

Science des matériaux

LES MATÉRIAUX DU NUCLÉAIRE À L'ÉPREUVE DU VIEILLISSEMENT



THOMAS PARDOËN

Né en 1971.

Ingénieur civil physicien, 1994, UCL et Licence en philosophie, 1996, UCL.

Docteur en sciences appliquées, 1998, UCL.

Entre 1998 et 2000, Thomas Pardoën réalise un Postdoctorat à l'Université de Harvard et devient, dans la foulée, Chargé de cours à l'EPL. Depuis 2007, il est Professeur, au sein de l'EPL et de l'Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (IMMC) de l'UCL, dont il est Président depuis 2015.

Devenu une figure incontournable et reconnue dans le domaine de la Science des matériaux, principalement sous l'angle mécanique, le Pr Pardoën a, entre autres, fait partie du Comité d'experts internationaux en charge d'évaluer les risques liés aux fissures dans les cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 (entre 2012-2015). Il a reçu en 2016 une Chaire Francqui au titre Belge.

« Dans le nucléaire, plus que dans toute autre industrie, nous ne pouvons courir aucun risque! »

Dans le secteur du nucléaire, plus que dans toute autre industrie, la question du vieillissement des matériaux constitue un enjeu majeur. Un défi qui est aussi un terreau propice au développement des synergies entre la recherche et le monde industriel...

▼ **Rédaction:** Nelson Garcia Sequeira
Photos: Laetizia Bazzoni

Ce n'est pas votre premier face-à-face, puisqu'entre 2012 et 2015, vous avez tous les deux fait partie des groupes de travail chargés d'analyser et d'évaluer les risques éventuels des défauts constatés dans les cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2...

JEAN VAN VYVE ► «En tant que Directeur des projets nucléaires chez Electrabel, j'avais été chargé de constituer et de défendre ce dossier. Grâce à nos meilleurs experts, et appuyés par les Centres de recherche, nous devons déterminer l'origine et la nature de ces défauts. Notre objectif était de prouver que les anomalies relevées ne présentaient pas de risque de sécurité et de permettre ainsi le redémarrage des deux réacteurs.»

THOMAS PARDOËN ► «Pour ma part, j'intégrais le panel d'experts internationaux, constitué par l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN), et chargé de rendre un avis indépendant. Notre rôle était donc de challenger l'équipe de Jean Van Vyve pour garantir la sécurité d'un éventuel redémarrage...»



Au final, l'AFCN a autorisé Electrabel à redémarrer les réacteurs, mais cela n'a pas été une mince affaire.

TP ► «L'expérience a duré près de trois années, très intenses, mais aussi très riches. Nous passons des journées entières à faire nos analyses, à poser nos questions, à écouter les explications des équipes d'Electrabel, à interroger et à exiger de nouvelles analyses encore et encore!»



« Le réseautage entre industriels et universitaires est crucial pour répondre à ces enjeux! »



JVV ► «Le défi était immense, puisque ce problème était inédit et que ces deux réacteurs représentaient près de 20% de la production d'électricité en Belgique! Devant cette problématique industrielle, nous devons avoir la capacité d'imaginer un chemin vers une solution, sans être certains qu'elle existait. D'où l'importance de composer une équipe pluridisciplinaire et de compter sur des partenaires de pointe, tels que le Centre d'étude de l'énergie nucléaire de Mol, qui est capable d'opérer un vieillissement accéléré de différents matériaux en un temps record. L'une des clés de notre réussite reposait aussi sur notre aptitude à démontrer la validité technique et scientifique du dossier, à communiquer nos connaissances, mais aussi à admettre ce que nous ne maîtrisons pas.»

Vous évoquez le vieillissement des matériaux, en quoi cette question est-elle cruciale dans le nucléaire?

TP ► «C'est inéluctable: dans tous les secteurs, les matériaux se dégradent sous l'influence de leur environnement. Mais, dans le nucléaire, plus que dans toute autre industrie, nous ne pouvons courir aucun risque, puisqu'ils protègent le monde extérieur des dangers de l'irradiation. Or, ces composants — les métaux, les bétons, ou les polymères — sont mis à rude épreuve et leur structure intime est altérée avec le temps...»



JVV ► «Prenons l'exemple des échangeurs de chaleur et de leurs conduits en acier. Ces équipements se dilatent et se contractent en permanence. Sans oublier qu'ils sont confrontés à des températures élevées et à la présence de liquides. Des conditions susceptibles de provoquer de la corrosion...»

TP ► «Dans une unité nucléaire, on trouve une multitude de matériaux: les cuves, évidemment, mais aussi des kilomètres de tuyaux et de câbles électriques, des équipements et des machines en tout genre (pompes, turbines, etc.). Et puis, il y a le combustible composé surtout d'uranium. Ce dernier est entouré de gaines qui subissent également les effets du vieillissement, qui se dégradent et qu'il faut donc surveiller en permanence.»

Comment se déroule concrètement cette surveillance?

JVV ► «L'échange d'expérience au niveau international et l'inspection continue des équipements sont des processus fondamentaux. Pour la cuve, par exemple, on recourt à des techniques telles que les ultrasons. On utilise également des échantillons d'éléments constitutifs, qui sont placés plus près du cœur du réacteur pour subir davantage les radiations. On peut donc simuler un vieillissement accéléré de la cuve et valider les hypothèses prises à la conception.»

TP ► «Ce procédé est un gage de sûreté, puisqu'il permet à l'exploitant de la centrale d'avoir 10 ou 20 années d'avance sur le vieillissement réel du métal constitutif de la cuve et de prévoir ainsi l'évolution des équipements.» [Suite en page 14](#)



Tous les matériaux subissent l'influence de leur environnement, vieillissent et se dégradent. C'est pourquoi il faut les surveiller en permanence.

JEAN VAN VYVE

- # Né en 1951.
- # Ingénieur civil des constructions, 1975, UCL.
- # Jean Van Vyve a fait toute sa carrière au sein de sociétés du groupe Engie, dans le domaine de l'énergie nucléaire. Entre 1975 et 1985, il travaille chez Tractebel Engineering pour l'analyse de sûreté, la conception, la réalisation et la mise en service d'équipements et structures destinées aux centrales nucléaires belges.
- # De 1986 à 1999, il dirige des équipes de Tractebel dans plusieurs domaines techniques (mécanique des structures, combustible et gestion des cœurs) et des projets liés au nucléaire, avant de devenir Vice-Président Ingénierie nucléaire. De 2007 à 2016, il occupe successivement les postes de Directeur de la production nucléaire et de Directeur des grands projets nucléaires, chez Electrabel. Il est également membre de l'Advisory Board de l'EPL.

La science des matériaux étudie la constitution des objets sous un prisme triangulaire: le procédé de fabrication, la structure et les propriétés.



JVV ▶ «Nous adaptons également le suivi en fonction de la durée de vie de chaque composant. Comme dans une voiture, les plaquettes de frein ne sont pas censées avoir la même longévité que la courroie de transmission ou la structure. Dans une centrale, le principe est similaire. Évidemment, il arrive qu'on ait de mauvaises surprises et que l'on doive corriger le tir!»

Cela suppose également une connaissance approfondie des matériaux...

TP ▶ «La science des matériaux étudie la constitution des objets sous un prisme triangulaire: le procédé de fabrication, la structure et les propriétés, mécaniques ou sous l'angle, par exemple, du vieillissement. Pour étudier ces trois dimensions, nous utilisons des modèles mathématiques, qui sont de moins en moins phénoménologiques pour devenir de plus en plus prédictifs. Aujourd'hui, nous sommes en mesure de développer des modèles très riches, validés expérimentalement, dont chaque variable possède un véritable sens physique, et qui génèrent un lien entre la structure du matériau et ses propriétés. Leur niveau de fiabilité ne cesse donc d'augmenter! Dans le cas de Doel-Tihange, des chercheurs ont ainsi réussi à modéliser le processus de production de l'acier d'il y a 40 ans. Cela a permis de comprendre l'apparition de défauts à certains endroits précis!»

JVV ▶ «Ensuite, grâce à une méthode de calcul très innovante, baptisée XFEM, nos équipes sont parvenues à modéliser en 3D l'évolution de ces défauts.

Les performances de cet outil étaient telles que cela ne prenait que quelques jours...»

TP ▶ «Pour la petite histoire, le code XFEM est le fruit d'une thèse de doctorat, celle d'Eric Wyart, menée au Centre de recherche Cenaero, en partenariat avec l'UCL, que j'avais co-encadrée avec le Pr Jean-François Remacle. Une illustration parfaite de recherche et développement liée aux matériaux et aux aspects mécaniques de ceux-ci!»

C'est aussi une démonstration du lien entre recherche fondamentale et applications industrielles...

TP ▶ «Tout à fait! Le trait d'union entre recherche "pure" à visée non directement applicative et recherche "appliquée" est crucial. À ce titre, le nucléaire, tout comme l'aéronautique, est un domaine qui pose de tels défis à la science des matériaux qu'il joue un rôle de locomotive pour le progrès technologique, qui profite in fine à d'autres secteurs. Pour reprendre l'expérience Doel-Tihange, c'est un exemple qui a montré le très haut niveau d'expertise des ingénieurs belges. Si ce dossier a pu être mené jusqu'au bout dans notre pays, c'est grâce à la qualité de la formation dispensée par nos Écoles d'ingénieurs. D'ailleurs, les experts étrangers étaient bluffés par la capacité de chaque "camp" à démontrer son point de vue, mais aussi par notre faculté à travailler ensemble... La taille de la Belgique est parfois un handicap, mais nous parvenons à en faire une force. Grâce à un solide réseau, les ingénieurs belges ont pris l'habitude de tisser des liens, de coopérer et de créer des synergies.»

JVV ▶ «Ce réseautage joue un rôle majeur pour que la recherche puisse anticiper un certain nombre de problématiques auxquelles seront confrontés les industriels, que ce soit pour la production, l'exploitation ou la prédiction de l'évolution des matériaux.»

TP ▶ «C'est dans le cadre de ces échanges que de nombreux doctorants de l'EPL travaillent actuellement sur des thèses, susceptibles d'apporter des réponses aux défis du monde industriel!»

SOUVENIRS D'ÉCOLE

«C'est en 1993, lors d'un stage, que j'ai pris goût aux questions de fissuration des matériaux.»

Thomas Pardoën n'est pas à proprement parler du giron du nucléaire, mais a toujours maintenu un intérêt pour créer des ponts entre les disciplines: «Mon premier contact avec le monde du nucléaire date de 1993, lors d'un stage de quelques semaines au Centre d'Étude Nucléaire de Mol (SCK•CEN), instigué à l'époque par un ancien Doyen de l'EPL, le Pr Streydio. J'y ai pris goût aux questions de fissuration des matériaux. 20 ans après, le Centre m'a demandé de présider son Conseil Scientifique, une tâche particulièrement riche et permettant de créer des ponts entre différents mondes.»



«Mon aventure dans le nucléaire a débuté en 1975...et a duré plus de 40 ans!»

C'est un peu par hasard que **Jean Van Vyve** est tombé «dans le nucléaire», pour ne plus le quitter. «Le déclic s'est produit lors de mon stage chez Tractebel Engineering, pendant mes études. Nous avons visité la centrale nucléaire de Doel 2, alors en phase finale de construction... J'étais impressionné, notamment parce que, malgré une grande complexité, tout fonctionnait! Ensuite, en juillet 1975, le jour de notre proclamation, l'un de mes camarades m'a présenté à son père, qui n'était autre que le Directeur du Nucléaire chez Tractebel! Il cherchait des ingénieurs pour le programme nucléaire fraîchement lancé... C'était le début d'une aventure de plus de 40 ans!»

