

**A) Réseaux de Bravais et motifs.**

1. Rappeler les trois réseaux de Bravais du système cubique
2. Pour chacune des structures du système cubique, déterminer le nombre de nœuds par maille.
3. Indiquer le réseau de Bravais et la position des atomes qui constituent le motif pour chacun des différents édifices cristallins représentés dans la figure 1.

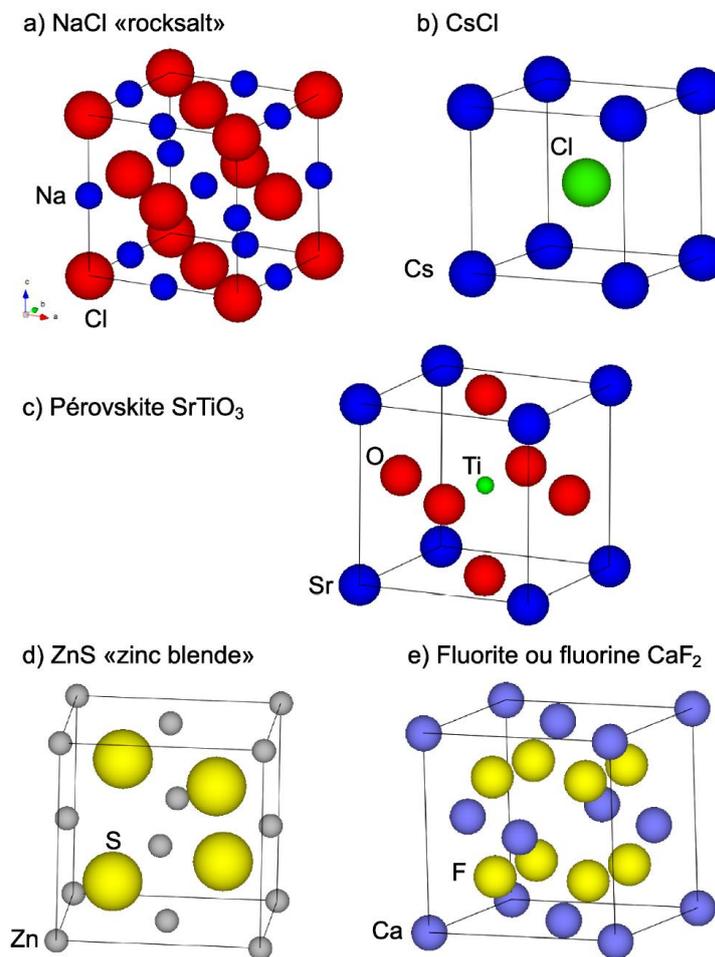


FIGURE 1 – Réseaux de Bravais et motifs

## B) Réseau rhomboédrique.

Considérons un réseau rhomboédrique, représenté sur la Figure 1. Ses vecteurs de base sont  $\mathbf{LP}=\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{LM}=\mathbf{b}$  et  $\mathbf{LN}=\mathbf{c}$ . Le plan  $\text{MNP}$  est un plan  $(111)$  noté  $\Pi_1$ . On note  $\Pi_0$  le plan  $(111)$  contenant le nœud  $L$ ,  $\Pi_2$  celui qui contient les nœuds  $Q, R$  et  $S$  et  $\Pi_3$  celui qui contient  $T$ .

1. Montrer que les nœuds de chacun de ces plans  $(111)$  forment un réseau plan hexagonal.

On voit sur la figure 1-c que le réseau rhomboédrique peut être décrit par une maille hexagonale de vecteurs de base  $\mathbf{A}, \mathbf{B}$  et  $\mathbf{C}$ .

2. Ecrire  $\mathbf{A}, \mathbf{B}$  et  $\mathbf{C}$  en fonction de  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  et  $\mathbf{c}$ .
3. Quelle est la multiplicité de cette nouvelle maille ?

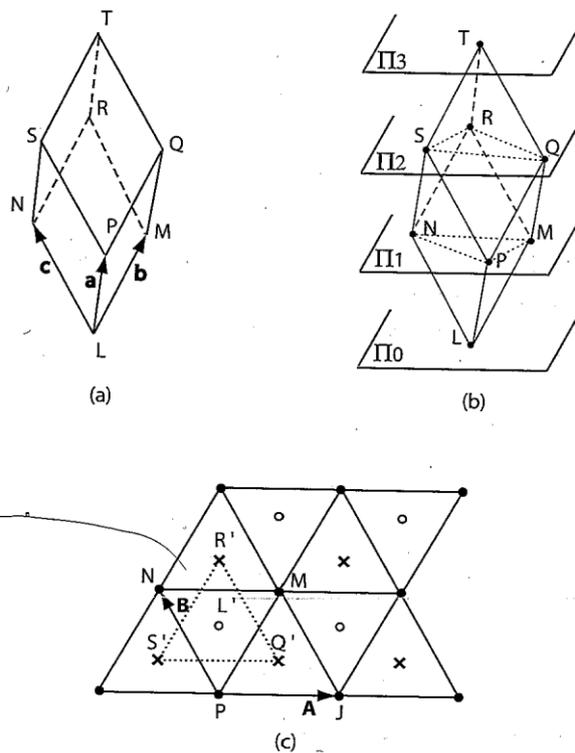


FIG. 3.14 – Réseau rhomboédrique : (a) Maille élémentaire. (b) Mise en évidence des plans  $(111)$  successifs. (c) Projection du réseau sur le plan  $\Pi_1$  perpendiculaire à l'axe d'ordre 3 : cercles vides pour les nœuds de  $\Pi_0$  et  $\Pi_3$ , cercles pleins pour les nœuds de  $\Pi_1$  et croix pour les nœuds de  $\Pi_2$ .

Figure 1. D'après *Symétries et propriétés physiques des cristaux*. C. Malgrange, Ch. Ricolleau et F. Lefaucheur. EDP editions, CNRS editions 2011

### C) La maille primitive d'un cfc est rhomboédrique!

On voit bien sur la figure 2 que la maille cubique à faces centrées est multiple et permet de mettre en évidence la symétrie du réseau (en particulier la face carrée du cube).

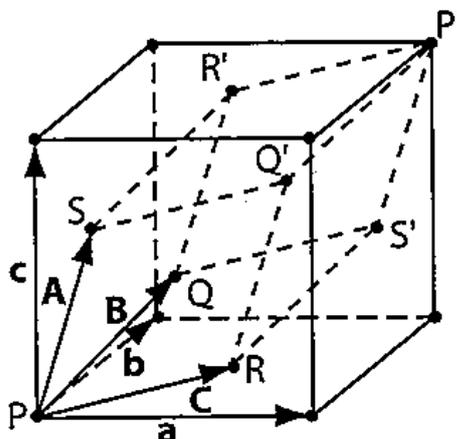


Figure 2. D'après *Symétries et propriétés physiques des cristaux*. C. Malgrange, Ch. Ricolleau et F. Lefaucheur. EDP editions, CNRS editions 2011

1. Quelle est la multiplicité de la maille cubique dessinée dans la figure 2?
2. Montrer que les trois angles  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (angles entre **A** et **B**, **B** et **C**, **A** et **C**) valent  $60^\circ$
3. Dessiner l'empilement de la structure cfc dans la direction  $[111]$ . Comparer avec la figure 1.b .
1. Ecrire les vecteurs **A**, **B** et **C** en fonction de **a**, **b** et **c**.

Sur la figure 3 on peut voir que les systèmes hexagonaux compacts et les systèmes cubiques à faces centrées sont extrêmement proches.

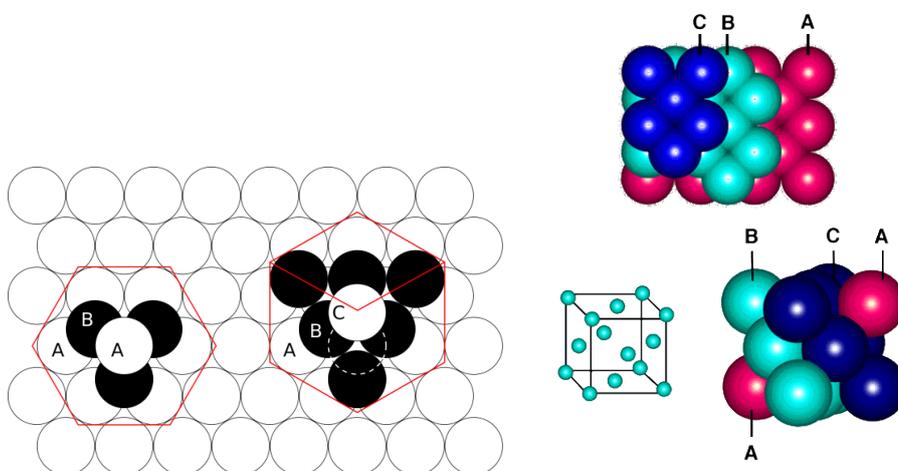


Figure 3.

### D) Le cas diabolique de SiC :

Une de particularités majeures du SiC est son polytypisme. Il cristallise sous différentes formes caractérisés par une séquence unique d'empilement de bicouches Si-C. les polytypes les plus connus sont schématisés dans la figure 4.. Plus de 200 polytypes ont été identifiés à ce jour !

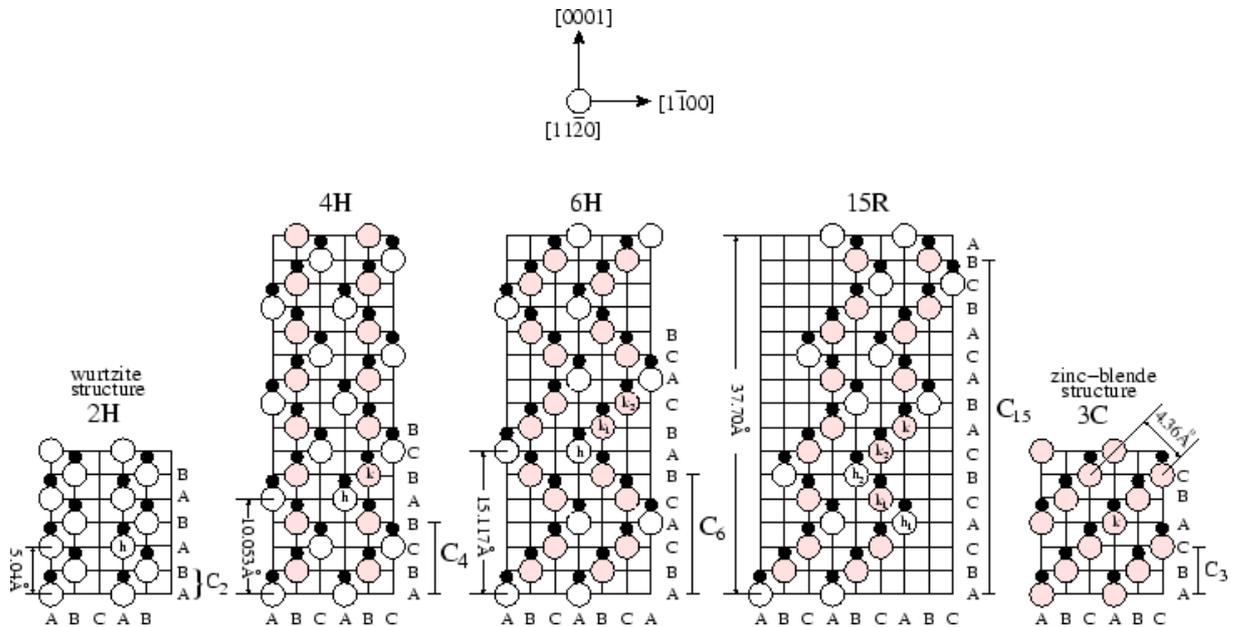


Figure 4.

1. Montrer que le polytype 4H contient un site cubique et un site hexagonal et que le 6H contient 2 sites cubiques et un site hexagonal.
2. Noter que dans le 3C il n'y a que des sites cubiques.

### E) Microscopie STM du graphène sur 6H-SiC.

La structure du graphite (précurseur du graphène) est constituée de feuillets hexagonaux en nid d'abeilles. Dans chaque feuillet, chaque atome de carbone est fortement lié par des liaisons covalentes. Entre les feuillets les liaisons sont faibles de type Liaison de van der Waals, ce qui explique le clivage et la faible dureté. La structure cristalline du graphite est reportée dans la figure 5.

1. Exprimer la structure cristalline du graphite dans la forme RB + atomes du motif.

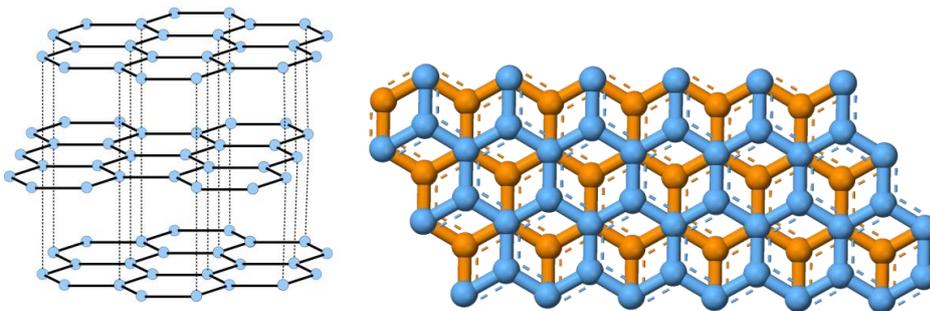


Figure 5.

Ci-dessous vous trouverez une image STM (à l'échelle atomique !) d'une feuille de graphène sur 6H SiC obtenue par une méthode décrite dans l'article A. Ouerghi et al. ACS Nano 6 6075 (2012).

2. L'on peut remarquer que le graphène 2ML présente un réseau triangulaire et celui 1 ML un réseau hexagonale. A partir de la figure 5 (structure cristalline du graphite) donner une possible interprétation de l'image STM.
3. En 2013 des théoriciens (Kopnin et al. Phys. Rev. B **87**, 140503(R) (2013)) ont fait la prédiction que le graphite rhomboédrique serait supraconducteur à 250K. Proposer un bon substrat de SiC pour stabiliser cette phase.

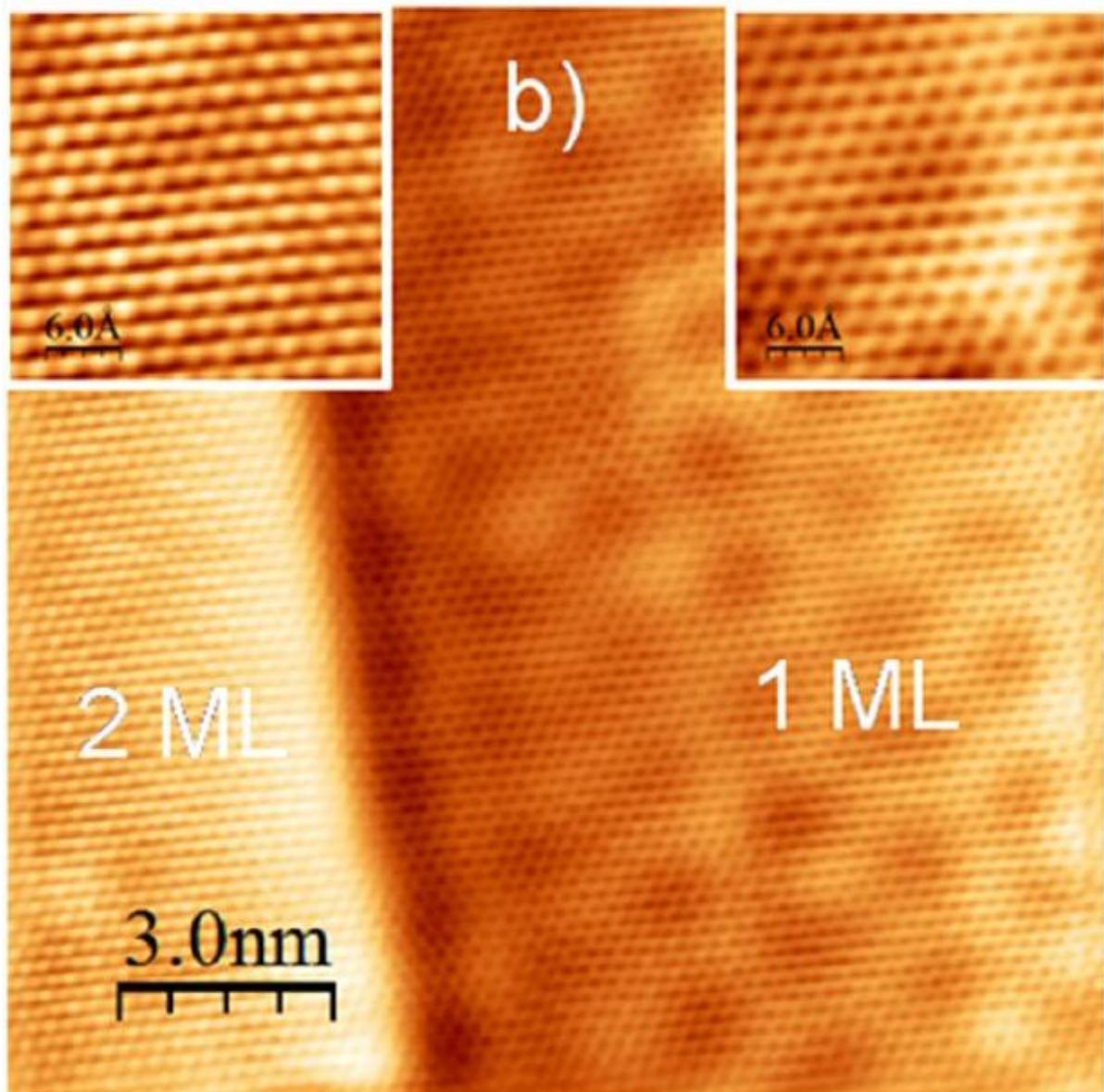


Figure 6. D'après A.Ouerghi, M.G. Silly, M.Marangolo, C.Mathieu,†M.Eddrief, M. Picher,F.Sirotti,‡ S. El Moussaoui, R. Belkhou ACS Nano 6 6075 (2012).