

Huy Duong BUI

Huy Duong BUI, membre de l'Académie des sciences est décédé le 29 mai 2013 à l'âge de 76 ans. Il était membre fondateur de l'Académie des technologies, membre de l'European Academy of sciences et Fellow de l'Institute of Physics (Londres). Il était aussi Chevalier dans l'Ordre national de la légion d'honneur.

Huy Duong BUI était né à Hanoi le 18 mars 1937. Enfant, au Vietnam, il fut longtemps tenu éloigné de la ville et privé d'école par de dures années de guerre, d'inondations et de famine : réfugié à la campagne avec sa famille, il y avait appris de son père la chasse et la pêche, il avait aussi contemplé les étoiles et, surtout, développé un sens pratique, une habilité manuelle, une curiosité et une inventivité qui allaient marquer sa personnalité. Son grand-père paternel, un « lettré », lui donna le goût d'étudier et lui enseigna les bases du vietnamien et de l'arithmétique. Privé d'école jusqu'à l'âge de 12 ans, son niveau insuffisant en français lui fermait les portes du lycée français de Hanoi et c'est en suivant pendant 3 ans des cours privés, puis en étudiant pendant 2 ans en autodidacte, que BUI (c'est ainsi que nous avons coutume de l'appeler) réussit brillamment au baccalauréat en 1955. Remarqué pour son intelligence exceptionnelle, il obtint alors une des rares bourses d'étude en classes préparatoires et intégra le 25 novembre, soit avec presque un trimestre de retard, la classe de mathématiques supérieures du lycée Henri IV du professeur Jean ITARD (bien connu par ailleurs comme historien des mathématiques). En un trimestre ce handicap était rattrapé et, après une année de mathématiques spéciales, BUI était reçu dans la promotion 1957 de l'École polytechnique. Sorti en 1959, il entra à l'École nationale supérieure des mines de Paris pour une spécialisation de deux ans. La carrière scientifique de BUI allait ensuite commencer.

Dans une notice qu'il a tenue à jour jusque peu de temps avant son décès, BUI révèle avec amusement que c'est le fait d'avoir échoué aux « petits tests psychotechniques, jeux d'enfants mal enchainés » qui étaient alors très en vogue, lors de son entretien d'embauche chez IBM qui l'a conduit en décembre 1961 au Laboratoire de mécanique de l'École polytechnique que venait de fonder le professeur Jean Mandel.

L'entrée de BUI dans ce laboratoire naissant posait des difficultés matérielles qui furent opportunément résolues par EDF en l'embauchant pour réaliser des études en mécanique des solides destinées aux futures centrales nucléaires. En fait la carrière scientifique de BUI est attachée à ce laboratoire où il a toujours été présent, dans des positions administratives diverses. Cette situation originale, permise par la clairvoyance de directeurs successifs de la Direction des Études et Recherches (DER) d'EDF, explique, pour une bonne part, la nature des travaux scientifiques de BUI : motivés, sinon guidés, par les besoins de recherche du programme énergétique français.

Indépendamment de son ampleur et de sa cohérence, l'œuvre scientifique de BUI se caractérise, dès ses premiers travaux, par l'élégance et la subtilité. Elle se situe sans ambiguïté en mécanique des solides déformables, sans pour autant négliger, lorsque cela se révèle nécessaire, des incursions dans le domaine de la mécanique des fluides pour l'analyse de problèmes couplés. On peut regrouper ces travaux scientifiques en quatre grands domaines : la mécanique des matériaux, la mécanique de la rupture, les méthodes numériques par

équations intégrales de frontière, les problèmes inverses et les problèmes d'identification. Une telle classification a certes le mérite de structurer l'exposé mais peut aussi occulter le cheminement logique et chronologique des travaux de BUI qui mêle les résultats obtenus dans ces domaines.

Mécanique des matériaux

La thèse de BUI, soutenue en 1969, portait sur l'élastoplasticité des métaux. Motivée par le programme de recherche lié au gazoduc transméditerranéen, on y trouve en germes plusieurs des sujets sur lesquels BUI allait, par la suite, exceller. C'est d'abord une étude expérimentale, menée par BUI lui-même, pour déterminer l'évolution de la frontière du domaine d'élasticité des métaux par écrouissage à partir du domaine d'élasticité initial, suivant la nature de la sollicitation incrémentale imposée au matériau. BUI avait pour cela conçu et réalisé des expériences en traction-compression et torsion sur des tubes minces d'aluminium, de fer, de cuivre avec une avancée métrologique significative qui lui faisait gagner au moins un ordre de grandeur sur l'accroissement de déformation permanente qu'il pouvait détecter. Il s'agissait là d'une percée essentielle : il faut en effet bien comprendre que la détermination de la frontière du domaine d'élasticité dans un état d'écrouissage donné ne peut se faire qu'en détectant, pour divers trajets de chargement, l'apparition de déformations permanentes nouvelles, mais que ces mêmes déformations permanentes modifient immédiatement l'état d'écrouissage ! Les résultats obtenus, totalement originaux, auxquels il est encore fait référence à ce jour, ont notamment mis en évidence dans les tout premiers pas de l'écrouissage un effet inattendu, contraire à l'effet BAUSCHINGER. Ils ont aussi permis d'examiner l'influence du trajet de charge, l'apparition de points coniques, et la pertinence de la "règle de normalité". Dans cette même thèse, BUI a développé une analyse théorique, dans la ligne des préoccupations de HILL et MANDEL à l'époque, où il a construit, par une démarche pionnière "d'homogénéisation des milieux aléatoires" un modèle physique expliquant, à partir du comportement du monocristal, le comportement qu'il avait observé pour le polycristal métallique élastoplastique.

BUI est revenu à la mécanique des matériaux vers la fin des années 70 sous la pression du programme de recherche sur les lois de comportement des aciers utilisés dans les centrales EDF, en s'intéressant particulièrement aux aspects cruciaux de l'endommagement et de la rupture et aux relations "micro-macro". Puis, dans les années 90, il s'est intéressé à la micromécanique près de la surface d'un solide, aux interfaces de discontinuités des matériaux — telles que les soudures — ou du chargement — telles que le choc thermique. C'est à ce propos qu'il a mis en évidence la singularité de contrainte dite "Épine", (très localisée, bornée, discontinue, à gradient non borné) qui permettait d'expliquer les phénomènes de dégradation superficielle observés, tels que le faïençage thermique, et constituait une avancée, suivie par d'autres, vers la maîtrise des phénomènes d'endommagement superficiels des matériaux.

Pour en terminer avec ce domaine, dont les applications industrielles sont essentielles, on peut signaler que BUI a su mettre ses compétences scientifiques au service de l'application technique en participant à la rédaction du très important code de construction des centrales nucléaires à neutrons rapides. Il a participé, en tant que Chef de projet EDF, au contrat BRIT-EURAM sur le béton renforcé de fibres, sujet motivé par la dégradation trop rapide de certaines tours de réfrigération. BUI est aussi intervenu dans les problèmes mécaniques et

rhéologiques liés au stockage souterrain des déchets radioactifs : il a apporté au groupement d'études concerné son habileté à marier théorie, calculs numériques et essais *in situ*.

Mécanique de la rupture

BUI s'est intéressé à la mécanique de la rupture dès après sa thèse. Suivant la ligne de recherche privilégiée à l'époque, il s'est attaché à la caractérisation des singularités en fond de fissure pour déterminer les facteurs d'intensité de contrainte, essentiels en mécanique de la rupture fragile. Il a ainsi :

- énoncé la loi de conservation duale de celle établie par ESHELBY en 1956 ;
- construit l'intégrale invariante I duale de l'intégrale J de RICE et CHEREPANOV, permettant ainsi l'encadrement numérique de leur valeur commune ;
- construit les deux intégrales invariantes qui permettent de découpler, dans l'intégrale J , les modes de rupture I et II (résultats qui furent implantés dans les codes de calcul CEA, EDF) ;
- établi, pour les applications à la mécanique de la rupture thermoélastique, une méthode de construction d'une loi de conservation de type "divergence nulle" pour les problèmes qui se présentent naturellement avec un terme de source, ce qui facilite le calcul précis des singularités.

En appliquant les techniques des échelles multiples et des développements asymptotiques raccordés, avec AMESTOY et DANG VAN, BUI a résolu analytiquement le problème de la fissure déviée qui n'était jusque-là abordé que par voie numérique ; il a complété ce résultat par la suite avec AMESTOY et LEBLOND dans le cas où la branche déviée est courbe. Avec EHRLACHER et NGUYEN, il a établi la singularité logarithmique du champ de température due à la source ponctuelle de chaleur qui apparaît à la pointe d'une fissure en propagation dans un solide élastique : résultat conforme aux évidences expérimentales disponibles alors, qu'il a aussi confirmé par ses propres expériences. Par l'introduction d'une loi de décohesion à seuil dans les équations de comportement du matériau élastique, BUI et EHRLACHER ont mis en évidence des solutions analytiques pour les problèmes de propagations quasi-statique et dynamique des fissures en mode III (problème mathématique à frontière libre séparant la zone endommagée de la zone encore élastique) levant, à cette occasion, le paradoxe de RICE en théorie de la rupture ductile pour le matériau parfaitement plastique.

Pour l'étude de la rupture dynamique, BUI a inspiré l'invention de l'éprouvette en « pince à linge » qui s'est révélée un outil remarquable d'analyse expérimentale, permettant aussi l'étude du débit de fuite à travers des fissures. C'est ce qui l'a conduit à étudier divers aspects de l'interaction fluide-fissure en présence de tension superficielle notamment pour la sécurité des centrales nucléaires. Pour être bref on peut retenir les résultats qu'il a obtenus dans le domaine de la fracturation hydraulique : modèle d'écoulement bidimensionnel du fluide visqueux à la pointe d'une fissure immobile qui permet de faire disparaître la singularité en pression induite par les modèles classiques ; pour la fissure qui se propage, modélisation de l'interaction en introduisant la tension capillaire et en supposant l'existence d'un vide entre le ménisque convexe de fluide et la tête de la fissure : le problème couplé a été résolu numériquement, mettant en évidence la structure bidimensionnelle de l'écoulement. Cette compétence a fait de BUI un expert reconnu pour ces problèmes dont les applications industrielles sont nombreuses comme l'actualité ne manque pas de nous le rappeler.

BUI était un des “très grands” de la Mécanique de la rupture fragile. Son livre, publié en 1978 fait encore autorité de nos jours.

Méthodes des équations intégrales de frontières

Ce domaine est évidemment très lié aux précédents. En thermo-élasto-plasticité BUI, constatant les anomalies des résultats numériques, a réexaminé les équations intégrales jusque là utilisées par les chercheurs et les ingénieurs, montré que le noyau intégral en était incomplet et rétabli les équations exactes en rajoutant une distribution ponctuelle. Il a repris ultérieurement ce domaine de recherche, abordé les problèmes dynamiques et, avec BONNET et LORET, mis en évidence une méthode très simple de régularisation des équations intégrales singulières de l'élastodynamique aboutissant à une grande précision dans la mise en œuvre numérique. Cette méthode a été utilisée notamment par MADARIAGA (IPG) et BONNET dans un article paru en 1991 dans *Wave Motion*. Dans un article ultérieur BUI a proposé une méthode variationnelle, non singulière, qui préserve la symétrie et fournit un indicateur d'erreur a posteriori.

Problèmes inverses et identification

Sur ce quatrième grand thème, BUI a publié en 1993 un livre intitulé *Introduction aux Problèmes Inverses en Mécanique des Matériaux* qui a fait l'objet, notamment, de traductions en anglais, japonais, chinois et russe, ouvrage qualifié par Paul GERMAIN dans sa préface de “tour de force” : “*exposer en moins de 230 pages et de façon complète un ensemble aussi difficile ne peut être le fruit que d'une culture vaste et approfondie [...] nourrissant une réflexion personnelle qui repense constamment toutes les connaissances acquises et aussi, sans doute ici le point essentiel, d'une expérience personnelle des applications et des méthodes présentées dans l'ouvrage*”. Il est de fait que BUI ne manquait pas sur ce sujet d'expérience personnelle mais c'est bien son esprit géométrique, nourri des notions de dualité, de symétrie et de réciprocité qui lui a inspiré ses intuitions fulgurantes et ses traitements d'une rare élégance, en même temps que son habileté mathématique lui a permis de trouver des solutions analytiques d'une simplicité déconcertante là où d'autres s'engouffraient dans les seules approches numériques. Il a ainsi pu résoudre quantité de problèmes de détection de fissures, de localisation de failles ou de défaut de matière comme de reconstitution de trajets de chargement. À titre d'exemples :

- l'obtention analytique directe du facteur d'intensité dynamique des contraintes à partir des mesures expérimentales des forces et des vitesses appliquées à la surface du solide, par la résolution d'une équation de convolution (BUI et MAIGRE) ;
- la séparation des énergies cinétique, élastique et dissipée dans un problème de propagation de fissure si l'on connaît expérimentalement la force appliquée et la vitesse correspondante et aussi la longueur et l'ouverture de la fissure.
- L'identification du tenseur des modules d'élasticité dans un solide non homogène à partir des seules mesures à la frontière : forces et déplacements connus. Les résultats disponibles se limitaient au cas du matériau isotrope (2 modules) et BUI a montré que l'identification était possible jusqu'à 6 coefficients d'élasticité.

C'est encore à l'instigation d'EDF que BUI s'est intéressé à l'inversion de données de microgravimétrie acquises sur la pyramide de Chéops, diagnostiquant la présence de spirales internes évidées qui, plusieurs années plus tard, put être mise en relation avec la théorie de la construction par rampe spirale interne proposée par les architectes Henri et Jean-Pierre HOUDIN.

BUI a formé de très nombreux jeunes chercheurs et ingénieurs, à qui il a su communiquer non seulement son savoir et son savoir-faire scientifiques mais aussi son enthousiasme pour la recherche et sa passion pour le rapprochement entre science et industrie, entre théorie et expérience, entre recherche de base et recherche appliquée. À EDF il a apporté, au-delà de sa contribution au développement du Département Mécanique et Modèles Numériques ou du LaMSiD, Laboratoire commun EDF/CNRS, son expertise scientifique, ses analyses visionnaires sur l'évolution des sciences et des techniques et surtout le capital humain exceptionnel qu'il a su former par la recherche sur des problématiques clés de l'industrie nucléaire. Auteur de plus de 100 articles et de 4 livres dont certains traduits en sept langues, il a non seulement fait avancer la plupart des grands thèmes de la mécanique des solides de ces cinquante dernières années mais aussi apporté une contribution de premier plan à l'essor des technologies nucléaires et aux succès de l'industrie nucléaire française.

Son portrait scientifique serait incomplet si n'était aussi évoquée sa personnalité, toute de discrétion et de curiosité scientifique, de réserve et de chaleur humaine, d'enthousiasme et de modestie, de compréhension et de compassion pour autrui. En témoignent unanimement non seulement ses collaborateurs directs, chercheurs, doctorants, ingénieurs, techniciens et administratifs, mais aussi nombre d'étudiants en cours de thèse sous la direction d'autres chercheurs qui savaient trouver sa porte toujours ouverte pour y recevoir conseils scientifiques mais aussi réconfort face aux difficultés, sans oublier ses premiers condisciples en cours de thèse, comme lui, au Laboratoire de Mécanique, qui, à des degrés divers, ont, comme les signataires de cette notice, bénéficié de son intérêt et de ses conseils, suggestions ou recommandations, tant sur le plan théorique et bibliographique qu'expérimental et méthodologique.

Georges CHARPAK a su donner au mot « bricoleur » des lettres de noblesse qui nous permettent de qualifier BUI de « Bricoleur de génie » en même temps que de théoricien hors pair. BUI laisse à tous le souvenir d'une personnalité irradiant l'intelligence et l'ingéniosité en même temps que la bienveillance et la générosité.

Si BUI souffrait depuis de longues années d'un asthme qui avait peu à peu éteint sa voix, c'est une grave maladie, diagnostiquée en novembre 2012, qui l'a emporté. Il a accepté cette maladie, non pas avec résignation mais avec philosophie ; peu avant sa mort il écrivait à ses proches « Pour moi la mort c'est la continuation de la vie sous une autre forme ». Il s'est éteint en sérénité et en confiance.

En conclusion de l'édition 2013 de ses souvenirs rassemblés sous le titre *Le chat de Schrödinger en mécanique quantique et son double en mécanique des solides*, après avoir remercié tous ses collaborateurs et collaboratrices ainsi que les personnalités qui lui avaient

apporté leur aide dans le déroulement de sa carrière, BUI a inscrit la dédicace suivante, particulièrement émouvante :

À la mémoire de mon père et de ma mère, disparue avec tant d'autres « boat peoples » en Mer de Chine.

Selon son vœu, ses propres cendres ont été dispersées dans cette même Mer de Chine.

Jean Salençon et André Zaoui