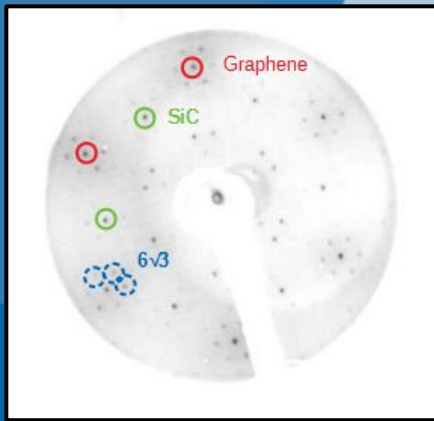
- Observations:
- Terrasses de SiC
 - Monocouche/ couche tampon



*Zoom région monocouche:
Reconstruction $6\sqrt{3}$*

Motif de Moiré dû à la superposition du graphène et du SiC avec la couche tampon qui est attachée au substrat

Reconstruction 1x1



Cliché LEED

- Paramètre échantillon:
- Dépôt Li pendant 3 min

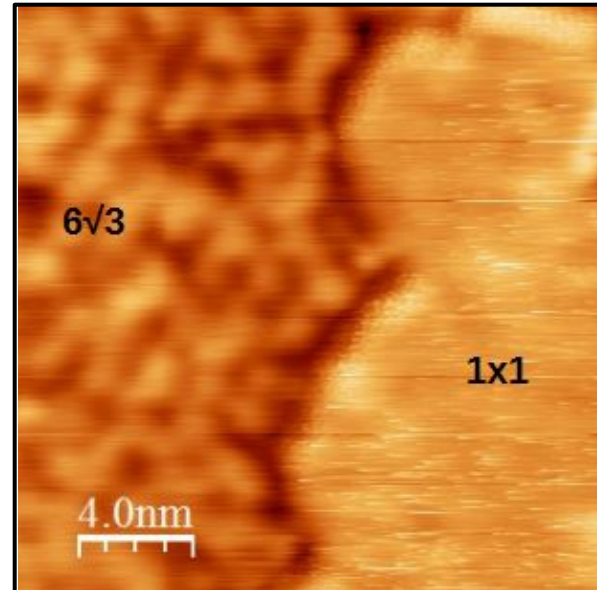
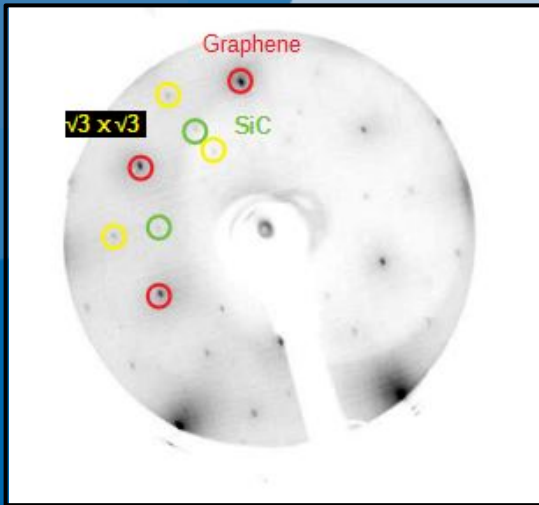


Image STM

Absence de motif de Moiré
→ les liaisons Si-C sont brisées par
l'intercalation du Li

Reconstruction 1x1

Reconstruction $\sqrt{3}$



Cliché LEED

Paramètre échantillon:
• Dépôt Li pendant 33 min
→ régions 1×1 recouvre
l'ensemble de la surface

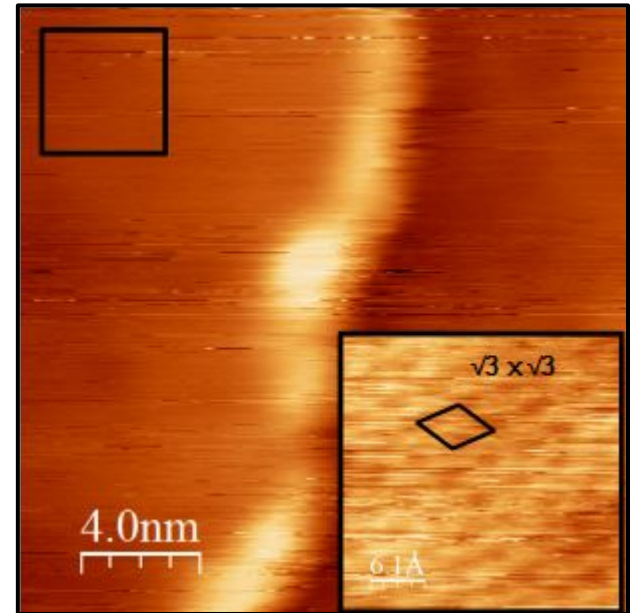
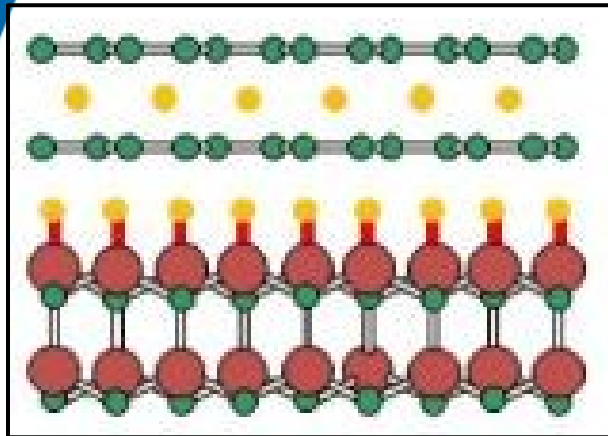
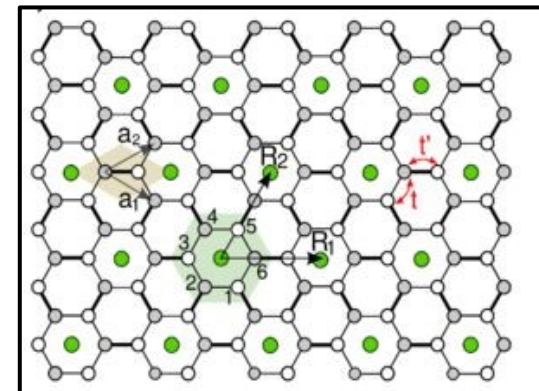


Image STM



Reconstruction $\sqrt{3}$

Motif de Moiré dû à
la superposition du
graphène et du Li

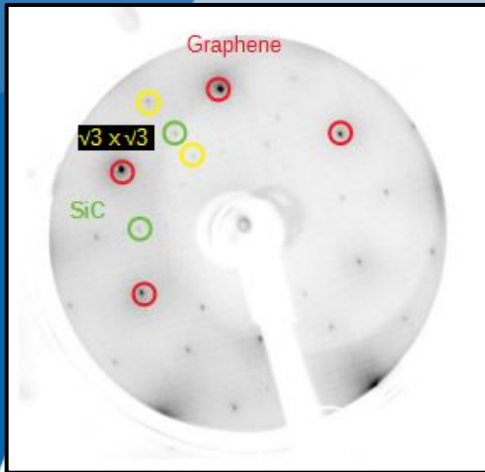


Reconstruction $\sqrt{3}$

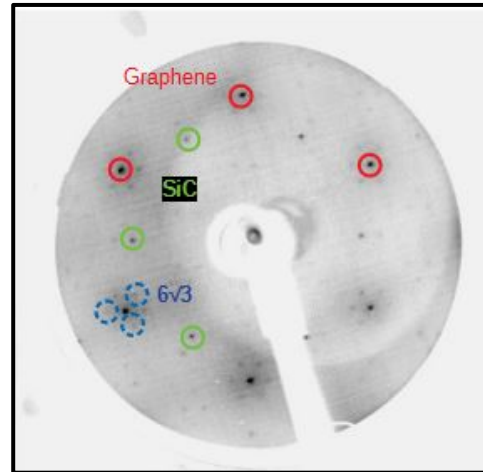
N. Carey, Physical Review, 93(195421), 2016

Recuit pendant 10 min
à différentes températures

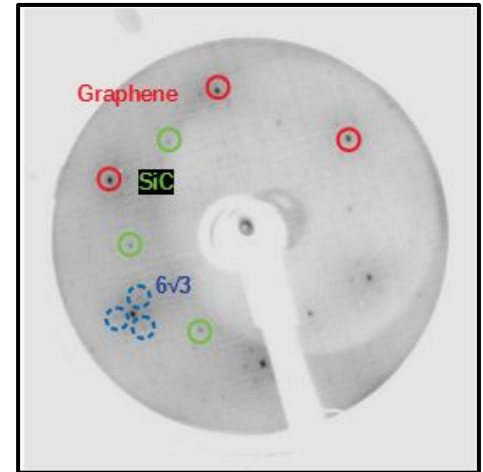
Echantillon après chauffage



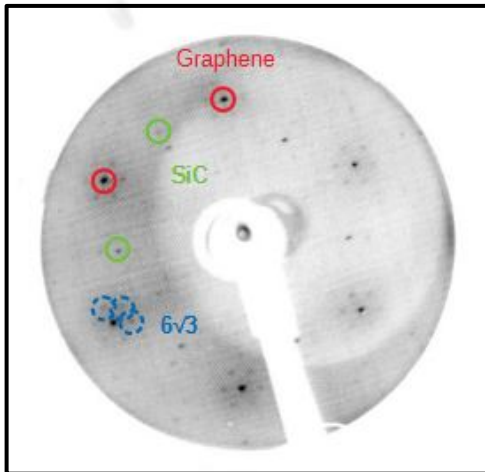
T=150°C



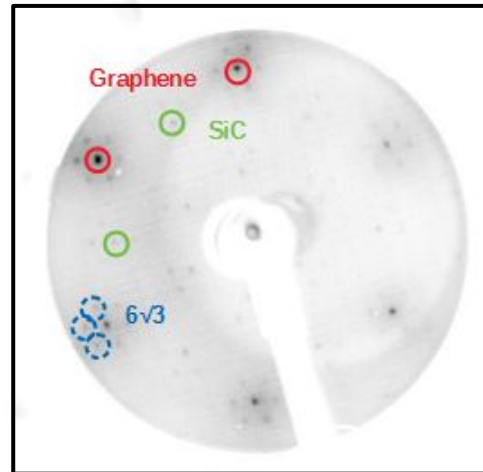
T=400°C



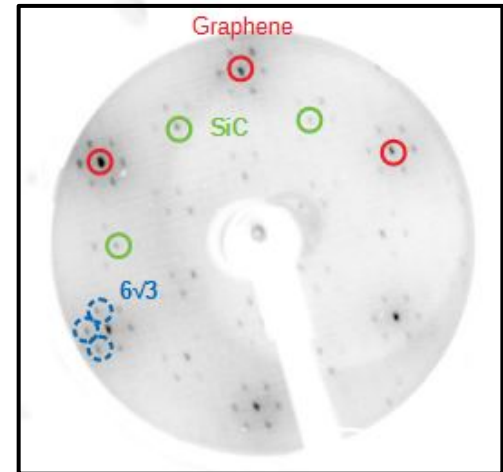
T=500°C



T=600°C

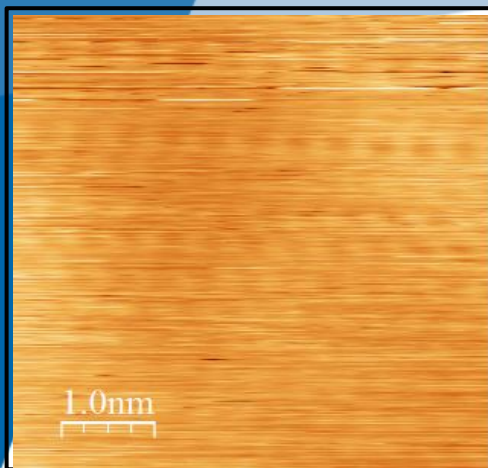


T=800°C

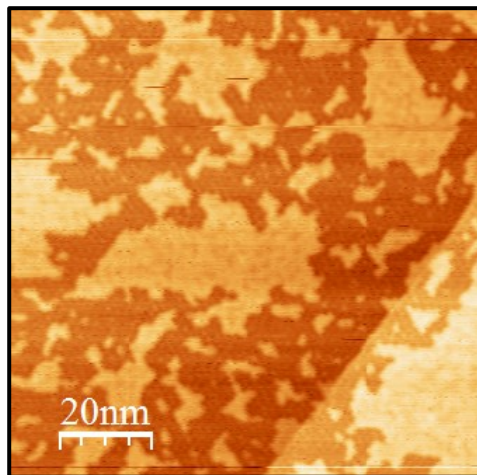


T=900°C

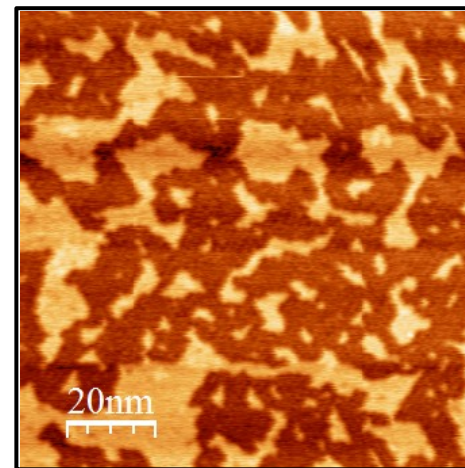
Echantillon après chauffage



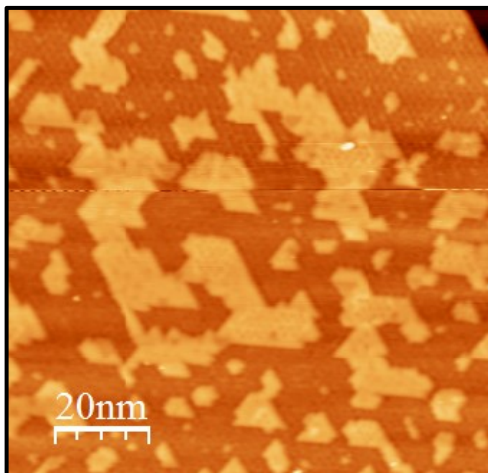
T=150°C



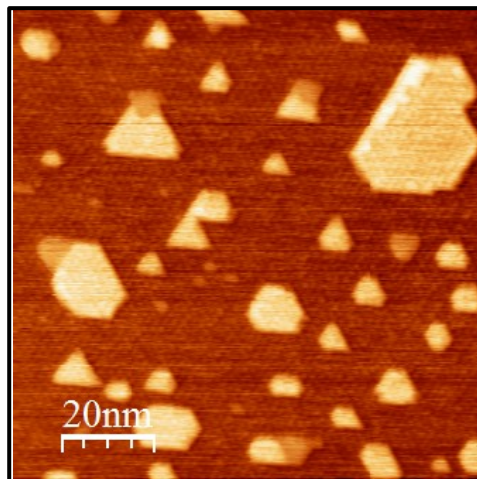
T=400°C



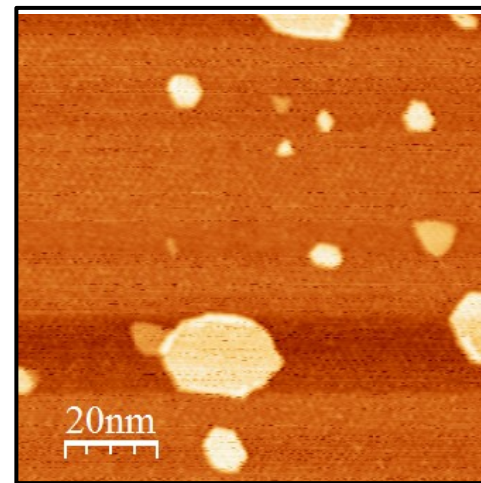
T=500°C



T=600°C



T=800°C



T=900°C

Résultats

1) Différence de hauteur entre les régions 1×1 et $6\sqrt{3}$ avant et après recuit

Principe :

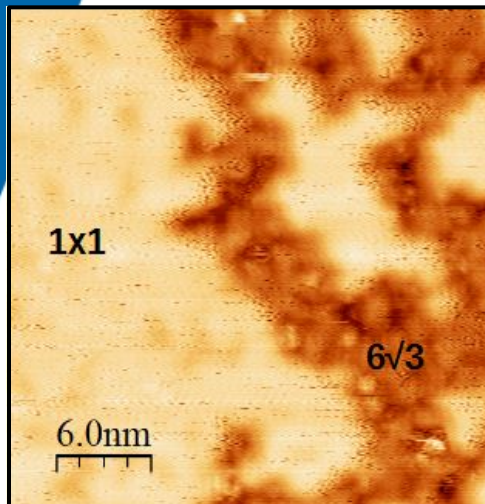


Image STM

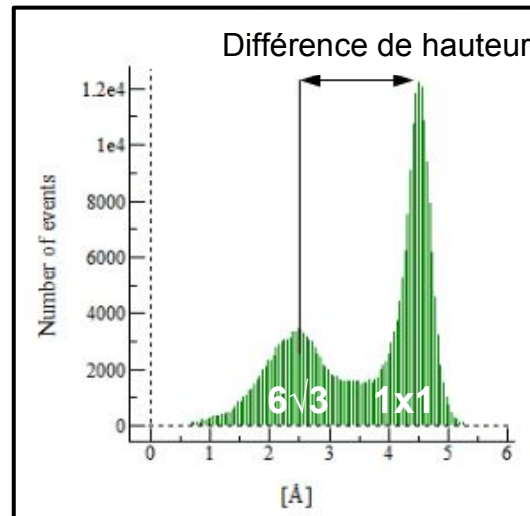
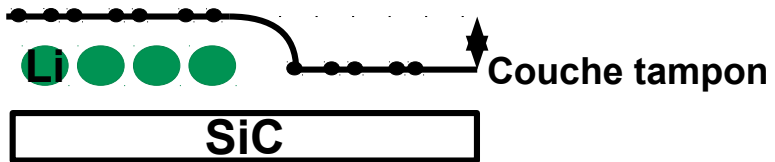


Image STM

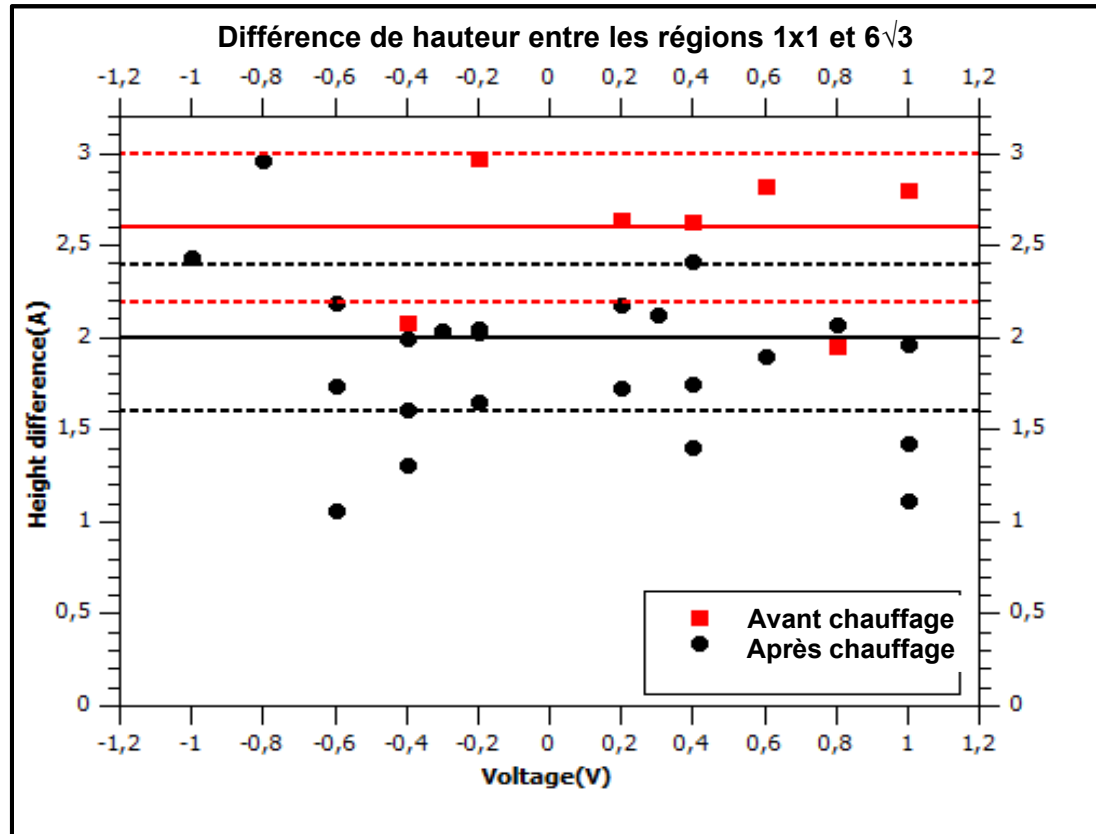
Mesure la différence de hauteur sur différentes images prises à différentes positions et à différentes tensions

2 cas:

- Couche tampon du graphène
- Graphène monocouche

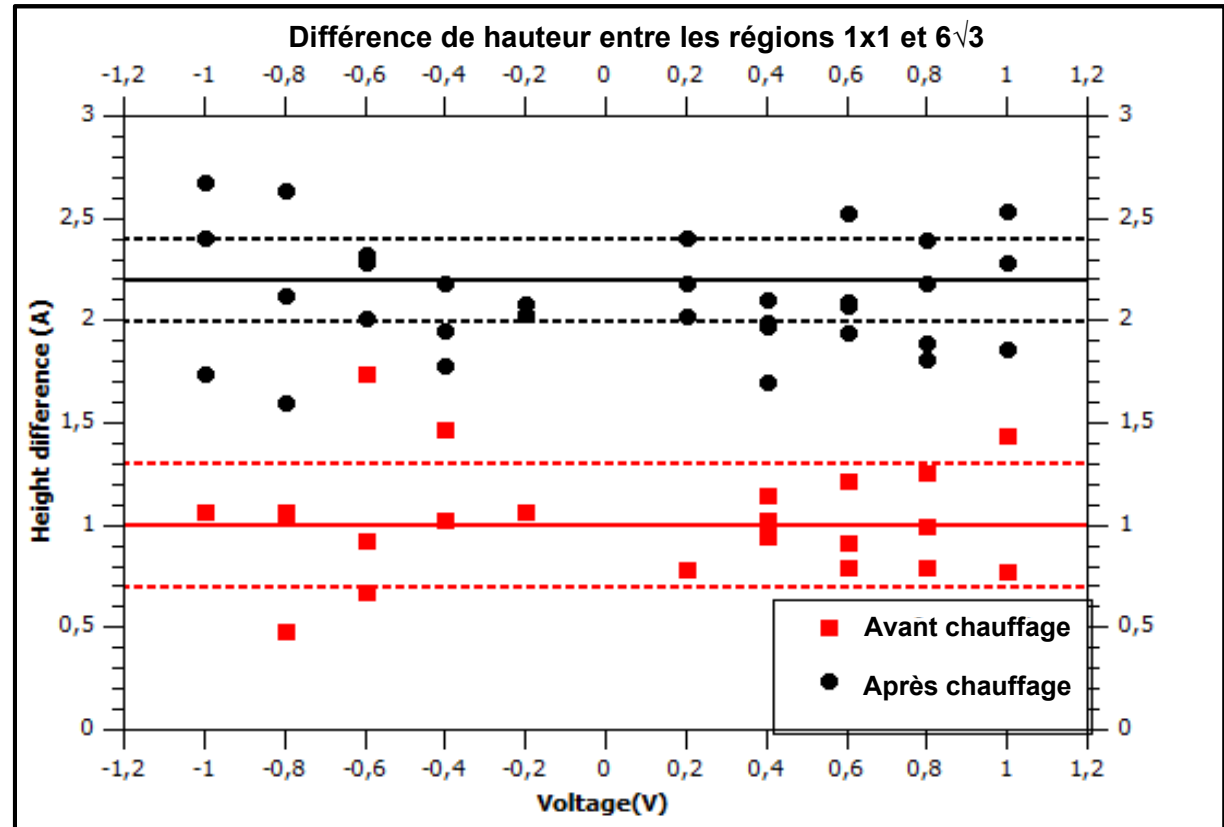
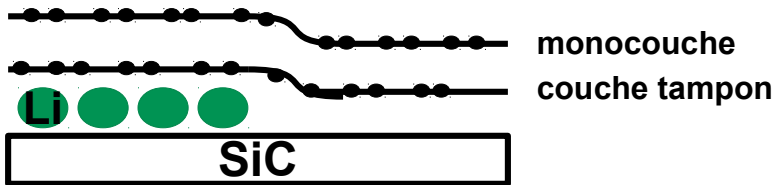


Cas de la couche tampon du graphène



Pas de distinction claire entre avant et après chauffage

Cas du graphène monocouche



Claire distinction:

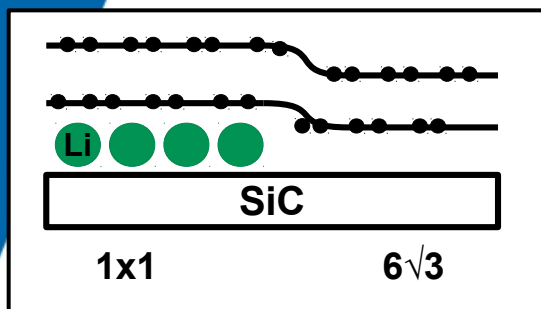
- Avant chauffage: $h = 1,0 \pm 0,3 \text{ \AA}$
- Après chauffage: $h = 2,2 \pm 0,2 \text{ \AA}$

Hauteurs indépendantes de la tension appliquée

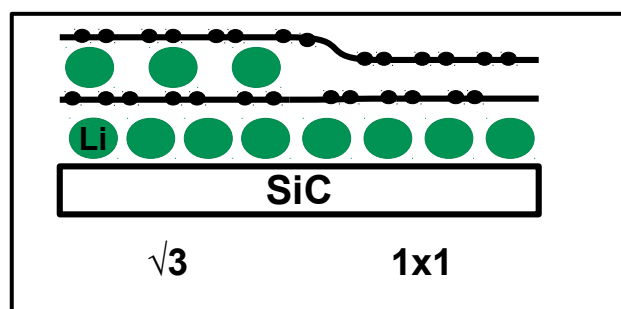
- Cas couche tampon → pas de différence
- Cas du graphène monocouche → différence

Pour avoir une différence entre avant et après chauffage, il est nécessaire d'avoir une couche de graphène au dessus de la couche tampon

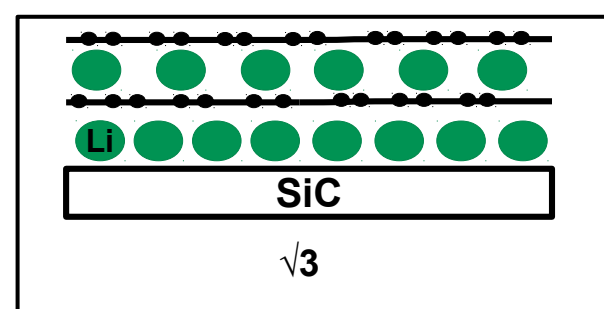
Modèle



Dépôt de Li jusqu'à avoir des régions 1x1

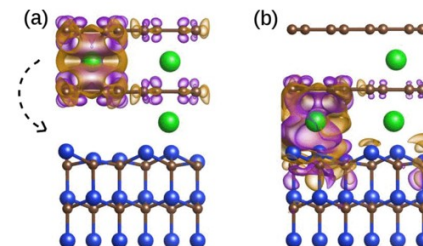
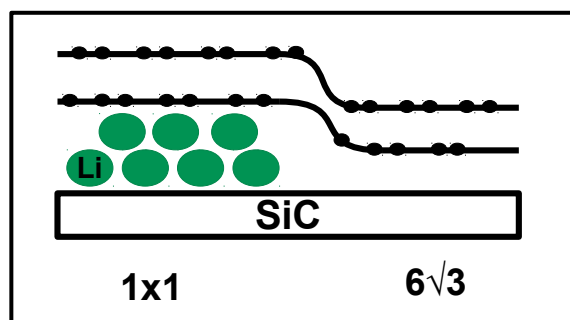


Dépôt de Li jusqu'à détacher la couche tampon et apparition de la périodicité $\sqrt{3}$



Dépôt de Li jusqu'à avoir que la périodicité $\sqrt{3}$ recouvre toute la surface

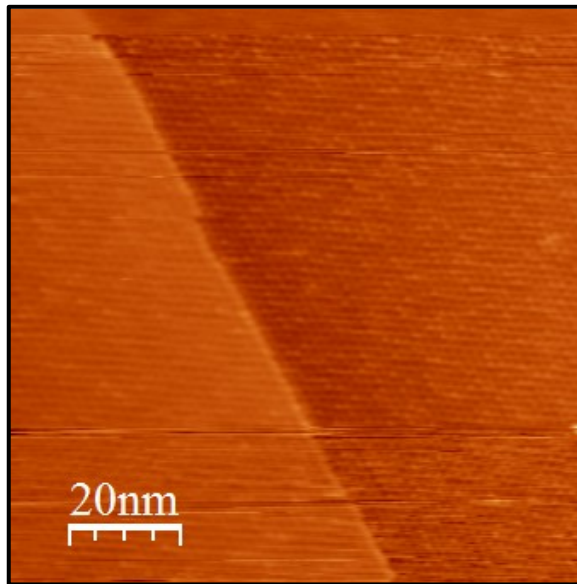
Recuit à 400°C



N. Carey, Physical Review, 93(195421), 2016.

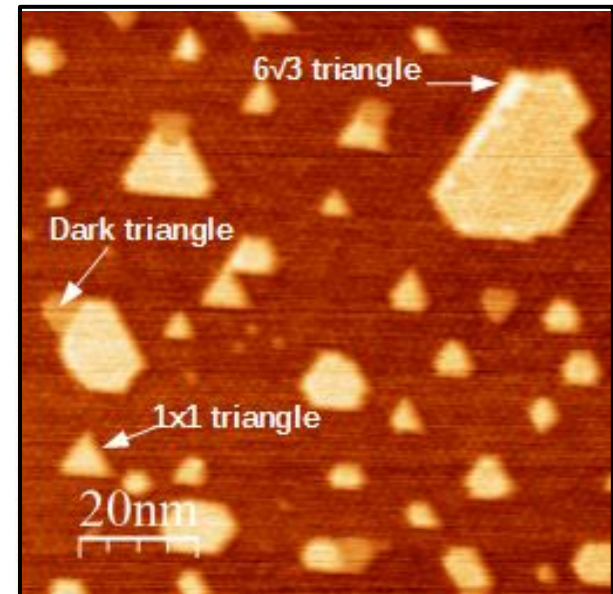
2) Triangles

Nature des triangles



Echantillon sans Li après recuit à 900°C

- Surface uniforme
- Terrasse de SiC

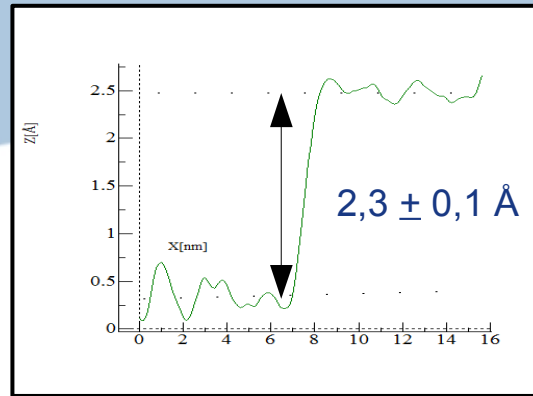
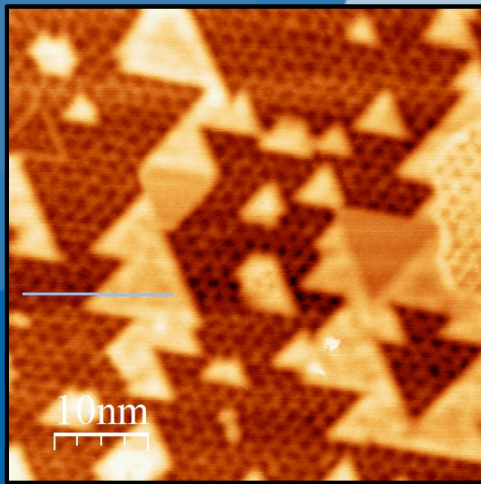


Après avoir déposé du Li pendant 33 min et recuit à 800°C

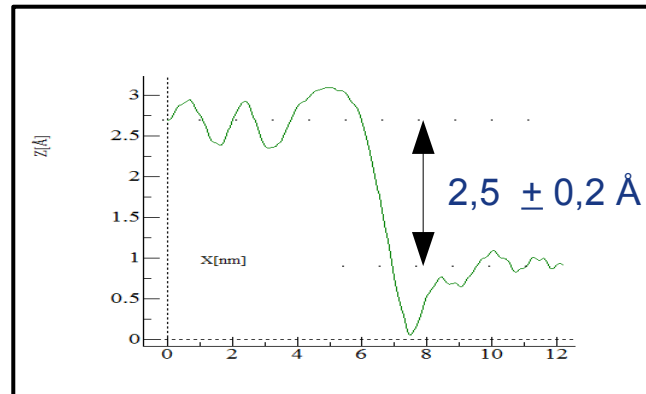
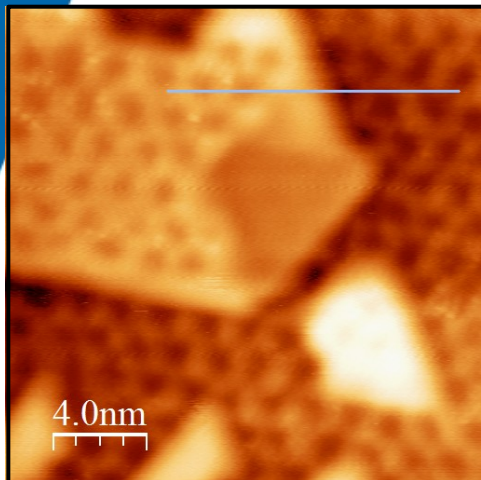
- Îlots en forme de triangles
- 3 types de triangles

➔ **Îlots dus à la déposition du Li**

3 types de triangles

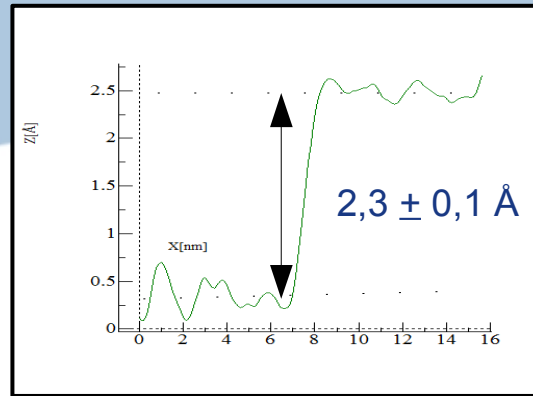
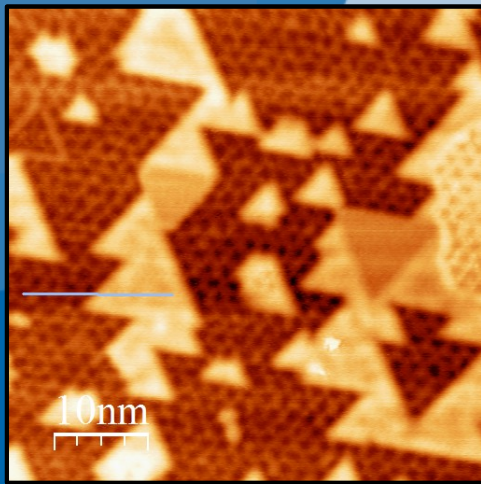


Triangle 1x1



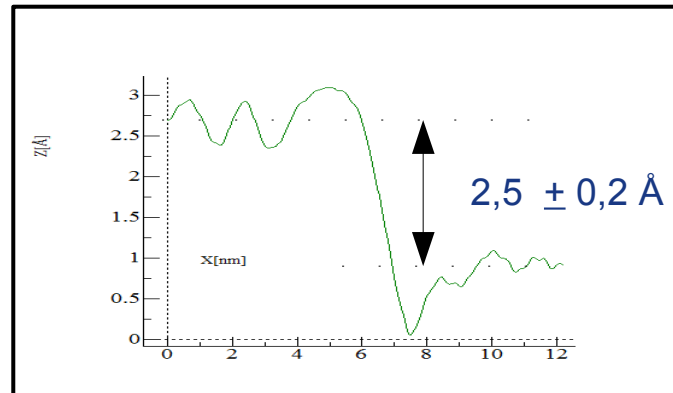
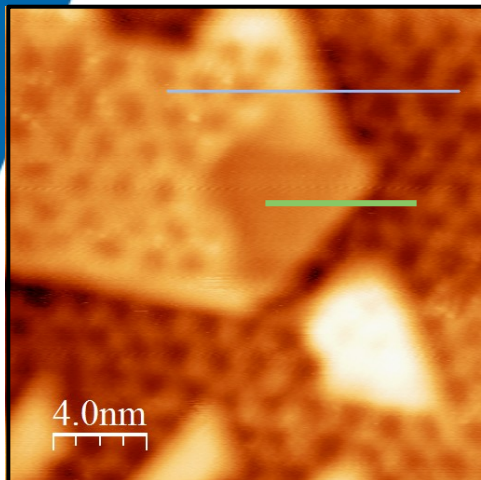
Triangle $6\sqrt{3}$

3 types de triangles

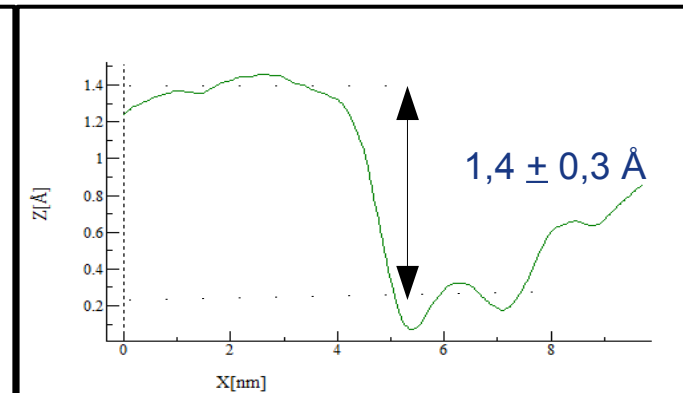


Triangle 1x1

- Triangles $6\sqrt{3}$: à cette température, Si commence à se sublimer
- Formation de nouveaux composés (carbure de lithium, ...)

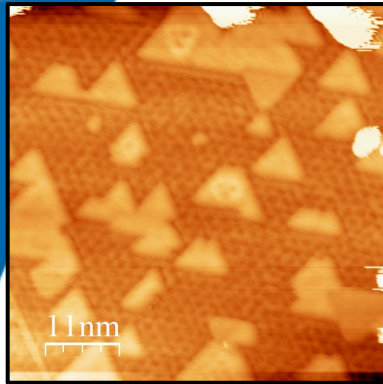


Triangle $6\sqrt{3}$



Triangle sombre

Orientation des triangles



(a)

Les triangles clairs pointent vers le haut et les triangles sombres vers le bas

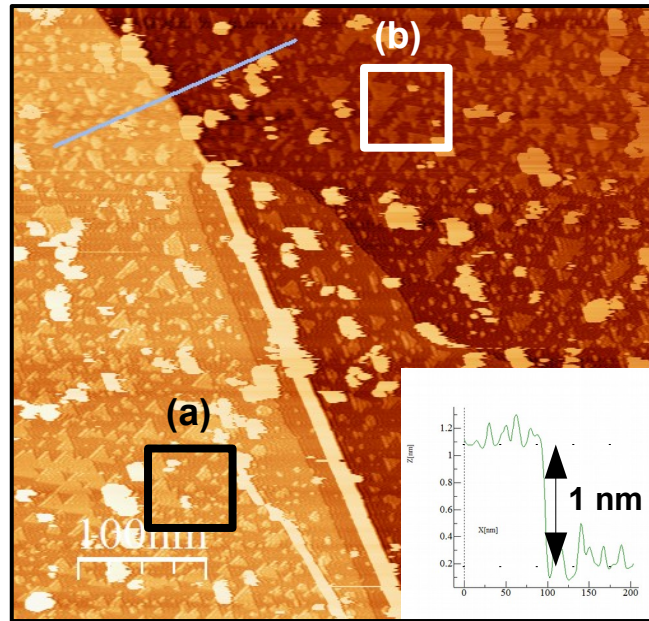
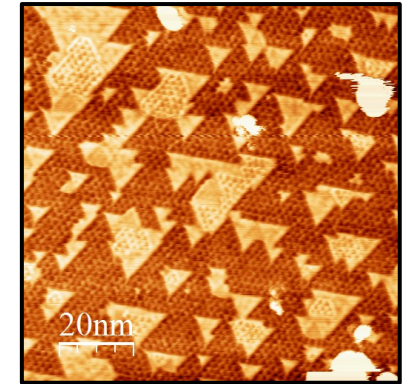


Image STM

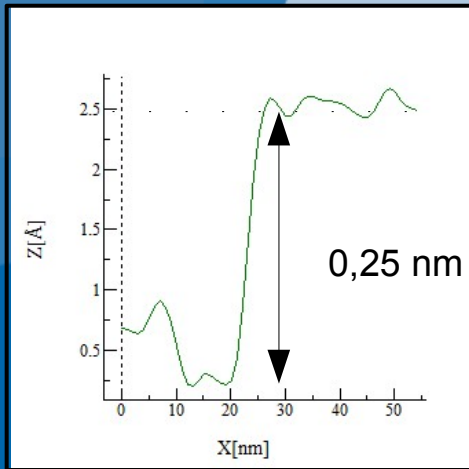


(b)

Les triangles clairs pointent vers le bas et les triangles sombres vers le haut

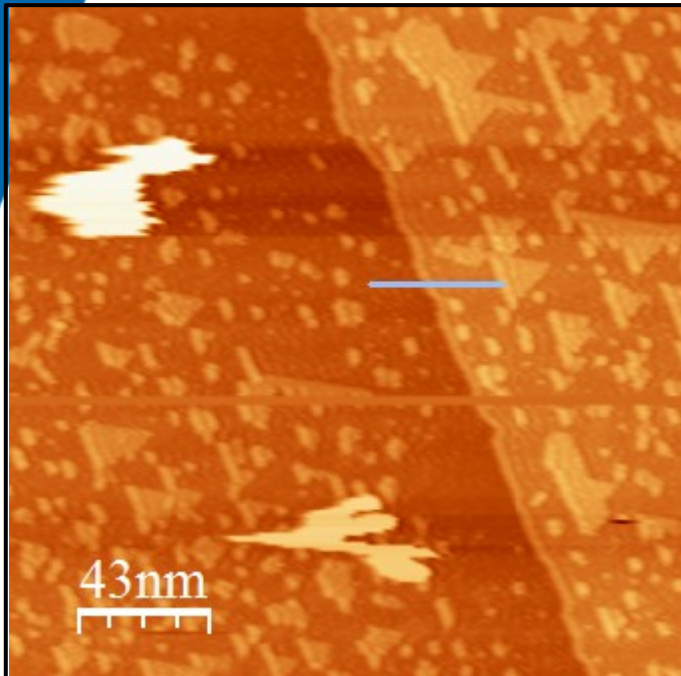
Zoom sur des terrasses différentes
→ hauteur de la terrasse : 1 nm

Orientation des triangles



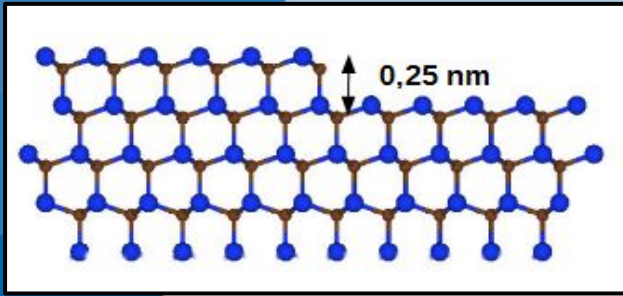
Profil de hauteur

Les triangles clairs pointent vers le bas et les triangles sombres vers le haut dans les deux terrasses.

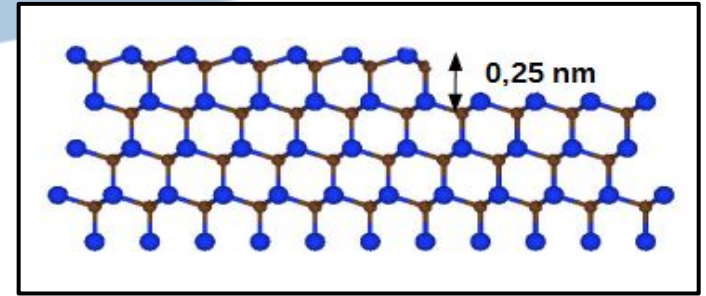


La différence entre les deux images :
la hauteur entre les 2 terrasses

→ à cause du substrat



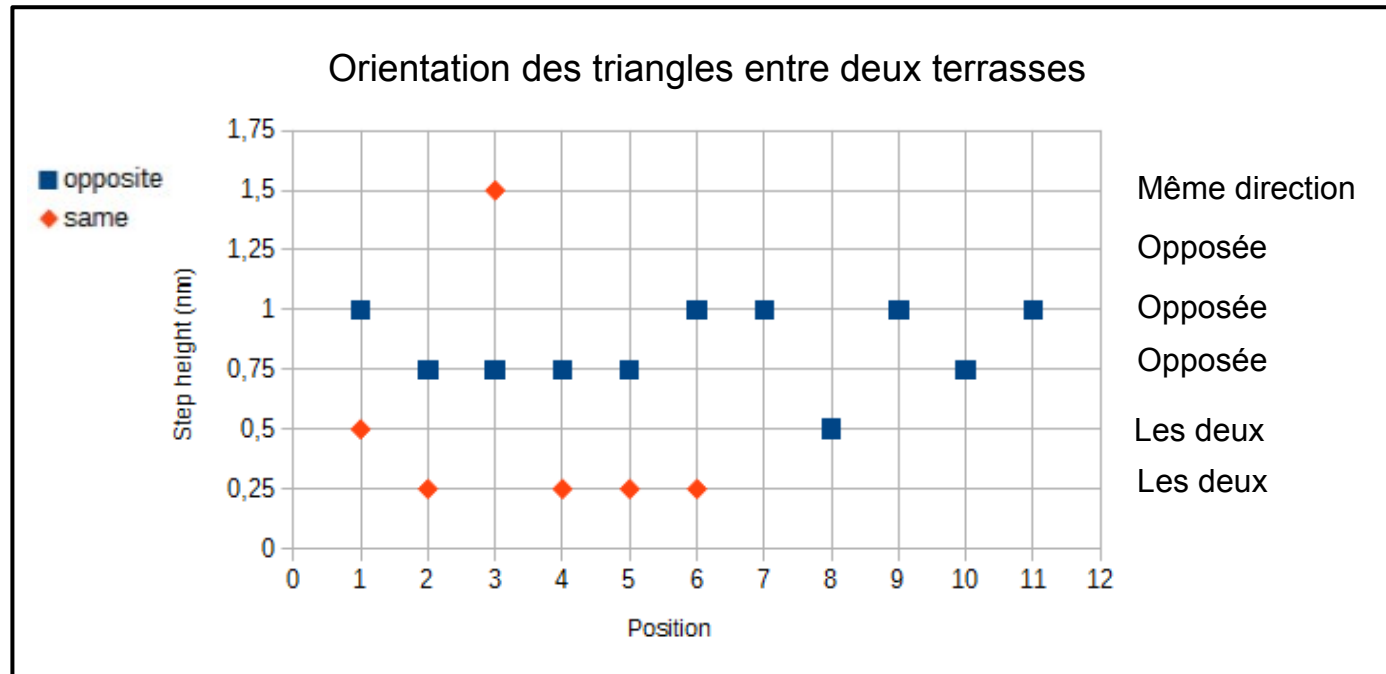
Orientation substrat identique
 → Triangles dans le même sens



Orientation substrat en sens opposé
 → Triangles en sens opposé

Hypothèse: l'orientation dépend de l'empilement du substrat en dessous des triangles

**Expérience sur
 17 images
 Pas d'exception**



Conclusion

- Grâce aux images faites par STM et aux clichés LEED, on a pu observer les effets de l'intercalation du Li et du recuit
- Modèle pour expliquer la différence de hauteur entre les régions 1×1 et $6\sqrt{3}$ avant et après recuit
- Données sur les triangles et modèle pour l'orientation de ceux-ci



Données collectées utiles pour faire des modèles

Merci pour votre
attention