

**Examen de Physique des solides P-4**  
**Session de Janvier 2001**  
**Durée 3 heures**

**I-** Soit un matériau solide cristallisant dans le système cubique centré (C.C.) d'arête  $a$ .

Soit un système d'axes orthonormés auquel on associe une base  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ .

- 1) Représenter la maille d'un C.C. et donner les positions des atomes.
- 2) Exprimer les coordonnées des vecteurs fondamentaux de la maille élémentaire du C.C.. En déduire que le volume de la maille élémentaire est égal à  $\frac{a^3}{2}$ .
- 3) Calculer les vecteurs du réseau réciproque.
- 4) En déduire les 12 plus petits vecteurs du réseau réciproque qui forment la première zone de Brillouin.

Dans cette dernière partie, on se propose de calculer le facteur de structure  $F_{hkl}$  du C.C. où  $(hkl)$  sont les indices de Miller.

- 5) Rappeler brièvement la procédure de détermination des indices de Miller d'un plan.
- 6) Calculer  $F_{hkl}$  et discuter les différents cas.
- 7) Comment vous interprétez physiquement l'extinction de la réflexion des faces du cubes pour un réseau C.C.
- 8) Cette même réflexion s'annulera-t-elle pour un cristal de Chlorure de Césium CsCl ? Justifier votre réponse.

-----

**II-** Un solide cristallin type NaCl peut être représenté sur la figure ci-dessous où on remarque qu'il y a alternance de charge  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  aux sommets.

Les ions sont supposés sphériques, centrés sur leur site et d'électrisation uniforme.

Soit un repère orthonormé Oxyz où  $\text{Na}^+$  est à son centre.

On se propose d'utiliser la méthode d'Evjen pour calculer la constante de Madelung M.

- 1) Calculer M dans le cube d'arête  $2r$ .
- 2) Rappeler l'origine de l'énergie de répulsion dans un cristal ionique.
- 3) Pour un cristal formé de N molécules de NaCl, exprimer l'énergie totale du système. On prendra comme énergie mutuelle de répulsion entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  :  $E_R = \lambda \exp(-r/\rho)$  où  $\lambda$  et  $\rho$  sont des constantes positives, et on ne la comptabilisera que pour les plus proches voisins. En déduire la distance  $r_0$  à l'équilibre entre 2 ions voisins  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .
- 4) Calculer le coefficient de compressibilité à 0 °K. Conclure.

**Pr. M. ABD-LEFDIL**  
**L.P.M.**

**III-** On se propose de déterminer la capacité calorifique d'un réseau carré de paramètre  $a$ , monoatomique à l'aide du modèle de Debye.

1) Représenter la première zone de Brillouin.

2) Montrer que la densité des états  $g(k)$  est une fonction linéaire de  $k$ .  $k$  étant le module du vecteur d'onde.

3) Sachant que le nombre d'états possibles est  $2N$  (c'est aussi le nombre de degré de liberté du système), déterminer la pulsation de Debye.

On notera  $v$  la vitesse de l'onde associé aux phonons dans le réseau.

4) Ecrire l'expression de l'énergie totale et de la chaleur spécifique du réseau  $C_v$ .

Discuter les différents domaines de température et représenter graphiquement  $C_v(T)$ .

5) Le comportement de  $C_v(T)$  de la question précédente a été vérifiée expérimentalement sur des cristaux bidimensionnels. En connaissez-vous un, si oui lequel. Justifier la nature plan du matériau cité.

6) Pourquoi à votre avis les 2 modèles d'Einstein et de Debye vérifient la loi de Dulong et petit pour les hautes températures.

-----