

Dégâts d'irradiation dans les solides

Y. Quéré

► **To cite this version:**

Y. Quéré. Dégâts d'irradiation dans les solides. École thématique. Ecole Joliot Curie "Production d'énergie nucléaire et traitement des déchets: des filières d'aujourd'hui aux solutions innovantes", Maubuisson, (France), du 9-14 septembre 1996 : 15ème session, 1996. <cel-00651956>

HAL Id: cel-00651956

<https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00651956>

Submitted on 14 Dec 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dégâts d'irradiation dans les solides

Y. Quéré
Ecole Polytechnique

Résumé

Dès l'été 1942, Wigner s'interroge sur les conséquences du désordre cristallin que devaient produire les neutrons dans le graphite prévu comme modérateur des réacteurs de Hanford et il en confie l'étude à Seitz.

Celui-ci évalue théoriquement l'effet : déplacement des atomes si l'énergie cédée dépasse un certain seuil, d'environ 25 eV, et création de "paires de Frenkel", lacune + interstitiel (*défauts ponctuels*) dans le cristal ; et donc introduction d'énergie interne, avec possibilité que cette énergie se dégage de manière intempestive ("effet Wigner"). Aussitôt des irradiations en cyclotron suivies de mesures calorimétriques sont effectuées, confirmant ces idées et permettant de préciser à quelle température il convient de maintenir le graphite pour éviter l'effet Wigner (par élimination continue des paires de Frenkel). L'ignorance de cet effet, par les Britanniques, conduira à l'incendie du réacteur de Windscale, en 1957.

Après la guerre, expériences et théories se multiplient pour approfondir la connaissance des défauts cristallins créés par le bombardement de particules, chargées ou non, sur les solides. Outre l'effet Wigner, de nombreux phénomènes sont ainsi découverts.

- Par déplacement des atomes, on s'attend à créer du *désordre* dans une phase cristalline ordonnée (par exemple, Ni₃Mn : Aronin), voire de le rendre amorphe (J. Bloch, Blin, Lesueur).
- Les mécanismes élémentaires de *création* des défauts ponctuels sont étudiés en détail soit par choc direct sur les noyaux (cas des neutrons, des électrons ...), soit par recul nucléaire (M.-H. Gély), soit par l'intermédiaire des électrons du solide (création de centres colorés dans les isolants, Pooley ; voire de défauts complexes dans certains métaux, A. Dunlop).
- La mobilité des défauts ponctuels introduit de la *diffusion atomique*, soit induite par l'irradiation, soit accélérée par elle. On observe ainsi l'accroissement, sous irradiation de neutrons, de l'interdiffusion (Moreau, Calais), l'accélération de la précipitation de seconde phase (Blewitt), et même l'apparition de phases ordonnées inconnues (ainsi de l'alliage FeNi : Paulevé, Néel) ou l'apparition de phases normalement hors d'équilibre (Urban, Barbu).
- Le regroupement des défauts ponctuels en amas provoque des variations de propriétés des matériaux, parfois brutales : *durcissement* (Seeger) et *fragilisation*, variations de forme (*croissance*) dans le cas des cristaux anisotropes (uranium : Kittel, Weinberg ; zirconium), *gonflement* par cavités (créées par l'agglomération des lacunes : Bullough)...
- Ces phénomènes ne sont bien compris que si les défauts élémentaires sont correctement connus. Ainsi la mobilité (Blewitt, Corbett), la structure atomique, les propriétés élastiques et anélastiques (Hillairet, B. Beuneu) des *interstitiels* ont-elles été étudiées expérimentalement en détail, mais aussi celles des *lacunes* (Koehler, Balluffi, Wintenberger, Ytterhus, Germagnoli ...), comme celles des *amas* (Hirsch, Silcox, Rhüle, Bourret, M.-O. Ruault...), effort expérimental accompagné par de nombreuses études théoriques (Seitz, Huntington, Fumi, Friedel, Blandin, Eshelby, Seeger ...).

- En parallèle, on applique très tôt la dynamique moléculaire et la méthode de Monte Carlo à l'évaluation de la structure des défauts et surtout à l'étude des phénomènes (Erginsoy, Vineyard, Englert, Doan) : ainsi simule-t-on les trajectoires et le ralentissement des particules, la production de gerbes de déplacements (*cascades*) et les mobilités ainsi induites ...

- Le but de toutes ces études microscopiques est de comprendre et, si possible, de prévoir les modifications des *propriétés macroscopiques* (mécaniques, géométriques, électriques, physico-chimiques ...) des matériaux soumis à irradiation, notamment dans les réacteurs nucléaires (combustibles, gaines, éléments de structure, cuve, isolants électriques ...), dans les couches élaborées par implantation ionique, et dans les dispositifs (diodes, microprocesseurs ...) installés dans les satellites. Il convient par exemple de connaître si, et comment, évoluent globalement les phases constitutives des alliages. Cette évolution dépend avant tout du *flux* de particules (Adda), lequel impose une contrainte dans le traitement thermodynamique de l'alliage et modifie, parfois radicalement, la nature des phases présentes, créant un nouvel "équilibre" souvent différent de l'équilibre à flux nul (Martin, Bellon).