disorder of the atoms within a column parallel to [010] similar to the present model. Such disorder of atoms occurring along [010] has been proposed to explain the abnormal black contrast observed in the faulted crystals of H-Nb_2O_5 (Fig. 11 of Iijima, 1973). A similar argument, therefore, may hold for the explanation of the dark contrast of the linear chains of the paired point defects and the point-defect complexes cannot be described simply in terms of an ideal tetrahedrally coordinated metal atom.

The author wishes to thank Professor J. M. Cowley for his continuous encouragement and critical reading of the manuscript. This work was supported by NSF Grant (GH 36668).

References

ANDERSON, J. S., BROWNE, J. M., CHEETHAM, A. K., VON DREELE, R., HUTCHISON, J. L., LINCOLN, F. J., BEVAN, D. J. M. & STRAEHLE, J. (1973). *Nature, Lond.* **243**, 81–83.
BROWNE, J. M., HUTCHISON, J. L. & ANDERSON, J. S. (1972). *Proc. of 7th Int. Symp. on Reactivity of Solids., Bristol*, pp. 116–124.
COWLEY, J. M. (1975). *Diffraction Physics*. Amsterdam: North-Holland.
FEJES, P. L., IIJIMA, S. & COWLEY, J. M. (1973). *Acta Cryst.* A**29**, 710–714.
FEJES, P. L. (1973). Ph. D. Thesis, Arizona State Univ.
IIJIMA, S. (1971). *J. Appl. Phys.* **42**, 5891–5893.
IIJIMA, S. (1973). *Acta Cryst.* A**29**, 18–24.
IIJIMA, S. (1975*a*). *J. Solid State Chem.* **14**, 52–65.
IIJIMA, S. (1975*b*). In preparation.
IIJIMA, S. & ALLPRESS, J. G. (1973). *J. Solid State Chem.* **7**, 94–105.
IIJIMA, S., KIMURA, S. & GOTO, M. (1974). *Acta Cryst.* A**30**, 251-257.
IIJIMA, S., KIMURA, S. & GOTO, M. (1973). *Acta Cryst.* A**29**, 632–636.
KIMURA, S. (1973). *J. Solid State Chem.* **6**, 438–449.
SCHÄFER, H., GRUEHN, R. & SCHULTE, F. (1966). *Angew. Chem.* **5**, 28–41.
SKARNULIS, A. D., IIJIMA, S. & COWLEY, J. M. (1975). To be published.
WADSLEY, A. D. (1961). *Acta Cryst.* **14**, 664–670.

Acta Cryst. (1975). A**31**, 790

Dérivation par Induction de Groupes d'Espace et de Groupes Magnétiques

PAR JEAN SIVARDIÈRE

Département de Recherche Fondamentale, Laboratoire de Chimie Physique Nucléaire, Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, B.P. 85 – 38041 *Grenoble Cedex, France*

(*Reçu le* 25 *septembre* 1974, *accepté le* 22 *mai* 1975)

Starting from space groups, the point groups of which are cyclic, all the other space groups are deduced. The inductive method used is known to provide the 32 point groups, starting with the cyclic groups. It is applied to the derivation of magnetic point and space groups.

I. Introduction

Une méthode classique d'énumération des groupes d'espace est celle de Zachariasen (1951): elle fournit tous les groupes d'espace G_e de classe G et de réseau T donnés en exploitant les relations entre éléments générateurs de G. Elle permet aussi bien d'énumérer les groupes d'espace magnétiques (Sivardière, 1970). Une méthode voisine d'énumération (Sivardière & Bertaut, 1970) utilise également la structure d'extension des groupes d'espace: G_e est une extension de $G\times G$ par le groupe T des translations du réseau. Il est enfin possible d'utiliser une propriété d'additivité des groupes d'espace (Sivardière, 1969). La méthode d'énumération proposée dans cet article n'utilise pas la structure d'extension des groupes d'espace: partant d'un groupe d'espace H_e quelconque, nous recherchons directement les éléments $(\alpha|\tau_\alpha)$ qui, avec les éléments de H_e, engendrent un sur-groupe G_e; ces éléments doivent réaliser un automorphisme externe de H_e; H_e est un sous-groupe invariant maximal de G_e.

Cette méthode inductive permet de construire les 32 groupes ponctuels à partir des groupes cycliques propres ou impropres (Lomont, 1959; Sivardière & Bertaut, 1970). Elle met en évidence la structure algébrique (produit direct ou semi-direct) des groupes ponctuels et se généralise à l'étude des groupes ponctuels magnétiques. Ainsi, partons du groupe $H=4$; un axe 2_x perpendiculaire à l'axe 4_z réalise des automorphismes externes des éléments du groupe H puisque:

$$2_x(4_z)=2_x4_z2_x^{-1}=4_z^3\ .$$

D'où le groupe produit semi-direct:

$$G=422=4_A2\ .$$

De même si $H=2_x2_y2_z$, un axe 3 selon la direction (111) permute entre eux les trois axes 2: $3(2_x)=2_y, \ldots$ d'où le groupe $G=23=222_A3$.

Nous exposons la méthode d'induction à propos de groupes d'espace. Puis nous envisageons son application à l'énumération successivement des groupes magnétiques ponctuels et des groupes magnétiques d'espace.

II. Enumération des groupes d'espace

Soit H_e un groupe d'espace de classe H et de réseau T, formé d'éléments $(\beta|\tau_\beta)$ et $(\varepsilon|T_1)$ (les notations sont celles de Sivardière, 1970). Nous recherchons une opération $(\alpha|\tau_\alpha)$ n'appartenant pas à H_e et définissant un automorphisme externe de H_e quelle que soit l'opération $(\beta|\tau_\beta+T_1)$, l'opération

$$(\alpha|\tau_\alpha)\,(\beta|\tau_\beta+T_1)\,(\alpha|\tau_\alpha)^{-1}=(\gamma|\tau_\gamma+T_m) \qquad (1)$$

doit appartenir au groupe H_e. S'il en est ainsi, $(\alpha|\tau_\alpha)$ et les éléments de H_e engendrent un groupe G_e de classe $G=H_A\alpha$ et de même réseau T que H_e, dans lequel H_e est un sous-groupe invariant. G_e n'est un produit semi-direct $H_{eA}\,(\alpha|\tau_\alpha)$ que si $\tau_\alpha=0$.

La relation (1) impose plusieurs conditions sur l'opération $(\alpha|\tau_\alpha)$.

1°) $\gamma=\alpha\beta\alpha^{-1}$ doit appartenir à H: α doit réaliser un automorphisme externe de H, donc appartenir à un sur-groupe G de H, tel que $G=H_A\alpha$. Autrement dit, l'ordre n_α de α et son orientation par rapport aux axes de G sont fixés. Dans la suite il suffit d'envisager les éléments $(\beta|\tau_\beta)$ tels que β soit un générateur de H.

2°) Si $(\beta|\tau_\beta+T_1)$ est la translation $(\varepsilon|T_1)$:

$$(\alpha|\tau_\alpha)\,(\varepsilon|T_1)\,(\alpha|\tau_\alpha)^{-1}=(\varepsilon|\alpha T_1)\,,$$

αT_1 doit être une translation T_m du groupe T. Cette deuxième condition fixe – si la première condition n'est pas suffisante – l'orientation de l'axe ou miroir α par rapport aux axes du réseau.

3°) $(\alpha|\tau_\alpha)^n\alpha$ doit être une translation $(\varepsilon|T_n)$. Cette troisième condition fixe la valeur de la composante τ_α parallèle à l'axe ou miroir α.

4°) D'après la relation (1):

$$\tau_\gamma+T_m=\tau_\alpha+\alpha\tau_\beta-\alpha\beta\alpha^{-1}\tau_\alpha\,. \qquad (3)$$

Cette condition détermine la valeur de la composante de τ_α perpendiculaire à l'axe ou miroir α (cette composante fixe la position de α dans la maille).

Exemple 1 – Partons du groupe symmorphique $H_e=P4$. D'après la première condition, l'axe α peut être un axe binaire perpendiculaire à l'axe 4, donc de la forme $(2|xyz)$. La deuxième condition impose que l'axe 2 soit parallèle à x ou à y ou à l'une des directions [110] ou [1$\bar{1}$0]; dans le premier cas, la troisième impose alors: $x=0$ ou $\frac{1}{2}$; enfin la quatrième (avec $\tau_\gamma=0$ puisque H_e est symmorphique) impose que la translation $(x-y, x+y, 0)$ soit entière, d'où les deux possibilités:

$$x=y=0 \quad G_e=P422$$
$$x=y=\tfrac{1}{2} \quad G_e=P42_12$$

(on peut choisir arbitrairement $z=0$ car dans le groupe $P4$, de groupe ponctuel axial non diédrique, la coordonnée z de l'origine de la maille n'est pas fixée).

On peut également introduire l'élément $(\alpha|\tau_\alpha)=(m_{yz}|xyz)$. La troisième condition impose: $y=0,\frac{1}{2}$; $z=0,\frac{1}{2}$; et la quatrième: $x-y=0,1$; $x+y=0,1$. D'où les quatre solutions: $(x,y,z)=(0,0,0)$; $(0,0,\frac{1}{2})$; $(\frac{1}{2},\frac{1}{2},0)$; $(\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{1}{2})$ et les groupes correspondants: $P4mm$, $P4cc$, $P4bm$, $P4nc$.

Enfin si on introduit l'élément $(\alpha|\tau_\alpha)=(m_{xy}|xyz)$, la troisième condition impose: $x,y=0,\frac{1}{2}$ et la quatrième: $x+y=0,1$; $x-y=0,\frac{1}{2}$. D'où les deux solutions: $x=y=0$, $x=y=\frac{1}{2}$ et les groupes correspondants $P4/m$ et $P4/n$.

Exemple 2 – Nous partons maintenant du groupe non symmorphique $H_e=P4_1$. Si $(\alpha|\tau_\alpha)=(2_x|xyz)$, on doit avoir: $x=0$ ou $\frac{1}{2}$ (troisième condition) et $-(yxz)+(xyz)+(00-\frac{1}{4})=(00\frac{3}{4})+T$ (quatrième condition), d'où les groupes: $P4_122$ et $P4_12_12$.

Si $(\alpha|\tau_\alpha)=(m_{yz}|xyz)$ ou $(m_{xy}|xyz)$, la quatrième condition ne peut être satisfaite. Au contraire, elle peut l'être si on part du groupe $P4_2$. Le Tableau 1 rassemble les groupes G_e que l'on peut ainsi construire aisément à partir de $H_e=P4$, $P4_1$, $P4_2$, $P4_3$, $I4$, $I4_1$, $P\bar{4}$ et $I\bar{4}$, ainsi que les groupes qui se déduisent de ceux de classe 422 ou $4mm$ par adjonction d'un centre de symétrie.

Exemple 3 – Nous envisageons tous les groupes H_e, de classes 222, $2mm$, mmm et nous cherchons à partir

Tableau 1. *Groupes d'espace de classes* 422, 4*mm*, $\bar{4}2\,m$, 4/*m et* 4/*mmm construits à partir des groupes de classes* 4 *et* $\bar{4}$

H_e	$\alpha=2_x$	$\alpha=m_{yz}$	$\alpha=m_{xy}$	G_e centrosymétriques
$P4$	$P422$; $P42_12$	$P4mm$; $P4bm$; $P4cc$; $P4nc$	$P4/m$; $P4/n$	$P4/mmm$; $P4/mbm$; $P4/mcc$; $P4/mnc$ $P4/nmm$; $P4/nbm$; $P4/ncc$; $P4/nnc$
$P4_1$	$P4_122$; $P4_12_12$			
$P4_2$	$P4_222$; $P4_22_12$	$P4_2cm$; $P4_2nm$; $P4_2mc$; $P4_2bc$	$P4_2/m$; $P4_2/n$	$P4_2/mcm$; $P4_2/mmc$; $P4_2/mbc$; $P4_2/mnm$ $P4_2/ncm$; $P4_2/nmc$; $P4_2/nbc$; $P4_2/nnm$
$P4_3$	$P4_322$; $P4_32_12$			
$I4$	$I422$	$I4mm$; $I4cm$	$I4/m$	$I4/mmm$; $I4/mcm$
$I4_1$	$I4_122$	$I4_1md$; $I4_1cd$	$I4_1/a$	$I4_1/amd$; $I4_1/acd$
$P\bar{4}$	$P\bar{4}2m$; $P\bar{4}2c$; $P\bar{4}2_1m$; $P\bar{4}2_1c$	$P\bar{4}m2$; $P\bar{4}c2$; $P\bar{4}b2$; $P\bar{4}n2$	$P4/m$; $P4/n$	
$I\bar{4}$	$I\bar{4}2m$; $I\bar{4}2d$	$I\bar{4}m2$; $I\bar{4}c2$	$I4/m$	

d'eux des groupes de classes 23 ou $m3$, obtenus en leur adjoignant un axe 3 suivant la direction [111]. Cet axe nouveau devant réaliser un automorphisme interne de H_e, il est nécessaire que le réseau soit de type P, F ou I et que les axes 2 ou les miroirs m jouent des rôles symétriques, ce qui élimine en particulier les groupes de classe $2mm$. On a par exemple les correspondances:

$$\begin{array}{ll} P2_12_12_1 & \rightarrow P2_13 \\ Ibca & \rightarrow Ia3 \\ Fddd & \rightarrow Fd3\,. \end{array}$$

Le Tableau 2 montre comment tous les groupes cubiques s'obtiennent à partir des groupes de classe 222 par adjonction successive d'éléments $(\alpha|\tau_\alpha)$ et $(\alpha'|\tau_{\alpha'})$; les groupes de classe $m3m$ s'obtiennent par exemple à partir des groupes de classe 23 en introduisant un axe 2 suivant $(1\bar{1}0)$.

Exemple 4 – On peut également construire les groupes de classe 422 (ou $\bar{4}2m$) à partir des groupes de classe 222 dans lesquels les axes $(2_x|\tau_{2x})$ et $(2_y|\tau_{2y})$ sont équivalents, puisque: $422=2_x2_y2_{zA}2_{110}$. Ainsi si $H_e=P2_12_12_1$, $(\alpha|\tau_\alpha)$ est un axe 2 parallèle à la direction (110) [ou un miroir contenant les directions (110) et (001).] L'opération $(2_{110}|xyz)$ $(2_z|000)$ $(2_{110}|xyz)^{-1}$ devant être un axe 2_z non hélicoïdal on obtient: $x=0$, $z=0,\frac{1}{2}$ d'où les deux seuls groupes: $P42_12$ et $P4_22_12$. Le Tableau 3 rassemble les résultats obtenus, ainsi que les relations groupes–sous-groupes obtenues en utilisant la relation: $622=32_A2$.

D'une manière générale, la relation (1) montre qu'on ne peut pas ajouter un centre de symétrie à un groupe de réseau P contenant des axes 3_1, 3_2, 4_1, 4_3, 6_1, 6_2, 6_4 ou 6_5. Ainsi $P4_1$, $P6_1$, $P6_222$, $P4_132$ ne sont pas sous-groupes d'un groupe centrosymétrique. De même on ne peut ajouter un miroir parallèle à un axe $(\beta|\tau_\beta)$ que si $(\beta|\tau_\beta)$ est un axe 2, 2_1, 4, 4_2, 6 ou 6_3 (réseau P). Ainsi $P4_1$ n'est sous-groupe d'aucun groupe de classe $4mm$. Aucune limitation de ce type n'apparaît si on veut ajouter un axe 2 perpendiculairement à l'axe $(\beta|\tau_\beta)$.

La méthode que nous venons d'exposer permet d'énumérer simplement les groupes d'espace à partir des groupes de classes cycliques; elle fournit de plus des relations groupe–sous-groupe invariant maximal du type 'Zellengleich' (Hermann, 1929). Si H_e est symmorphique de classe propre, G_e est symmorphique ou hémisymmorphique. Les relations entre groupes G_e et H_e sont utilisées dans la méthode de Zak (1960) pour construire les représentations irréductibles de G_e connaissant celles de H_e.

Tableau 3. *Groupes d'espace de classes* 422 *et* $\bar{4}2\,m$ *construits à partir des groupes de classe* 222 [*le miroir* m_d *contient les directions* (110) *et* (001)] *et groupes d'espace de classes* 622 *et* $\bar{6}2m$ *construits à partir des groupes de classe* 32 [*le miroir* m_d *contient la direction* (001) *et il est perpendiculaire à un axe* 2]

H_e	$\alpha=2$	$\alpha=m_d$
$P222$	$P422$; $P4_222$	$P\bar{4}2m$; $P\bar{4}2c$
$P2_12_12$	$P42_12$; $P4_22_12$	$P\bar{4}2_1m$; $P\bar{4}2_1c$
$P222_1$	$P4_122$	
$P2_12_12_1$	$P4_12_12$	
$P321$	$P622$; $P6_322$	$P\bar{6}2m$; $P\bar{6}2c$
$P312$	$P622$; $P6_322$	$P\bar{6}m2$; $P\bar{6}c2$
$P3_112$; $P3_121$	$P6_122$; $P6_422$	
$P3_212$; $P3_221$	$P6_222$; $P6_522$	

III. Enumération des groupes magnétiques ponctuels

Les groupes magnétiques ponctuels sont en général énumérés en recherchant les sous-groupes invariants d'indice 2 des 32 groupes ponctuels. Nous présentons ici une méthode de construction directe par induction à partir des groupes cycliques triviaux et mixtes: $n=2,3,4,6,\bar{4},\bar{6}$ et $n'=2,'4',6',\bar{4}',\bar{6}'$.

Soit H un groupe magnétique ponctuel d'éléments β, α un opérateur (axe de rotation) réalisant un automorphisme interne de H suivant la relation:

$$\alpha(\beta)=\alpha\beta\alpha^{-1}$$

(α et β sont des opérateurs ou des antiopérateurs). Nous obtenons le groupe $G=H_A\alpha$, produit semi-direct dans lequel H est un sous-groupe invariant. Le Tableau 4 résume l'obtention des groupes diédriques non centrosymétriques à partir des groupes n, $\bar{n}$, n' et $\bar{n}'$ et d'un axe 2 perpendiculaire à la direction n ou d'un miroir la contenant. A partir du groupe 222, on obtient de même le groupe $222_A3=23$; et à partir du groupe 23, les groupes: $23_A2=432$, $23_A2'=4'32'$, ... Aucun groupe cubique n'est obtenu à partir de $22'2'$, les trois axes 2 devant être équivalents (Tableau 4).

IV. Enumération des groupes magnétiques d'espace

Les groupes magnétiques d'espace peuvent être énumérés par la méthode de Zachariasen (Sivardière,

Tableau 2. *Groupes d'espace tétraédriques et octaédriques construits à partir des groupes de classe* 222 *en introduisant successivement les éléments* α *et* α'.

H_e	$\alpha=3_{111}$	$\alpha'=2_{1\bar{1}0}$	$\alpha'=m_{110}$	$\alpha'=\bar{1}$	Groupes O_h
$P222$	$P23$	$P432$	$P\bar{4}3m$	$Pm3$	$Pm3m$; $Pm3n$
		$P4_232$	$P\bar{4}3n$	$Pn3$	$Pn3m$; $Pn3n$
$P2_12_12_1$	$P2_13$	$P4_132$		$Pa3$	
		$P4_332$			
$F222$	$F23$	$F432$	$F\bar{4}3m$	$Fm3$	$Fm3m$; $Fm3c$
		$F4_132$	$F\bar{4}3n$	$Fd3$	$Fd3m$; $Fd3c$
$I222$	$I23$	$I432$	$I\bar{4}3m$	$Im3$	$Im3m$
$I2_12_12_1$	$I2_13$	$I4_132$	$I\bar{4}3d$	$Ia3$	$Ia3d$

Tableau 4. *Construction par induction des classes magnétiques diédriques et cubiques*

$2_A2=222$	$2_Am=2mm$		$2'_Am=2'mm'$	
$2_A2'=22'2'$	$2_Am'=2m'm'$			
$3_A2=32$	$3_Am=3m$			
$3_A2'=32'$	$3_Am'=3m'$			
$4_A2=422$	$4_Am=4mm$	$\bar{4}_A2=\bar{4}2m$	$4'_A2=4'22'$	$\bar{4}'_A2=\bar{4}'2m'$
$4_A2'=42'2'$	$4_Am'=4m'm'$	$\bar{4}_A2'=\bar{4}2'm'$	$4'_Am=4'mm'$	$\bar{4}'_A2'=\bar{4}'2'm$
$6_A2=622$	$6_Am=6mm$	$\bar{6}_A2=\bar{6}2m$	$6'_A2=6'22'$	$\bar{6}'_A2=\bar{6}'2m'$
$6_A2'=62'2'$	$6_Am'=6m'm'$	$\bar{6}_A2'=\bar{6}2'm'$	$6'_Am=6'mm'$	$\bar{6}'_A2'=\bar{6}'2'm$

$222_A3_{111}=23$		
$23_A2_{1\bar{1}0}=432$	$23_Am_{110}=\bar{4}3m$	$23\times\bar{1}=m3$
$23_A2'_{1\bar{1}0}=4'32'$	$23_Am'_{110}=\bar{4}'3m'$	$23\times\bar{1}'=m'3$
$432\times\bar{1}=m3m$	$4'32'\times\bar{1}=m3m'$	
$432\times\bar{1}'=m'3m'$	$4'32'\times\bar{1}'=m'3m$	

1970), ou par la méthode d'Opechowski & Guccione (1965), ou encore par la méthode équivalente des représentations (Sivardière, 1969, 1973). La méthode d'induction permet alors d'énumérer simplement ces groupes à partir des groupes magnétiques, de réseau trivial ou non, dont la classe magnétique est cyclique.

Considérons par exemple les groupes H de réseau P, P_{2c}, P_P ou P_I et de classe 4 ou 4′, et l'opération $(\alpha|\tau_\alpha)=(2_x|xyz)$ qui est ici un opérateur ou un antiopérateur. D'après la discussion du § II, nous devons avoir: $x=y=0$ ou $x=y=\frac{1}{2}$ (supposons en effet connu un groupe magnétique de classe 422, 42′2′ ou 4′22′ et de réseau P, P_{2c}, P_P ou P_I, et remplaçons les antiopérateurs par les opérateurs correspondants: nous obtenons l'un des groupes du Tableau 1 de réseau P et de classe 422). Les première, deuxième et quatrième conditions sur $(\alpha|\tau_\alpha)$ sont les mêmes, qu'il s'agisse d'un opérateur ou d'un antiopérateur. Par contre, la troisième condition élimine la solution: $x=y=\frac{1}{2}$ pour les réseaux P_P et P_I puisque $(2_x|xyz)^2$ est nécessairement une translation. Nous obtenons donc immédiatement les résultats du Tableau 5, où seuls les groupes H_e contenant un axe 4, 4_1 ou 4_2 sont envisagés, et où seuls sont retenus les groupes non équivalents.

Considérons également les groupes magnétiques de classe $23=222_A3$. Les trois axes binaires devant être équivalents, ce sont des opérateurs non hélicoïdaux ou des opérateurs hélicoïdaux; le réseau est nécessairement de type P, P_F, F, I ou I_P. D'où les seuls groupes H_e à retenir, outre ceux du Tableau 2: $P_F\,222$, $I_P\,222$, $I_P\,2_12_12_1$. Les groupes G_e qui s'en déduisent par adjonction d'un axe ternaire parallèle à la direction [111] sont respectivement: $P_F\,23$, $I_P\,23$ et $I_P\,2_13$.

Tableau 5. *Groupes magnétiques d'espace de classes* 422, 42′2′ *et* 4′22′ *construits à partir des groupes de classes* 4 *et* 4′

H_e	$\alpha=2_x$ ou $2'$; $\tau_\alpha=0$	$\alpha=2'_x$ ou 2_x; $\tau_\alpha=\frac{1}{2}00$
$P4$	$P422$; $P42'2'$	$P42_12$; $P42'_12'$
$P_{2c}4$	$P_{2c}422$	$P_{2c}42_12$
P_P4	P_P422	
P_I4	$P\ 422$	
$P4'$	$P4'22'$; $P4'2'2$	$P4'2_12'$; $P4'2'_12$
$P_{2c}4'$	$P_{2c}4'22'$	$P_{2c}4'2'_12$
P_P4'	$P_P4'22'$	
$P4_1$	$P4_122$; $P4_12'2'$	$P4_12_12$; $P4_12'_12'$
P_P4_1	P_P4_122	
$P4'_1$	$P4'_122'$; $P4'_12'2$	$P4'_12_12'$; $P4'_12'_12$
$P_P4'_1$	$P_P4'_122'$	
$P4_2$	$P4_222$; $P4_22'2'$	$P4_22_12$; $P4_22'_12'$
$P_{2c}4_2$	$P_{2c}4_222$; $P_{2c}4_22'2'$	$P_{2c}4_22_12$
P_P4_2	P_P4_222	
P_I4_2	P_I4_222	
$P4'_2$	$P4'_222'$; $P4'_22'2$	$P4'_22_12'$; $P4'_22'_12$
$P_{2c}4'_2$	$P_{2c}4'_222'$	$P_{2c}4'_22'_12$

Références

HERMANN, C. (1929). *Z. Kristallogr.* **69**, 533–555.

LOMONT, J. S. (1959). *Applications of Finite Groups.* New York: Academic Press.

OPECHOWSKI, W. & GUCCIONE, R. (1965). *Magnetism*, Tome II *A*, Edité par G. T. RADO & H. SUHL. New York: Academic Press.

SIVARDIÈRE, J. (1969). *Acta Cryst.* A**25**, 363–367.

SIVARDIÈRE, J. (1970). *Bull. Soc. fr. Minér. Crist.* **93**, 146–152.

SIVARDIÈRE, J. (1973). *Acta Cryst.* A**29**, 639–644.

SIVARDIÈRE, J. & BERTAUT, E. F. (1970). *Bull. Soc. fr. Minér. Crist.* **93**, 515–520.

ZACHARIASEN, W. H. (1951). *Theory of X-ray Diffraction in Crystals*, p. 35. New York: John Wiley.

ZAK, J. (1960). *J. Math. Phys.* **1**, 165–169.