

Chronique Bibliographique en GEOSCIENCES

Bonjour !

Rappelons que cette brève rubrique fort simple et sans prétention n'est **pas d'une analyse de livres qui viennent d'être nouvellement édités**, mais de ceux qui correspondent à un sujet qui m'a généralement été demandé par la communauté de mes anciens élèves¹.

Cette analyse bibliographique modeste mise à disposition du **Club Géologique IDF** peut rendre éventuellement service à d'autres personnes, et il n'y a aucune restriction à diffuser ce texte à qui vous le souhaitez.

Pour certains ouvrages mentionnés, on trouvera souvent un ou deux codes, tels que :

[560.285 SUT] ou bien [S 269(43) / 561.994 CUS(43)]

Il s'agit du codage propre à la **Bibliothèque des Sciences de la Terre de l'Université P.M.Curie**, devenue **Sorbonne-UPMC**, dont il a été indiqué, dans le 1^{er} bulletin, en Janvier 2020, l'adresse², le plan, et les modalités de fonctionnement.

En **Janvier**, nous avons traité de l'utilisation des **scanners pour l'étude des fossiles**, et la **Palynologie appliquée à la recherche des hydrocarbures**, en **Février**, des livres sur les **Ostracodes et Conodontes**, en **Mars**, des **Lagerstätten** et plus spécialement de **Messel**.

Pour ce mois d'Avril, nous présentons quelques ouvrages de **crystallographie**, et une parenthèse importante sur les **rotations 3-D**. Je serai un peu plus prolixe sur ce sujet !

En prévision :

- pour Mai, divers textes sur l'**Ichnologie**, notamment dans les carottes,
- pour Juin, quelques ouvrages sur les **faunes chinoises** (Chengjiang et Jehol),
- pour Juillet, un livre sur l'harmonisation par mesures de ressemblance, avec application à la **sismique** pétrolière, et un autre permettant la révision de tous les concepts de **base de la géologie**,
- pour Août, des livres récents sur la **minéralogie**, ...

Si vous trouvez des erreurs, n'hésitez pas à me les signaler afin que je fasse les rectifications. Si vous rencontrez d'autres ouvrages pertinents, faites en bénéficier notre communauté. Enfin, toute suggestion sera la bienvenue, de même que tout avis différent que vous pourriez exprimer, car ce qui fait la force de la science c'est l'ouverture d'esprit et la possibilité de discuter les informations recueillies (d'où qu'elles viennent), les faits et les hypothèses.

Je vous en remercie d'avance. Bien cordialement à tous.

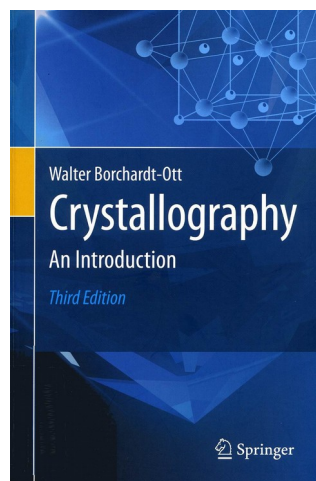
François BOUILLÉ

¹ Anciens du LIST (Laboratoire d'Informatique des Sciences de la Terre) :
étudiants du DESS-IAST, du DU-IAST, du Master-2 IASIG, et anciens thésards.

² Tour 35, 1^{er} étage, UPMC, 4 Place Jussieu, 75005 Paris.

Analyse bibliographique

Avril 2020



Crystallography – An Introduction
Walter BORCHARDT-OTT
Springer, 2011, 356p.

Ce livre d'un auteur allemand (traduit en anglais par Robert O. GOULD) n'est certes pas récent (1993, 1995, 2011), mais il constitue l'un des cours de cristallographie les plus clairs et les plus complets, pour fournir l'essentiel à des étudiants de niveau "master" (ou plus), et peut fournir de bons rappels à des ingénieurs. Il intéresse à la fois les géologues et les chimistes.

Il présente au fil des chapitres :

- la nature de l'état cristallin,
- les réseaux et leurs propriétés,
- la structure du cristal,
- la morphologie, où les étudiants retrouveront les diverses projections dont celles qui leur sont familières, et l'usage du goniomètre,
- les principes de symétrie,
- les 14 réseaux de Bravais,
- les 7 systèmes cristallins,
- les 32 groupes ponctuels,
- les 230 groupes spatiaux,
- les groupes de symétrie,
- les fondements de la cristallographie,
- l'étude de la diffraction cristalline aux rayons X,
- les défauts dans les cristaux.

Les chapitres sont accompagnés d'exercices, dont les corrigés sont fournis dans une annexe (24p.) en fin d'ouvrage. La bibliographie (49 ouvrages) est limitée à la littérature anglaise et allemande. L'ouvrage s'achève sur un index très complet.

Les trois chapitres les plus intéressants semblent être, de mon point de vue, ceux traitant des groupes ponctuels, groupes spatiaux et groupes de symétrie.

Le chapitre sur les groupes ponctuels contient des tableaux très clairs montrant des exemples de molécules, le groupe ponctuel d'appartenance et le cristal correspondant, avec, en association, divers minéraux bien connus des étudiants suivant un cours de minéralogie.

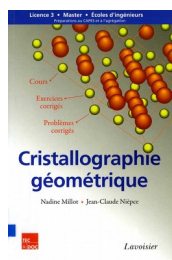
Le chapitre des groupes spatiaux, outre les tableaux de présentation, est illustré par des exemples d'opérations de symétrie accompagnées des coordonnées de position.

Enfin, le chapitre des groupes de symétrie renferme un tableau précieux, que l'on ne trouve pas dans les nombreux autres livres dont je dispose : pour chaque groupe, les opérations sont indiquées, avec les diverses notations, les indices de Miller, mais surtout les matrices correspondant à ces opérations. Ce tableau, de par la présence des matrices, représente 8 pages et sera très utile à l'étudiant. Pour expliquer les glissements, divers exemples de combinaisons sont indiquées avec l'utilisation de matrices et vecteurs.

Un petit regret : il eut été intéressant d'introduire les matrices homogènes et les quaternions, puis les transformations permettant le passage dans les deux sens. Il faut d'ailleurs remarquer que ces deux outils sont rarement mentionnés dans d'autres livres³, et sont toujours absents des livres écrits pour les géologues, probablement en raison du niveau mathématique déplorable de l'enseignement naturaliste... On les trouve par contre dans des livres traitant de chimie et théorie des groupes. C'est pourquoi le 2^{ème} livre présenté dans l'analyse du mois vise à combler cette lacune, quoiqu'il ne traite pas de géologie, mais s'applique à de très nombreuses utilisations en Sciences de la Terre.

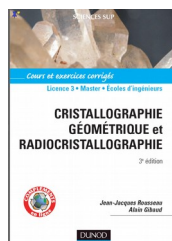
En résumé, "**Crisyallography an introduction**" est un excellent livre, complet et très pédagogique.

Quelques livres pour compléter cette présentation bibliographique, en commençant par les trois ouvrages en langue française, très clairs et d'un accès facile:



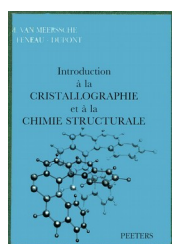
Cristallographie géométrique

Nadine MILLOT, Jean-Claude NIEPCE
Lavoisier, 2014, 266p.



Cristallographie géométrique et radiocristallographie

Jean-Jacques ROUSSEAU, Alain GIBAUD
Dunod, 2007, 366p.



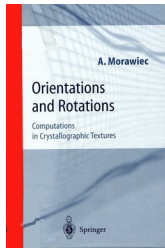
Introduction à la cristallographie et à la chimie structurale

Maurice VAN MEERSSCHE, Janine FENEAU-DUPONT
Ed. Peeters, 1984, 849p.

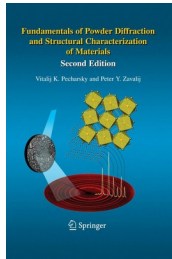
³ L'usage des quaternions est évoqué dans : Orientations & rotations - A.MORAWIEC.

Celui des matrices homogènes est présenté de façon très claire et détaillée dans :

-Cristallographie géométrique et radiocristallographie – Jean-Jacques ROUSSEAU, Alain GIBAUD
-Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials – Vitalij K. PECHARSKY, Peter Y. ZAVALIJ



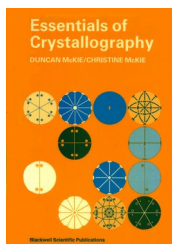
Orientations and rotations – Computations in Crystallographic Textures
Adam MORAWIEC
Springer, 2004, 200p.



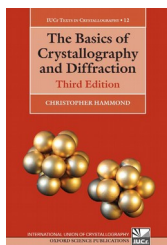
Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials
Vitalij H. PECHARSKY, Peter Y. ZAVALIJ
Springer, 2005, 713p.

Complétons par trois livres pour ceux qui souhaitent une documentation plus complète :

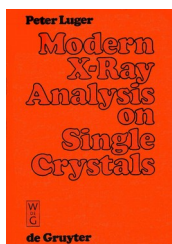
- abondance de biens n'a jamais nui, certes,
 - mais encore faut-il avoir le temps de les consulter
- ...après avoir digéré ceux qui sont essentiels...



Essentials of Crystallography
Duncan Mc KIE, Christine Mc KIE
Blackwell, 1986, 437p.



The Basics of Crystallography and Diffraction
Christopher HAMMOND
Oxford Sc.Pub., 2009, 432p.



Modern X-Ray Analysis on Single Crystals
Peter LUGER
Walter de Gruyter, 1980, 312p.

Il ne faut pas oublier l'outil pour les cristallographes, les "**International Tables for X-Ray Crystallography**" en 3 volumes.... mais qui ne seront pas d'une grande utilité pour la plupart des Lecteurs.

Enfin, rendons hommage à l'un des grands cristallographes, **Georges FRIEDEL**, dont l'ouvrage :

LEÇONS de CRISTALLOGRAPHIE

Lib.Sc.Albert Blanchard, nouveau tirage 1964, 602p.

procure toujours une lecture bénéfique.

Visionnaire, le grand savant fustigeait déjà le fait que l'on faisait perdre trop de temps aux étudiants en les transformant en rats de bibliothèque. Il est vrai que trop de thèses débutent par une année perdue en recherches bibliographiques, maladie venant d'outre-Atlantique et que le grand **Friedel** avait stigmatisée, dès 1926, dans l'introduction de son livre "**Leçons de Cristallographie**", je le cite (extrait) :

" L'instrument de ce babbélisme menaçant, c'est l'abus de bibliographie. Trop souvent on enseigne aux jeunes gens, et la mode en est venue du dehors jusque chez nous, que lorsqu'ils veulent entreprendre une recherche, leur premier et d'abord unique soin doit être d'en réunir et compulsur la "Literatur". Ce n'est que lorsqu'ils se seront farci la tête de tout ce qui a été écrit sur le sujet, et par conséquent de dix erreurs pour une vérité, lorsque de cet amalgame ils se seront composé une idée moyenne, nécessairement inexacte, et auront ainsi perdu toute fraîcheur d'impression, qu'ils seront admis à regarder les faits par eux-mêmes. Une telle méthode tend à nous ramener au bavardage livresque du Moyen Age et à étouffer toute originalité. "

Cette remarque est tellement justifiée que je la livrais souvent à mes Etudiants commençant une thèse. Si Friedel revenait maintenant parmi nous, il serait effrayé par l'extension de cette pandémie née au siècle dernier chez des barbares incultes, dont l'objectif était essentiellement mercantile, puisqu'il s'agissait avant tout de s'assurer qu'aucun brevet n'existait sur une idée, une méthode, un modèle, etc... [rappelons que certains sont en train de breveter le génome humain, qu'ils n'ont pourtant pas inventé !!!]. Aux USA, lorsque je présentais mes travaux de recherche, il n'était pas rare que l'on me demanda en tout premier s'ils étaient brevetés ... L'on m'a ainsi répondu une fois : "Donc ils ne vous appartiennent pas" !

En accord avec Friedel, près de 100 ans après sa remarque, force est de constater que dans certains domaines, nous repartons actuellement au Moyen Age, et pas seulement en cristallographie !

=====

Passons au **2^{ème} livre** qui traite des **quaternions**, dont une application immédiate se trouve être, entre autres, en **Cristallographie**, mais il y en a de très nombreuses autres en Géosciences.

Je serai beaucoup plus prolix concernant ce livre !



Quaternions réels, duaux et complexes

Jean HLADIK, Pierre-Emmanuel HLADIK

Ellipses, 2016, 343p.

Les quaternions ont été inventés par un irlandais, *sir* William Rowan HAMILTON en 1843, en tant que généralisation des complexes à plus de deux dimensions (à trois cela ne marche pas et le coup de génie d'Hamilton a été de passer ensuite directement à 4 dimensions...). Il ne pouvait savoir pourquoi les complexes ne pouvaient marcher en 3 dimensions, la démonstration n'en ayant été faite qu'en 1898, par l'allemand Hurwitz (théorème d'Hurwitz).

Dans les classes de "taupe", ils étaient autrefois enseignés comme une curiosité mathématique intéressante mais sans application. C'est ainsi que mon prof de taupe nous les a présentés : "Ils ne servent à rien, mais ils sont très beaux, et cela pourra peut-être servir un jour à quelque chose".

Avec la robotique, la réalité virtuelle, les jeux vidéo et les simulateurs de vol, ils sont devenus l'un des outils les plus couramment utilisés. C'est d'ailleurs au moment où les applications apparaissaient qu'ils ont été supprimés des programmes des classes préparatoires, ce qui en dit long sur la compétence des conseillers dans ce ministère (ce n'est pas le seul). Heureusement, dans les bonnes "taupes" (comme à Louis le Grand), on a bien sûr continué à les enseigner, et ils sont probablement revenus officiellement au programme (*à vérifier...*).

Dans ce livre très utile pour de nombreux scientifiques, ingénieurs et chercheurs, vous irez beaucoup plus loin dans la compréhension des complexes et hypercomplexes, et verrez des bases que vous n'avez pas eu l'occasion d'aborder en taupe, car le programme y est déjà énorme !

Nous verrons plus bas qu'ils ont de **très nombreuses applications en Sciences de la Terre**, et sont plus utiles aux Etudiants que la mémorisation bestiale de la série du Dévonien des Ardennes, fort intéressante au demeurant, mais qu'il est particulièrement stupide d'apprendre par cœur et encore plus stupide de demander à un étudiant de la réciter lors d'un oral de maîtrise [*merci au Pr.L. (†), j'ai heureusement oublié l'épaisseur des couches dès la sortie de cet oral*].

Si le caractère légèrement mathématique du commentaire qui suit vous rebute, allez d'abord voir en page 12 les applications citées...

Venons en au contenu ...

-après un bref avant-propos et une table des matières bien détaillée permettant un accès rapide à n'importe quel point traité (un grand merci !), les auteurs ont condensé en quatre pages les diverses notations mathématiques utilisées dans l'ouvrage, ce qui est très utile.

-l'ouvrage est divisé en deux grandes parties, la première (chapitres 1 à 11), traite des fondements mathématiques, la seconde (chapitre 12 à 23) d'applications diverses. De ce fait, la bibliographie est répartie en divers endroits.

Nous commenterons surtout la première partie, quoique divers domaines nous intéressent dans la seconde et que des explications essentielles y figurent.

-le premier chapitre présente d'abord les nombres complexes, ceux que tout le monde a appris au lycée ($a + i b$ ou $\rho.e^{i\theta}$, avec $i^2 = -1$), mais y adjoint les nombres duaux et les nombres biréels.

Les nombres duaux ont été inventés par Clifford en 1873. Un nombre dual se présente comme suit : $\hat{a} = a + \varepsilon b$, avec $\varepsilon^2 = 0$, mais $\varepsilon \neq 0$.

Les nombres biréels ont été inventés par Cockle en 1848. Un nombre biréel se présente comme suit : $\hat{z} = a + b v$, avec $v^2 = 1$, mais $v \neq \pm 1$.

Un nombre hypercomplexe (complexe, dual ou biréel) se ramène donc à :

$$z = x + k y \quad / \quad k = (-1, 0, 1).$$

On présente deux extensions : les nombres duaux complexes, dans lesquels les composants ne sont plus des réels mais des complexes, et les nombres bicomplexes, dont les composants sont eux aussi des complexes...

-le deuxième chapitre présente les Quaternions. Pour être bref, et pour ceux qui n'ont pas déjà croisé un quaternion (on en croise moins que les virus ces temps-ci, et il n'y a pas besoin de masque, ni de vous faire tester, ni de vous faire soigner⁴...), un quaternion est sans danger (*sauf si l'on devient dépendant !*) et se présente ainsi :

$$z = a + i b + j c + k d \quad \text{avec} \quad \begin{cases} i^2 = j^2 = k^2 = -1 \\ ij = k, jk = i, ki = j \\ ji = -k, kj = -i, ik = -j \\ ijk = -1 \end{cases}$$

Après avoir présenté l'algèbre des quaternions et divers concepts et opérations :

-conjugaison, norme, inversion, division, produit scalaire, produit vectoriel, produit quaternionique, dérivation, ...

les auteurs montrent les rapports entre quaternions et vecteurs tridimensionnels, puis les opérateurs de Hamilton, et enfin le théorème d'Urwitz déjà mentionné plus haut.

Le chapitre s'achève sur une photo de la plaque gravée sur le *Brougham Bridge* à Dublin, à l'endroit où Hamilton eut son idée géniale :

*"Here as he walked by
on the 16th of October 1843
Sir William Rowan Hamilton
in a flash of genius discovered
the fundamental formula for
quaternion multiplication
 $i^2 = j^2 = k^2 = -1$
& cut it on a stone of this bridge"*

-le troisième chapitre propose l'interprétation géométrique des quaternions, avec diverses formulations, dont une formulation vectorielle, préparant aux rotations 3-D. Un quaternion peut être considéré de diverses façons, comme un quadrivecteur, ou comme l'association d'un scalaire avec un vecteur de \mathbb{R}^3 , ou encore sous forme

⁴ Il n'y en a pas, de toute façon ! Merci qui ?...

symplectique (un complexe dont les deux composants sont eux-mêmes des complexes), ou enfin sous forme exponentielle.

-les quatrième et cinquième chapîtres sont ceux qui entrent dans le vif du sujet pouvant intéresser fortement les spécialistes des Géosciences :

-le quatrième traite de la rotation dans R^3 à l'aide de matrices, selon les méthodes que tout le monde connaît bien depuis le lycée (enfin ... en théorie), rappelle les angles d'Euler, les rotations intrinsèques et extrinsèques, avant d'introduire les matrices des séquences de rotations d'Euler. Un sous-chapitre très utile (4.6) présente très clairement la recherche de la matrice qui tient en un jeu de 9 équations, puis l'utilisation de diverses méthodes.

-le cinquième présente l'utilisation des quaternions. On y voit les opérateurs de rotations spatiales, les rotations successives, et le quaternion résultant du produit de deux rotations. Un point qui intéresse tout particulièrement les géoscientifiques est le passage de la matrice de rotation au quaternion, ce qui vous évitera de refaire les calculs théoriques (*et de vous tromper dedans à cette occasion...*). Le sous-chapitre 5.7 est consacré au quaternion rotation instantanée du solide qui concernera surtout les géologues travaillant en mécanique du solide, mécanique des milieux continus, ou mécanique des roches. Enfin le sous-chapitre 5.8 présente les interpolations et notamment *Slerp*, couramment utilisée⁵.

-certains des chapitres suivants (6, 7, 8) seront moins utiles en Géosciences, en général, mais il ne faut toutefois pas négliger les potentialités des outils présentés qui pourraient s'avérer exploitables dans ce domaine. N'ayons pas d'oeuillères... De toute façon, les concepts présentés sont fort intéressants.

-le chapitre 6 présente les quaternions complexes (a, b, c, d sont alors des complexes et non plus des réels). Le quaternion complexe est considéré comme le résultat du produit tensoriel d'un vecteur complexe avec un quaternion.

-le chapitre 7, très court, propose nouvelle extension, en généralisant à 8 dimensions (octonions) et 16 (sédénions). Mais au fur et à mesure que le nombre de dimensions augmente, l'algèbre relative perd certaines de ses propriétés. Par exemple, la multiplication des octonions n'est pas commutative, contrairement à celle des quaternions. A partir du théorème de Pfister :

"Pour tout nombre entier n, le produit de deux sommes de 2ⁿ carrés est toujours une autre telle somme"

on peut construire des algèbres de dimensions supérieures. C'est le cas des sédénions (dim. = 16), qui perdent une propriété supplémentaire, l'alternativité.

Les octonions semblent avoir un intérêt en théorie des cordes, tandis que les sédénions n'ont présentement aucune application ("*il est urgent d'attendre !*"), tout au moins à ma connaissance limitée ("*plus j'apprends et plus je mesure l'étendue de mon ignorance !* ").

-le chapitre 8 présente les quaternions duaux, inventés par Clifford en 1873, et utilisés en 1900 par Kotelnikov et Study dans le domaine de la mécanique. Un quaternion dual est un quaternion dont les composants sont des nombres duaux, comme le quaternion complexe est un quaternion dont les composantes sont des nombres complexes. Leurs propriétés sont présentées, puis les opérateurs de Hamilton, déjà introduits au chapitre 2,

-le chapitre 9 nous intéresse à nouveau fortement, car il combine translations et rotations, en introduisant les **coordonnées homogènes** qui sont des 4-matrices. Les

⁵ voir la dernière thèse que j'ai fait soutenir à l'un de vos anciens :

Apport des SIG et de la réalité virtuelle à la modélisation et la simulation du trafic urbain – Julien RICHARD, 2018-03-21, 193p. + annexes 303p.

coordonnées homogènes permettent de combiner une rotation avec une translation au sein d'une matrice.

Pour rappel : M étant une matrice (3,3) représentant une rotation dans un espace vectoriel à 3 dimensions, T étant un vecteur représentant une translation dans cet espace, la matrice homogène qui en résulte est la suivante :

$$\begin{pmatrix} \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ces coordonnées sont très utilisées dans les logiciels graphiques, notamment en réalité virtuelle, en robotique, et bien sûr dans les simulateurs... Lors du déplacement d'un bras de robot muni de plusieurs éléments articulés, il suffit de faire le produit des matrices homogènes (*en respectant l'ordre ...*). Il est souvent plus avantageux de convertir les matrices en quaternions, d'effectuer les produits quaternioniques, et de convertir le résultat final en une matrice homogène (*voir à ce propos le chapitre 16*).

-le chapitre 10 revient sur les translations et rotations, dans le contexte du vissage, ce qui est intéressant en cristallographie, par exemple dans les opérations avec glissement.

Il détaille les quaternions duaux, puis introduit les opérateurs duaux d'Hamilton, et leurs propriétés.

-le chapitre 11 intéressera moins le Lecteur géoscientifique ; il traite nouvelles extensions : quaternions duaux complexes, quaternions biréels, quaternions hyperboliques ... (*mais ils sont très beaux !*)...

La seconde partie est consacrée, comme indiqué plus haut, aux diverses applications, et les chapitres sont écrits par différents auteurs, spécialistes de leur domaine.

-dans le chapitre 12, Jean HLADIK et Pierre-Emmanuel HLADIK donnent un aperçu sur le vaste champ d'application, en cinématique, robotique, **biomécanique**⁶ et ingénierie biomédicale, aéronautique, traitement d'image, électromagnétisme, relativité, physique quantique et cosmologie. On y retrouve au passage des grands noms (Maxwell, Poincaré, Lorentz, Dirac, Lemaître,...).

-dans le chapitre 13, Philippe CARRÉ présente l'utilisation des ondelettes quaternioniques pour l'analyse d'image, et dans le chapitre 14, Patrice DENIS et Philippe CARRÉ développent le sujet avec l'analyse d'images couleur.

Ces deux chapitres sont du plus grand intérêt pour les géologues et géophysiciens travaillant notamment en télédétection, ainsi que pour les géomaticiens (*les deux populations n'ayant d'ailleurs pas une intersection vide...*).

-dans le chapitre 15, Pierre-Emmanuel HLADIK présente les méthodes d'évaluation des systèmes rigides, ce qui intéressera plutôt les spécialistes de physique des solides, mais aussi ceux des applications militaires (informatique embarquée, paramètres mesurés à bord de véhicules...), et dans le chapitre 16, l'un des plus utiles, il montre

⁶ voir le livre de l'analyse de Janvier :

Techniques for virtual palaeontology – SUTTON, RAHMAN, GARWOOD

l'intérêt des calculs quaternioniques pour les rotations, expliquant de façon claire et simple la double formulation :

- du quaternion vers la matrice,**
- de la matrice vers le quaternion,**

et fournit une évaluation très précise des performances, avant de dresser le bilan de l'utilisation des quaternions. **C'est un chapitre clé !**

-dans le chapitre 17, Véronique PERDEREAU, présente l'usage des quaternions duaux en robotique, ce qui concerne bien sûr les roboticiens, mais aussi ceux qui utilisent les robots dans des applications en milieu hostile : pétrole, décontamination, déminage, ...

-le chapitre 18 (Gwenaël GUILLARD et Chafiaâ HAMITOUCHE) présente l'interpolation et l'approximation des quaternions duaux, ce qui concerne les courbes de Bézier et les courbes splines⁷. La question peut intéresser les personnes travaillant sur la cartographie des gisements, notamment en géostatistique.

-en liaison avec le chapitre 17, le chapitre 19 (Gwenaël GUILLARD, Chafiaâ HAMITOUCHE et Christian ROUX) traite de l'usage des quaternions dans les articulations, avec une application dans le domaine médical, mais serait applicable à des technologies souterraines comme les tunneliers (c'est peut-être déjà le cas...).

-dans le chapitre 20, "Groupes et quaternions", Jean HLADIK revient sur des fondements théoriques ; il rappelle la théorie des groupes, essentielle en cristallographie et chimie structurale, et les groupes bien connus :

$SO(2)$ dans le plan, $SO(3)$ rotations spatiales, $SU(2)$ rotations sur la sphère, il introduit les matrices infinitésimales, avec leurs implications dans les groupes précédents, auxquels il adjoint le groupe $SO(4)$. Il termine avec l'apport des matrices de Pauli, bien connues des physiciens.

- dans le chapitre 21, Jean HLADIK passe à la relativité restreinte de Poincaré et à la mécanique quantique, avec la transformation de Lorentz quaternionique, la théorie de Pauli, le spineur quaternionique... Non physicien, s'abstenir...

-dans le chapitre 22, Jean HLADIK, et Roland TRACCUCCI traitent des géométries non euclidiennes, notamment l'espace de Riemann, avec une représentation quaternionique de l'hypersphère S^3 Non mathématicien, s'abstenir...

-enfin, le chapitre 22 est consacré à un extrait d'un article du grand savant, visionnaire en cosmologie, le belge Georges LEMAITRE, auquel on doit l'idée de "big-bang", terme repris sous son nom par l'américain Hubble, l'idée de LEMAITRE ayant été développée parallèlement par un autre grand savant, Alexandre FRIEDMANN. LEMAITRE, qui était aussi modeste que POINCARRE, n'a pas cherché à revendiquer la paternité du terme qui lui a été "emprunté", mais tout finit par se savoir (*et ce n'est pas le seul cas en physique parmi les célébrités tant encensées ...*).

⁷ C'était chaque année le sujet d'un des projets bibliographiques en DESS-IAST...

En résumé, cet ouvrage représente un outil précieux pour les géologues qui ne sont pas allergiques aux mathématiques (*heureusement, ils sont nombreux !*). Il est extrêmement clair et pédagogique, comme tous les ouvrages écrits par HLADIK⁸.

A garder à portée de main dans la bibliothèque du géoscientifique !

NB : un ouvrage de robotique , parmi tant d'autres, s'intéresse aux quaternions et en montre leur intérêt, notamment en termes d'efficacité :

Robotique , contrôle, programmation, interaction avec l'environnement – Giuseppina GINI, Maria GINI, Masson, 166p.

(Simple petit détail : il y a une petite erreur que j'ai découverte, mais je n'arrive pas à retrouver le livre pour vous communiquer la page (ma bibliothèque dépasse les 5000 volumes, une partie est à la campagne, et comme vous l'avez constaté, nous ne pouvons plus voyager en ces temps médiévaux).

Applications en Sciences de la Terre :

Il ne s'agit que d'un bref survol de quelques applications :

-animation d'un bloc diagramme : certains d'entre vous l'ont déjà réalisé en utilisant les quaternions au lieu des matrices homogènes. Pour avoir le relief sans avoir à formuler de vastes calculs, pensez à l'algorithme de Laporte.

-tectonique des plaques : on est sur la sphère, il n'y a pas de translation comme sur les cartes 2-D, il s'agit de rotations sur le globe, combinés à des basculements (autres rotations) et quelques translations (enfouissements). Dans les années 1980, j'ai suggéré à un brillant doctorant (qui n'était pas mon thésard) de les utiliser pour sa tectonique des plaques. Quelques jours après, il m'a fait part des résultats, cela marchait évidemment très bien, et tournait beaucoup plus vite qu'avec les matrices. Il est devenu depuis un brillant professeur à l'UPMC...

-manipulation des cristaux : pour les faire tourner aisément en tous sens (rotations), accoler des faces (translations), les faire pivoter (rotations).

-robotique pour l'exploration des milieux hostiles, ce qui intéresse entre autres l'*off-shore*, ou la recherche de fuites le long de canalisations à l'air libre ou sous la mer.

-simulation du positionnement des éléments de train de tiges : au lieu de faire des produits de matrices, on utilisera des produits quaternioniques.

-réalité virtuelle, réalité améliorée, pour l'entraînement à la manipulation des éléments servant au fonctionnement d'une plateforme *off-shore* : des outils opérationnels existent, comme pour les simulateurs de vol, les simulateurs de conduite automobile, ou celles des chars de combat.

-applications en géomatique, notamment en géodésie spatiale, utilisation des satellites et télédétection ...

⁸ Citons des mêmes auteurs, un ouvrage tout aussi clair et accessible :
"Le calcul tensoriel en physique" – Dunod, 1999, 228p.

Certains étudiants du DESS-IASST et du Master-2 IASIG les ont utilisés dans leur projet final consacré à la réalisation d'un SIG 4-D.

-en géomagnétisme, les quaternions peuvent être utilisées pour les équations de Maxwell, le vecteur densité de courant électrique étant un quadri-vecteur.

Bien d'autres possibilités existent ... Si vous en utilisez, faites m'en part, si ce n'est pas "*confidentiel industrie*" ou "*confidentiel défense*" (dans les deux cas, vous vous l'êtes déjà fait pirater par l'étranger, notamment grâce à l'utilisation massive et stupide (quand ce n'est pas de la trahison passive) du *cloud*⁹...

⁹ C'est actuellement le sujet d'une grande discussion dans l'industrie, notamment pétrolière, la question étant de savoir si un berger peut confier son troupeau non plus à ses chiens, mais à des gardiens plus efficaces et qui coûtent moins cher à nourrir, des loups. A méditer...

On dit généralement : "Quand c'est gratuit, c'est vous qui êtes la marchandise !".

Quand en plus, c'est payant, c'est que vous êtes complice, ou bien que vous n'avez pas envie de passer le restant de votre vie comme otage, lors d'un séjour à l'étranger. Je vous invite à lire un livre fort instructif écrit par un dirigeant d'Alstom :

"Le piège américain" , Frédéric PIERLUCCI . Bonne lecture préventive ...