



Coup
d'accélérateur
pour MYRRHA

02

MYRRHA passe au développement en phases



150 ingénieurs, scientifiques, techniciens et assistants administratifs de 27 pays différents travaillent sur l'installation de recherche polyvalente MYRRHA. Où en sommes-nous avec le financement et le développement de ce successeur du BR2 ? Le directeur du projet Hamid Aït Abderrahim, fait le point.

En 2009, les investissements dans MYRRHA étaient estimés à 960 millions d'euros. Où en est le compteur aujourd'hui ?

Hamid Aït Abderrahim : En raison de la légère, mais continue, inflation de l'euro, 112 millions d'euros se sont entretemps ajoutés. En 2011, l'accident de Fukushima a indirectement pesé dans la balance. Car même si notre projet n'existait alors que sur papier, de nouvelles exigences de sécurité nous ont été imposées par l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN). Cela a entraîné presque 150 millions d'euros d'investissements supplémentaires. Enfin, le projet lui-même a évolué, avec à la clé un supplément de 250 millions d'euros. Nous avons donc atteint de la sorte un total de 1,6 milliard d'euros. C'était fin 2014 et nous nous en tenons aujourd'hui encore à ce montant.

Est-ce qu'il est toujours intéressant de réaliser MYRRHA ?

Nous nous sommes posés la question en 2015, en compagnie d'un comité d'experts externes. Et la réponse fut unanimement positive : le portefeuille des recherches est et reste valable et nécessaire.

Qu'en est-il du planning ?

Le Conseil d'administration nous a demandé d'examiner la stratégie d'implémentation du projet MYRRHA. Nous avons opté pour une stratégie en phases afin de réduire les risques et de répartir les investissements.

Qu'implique cette stratégie exactement ?

Nous partons sur une base de trois phases, dont la phase 1 est aujourd'hui la plus concrète. Dans cette première phase, notre but est de construire l'accélérateur 100 MeV (méga-électron-volts), ainsi qu'une ou deux stations de recherche : une pour produire les radio-isotopes et une pour faire de la recherche sur les matériaux. Cette phase 1 permettra de démontrer la fiabilité de notre accélérateur. En règle générale, un tel grand accélérateur s'arrête régulièrement, à raison de 2000 fois par an. Dans MYRRHA, nous voulons réduire le nombre d'arrêts de plus de trois secondes à seulement dix par trimestre. L'accélérateur doit donc être extrêmement fiable. Cela sera possible grâce à une conception tolérante aux pannes où les cavités pourront se suppléer mutuellement et grâce à une redondance des injecteurs.

Combien de temps va durer le développement de l'accélérateur ?

Nous construirons l'accélérateur de 100 MeV grande nature entre 2019 et 2022. Ensuite, nous prendrons deux ans pour tester la fiabilité en conditions réelles, jusqu'en 2024. Selon nos simulations, nous allons atteindre la fiabilité souhaitée. À nous maintenant de le démontrer. Dans le même temps se déroulera le développement de stations pour la production de radio-isotopes et la recherche sur les matériaux. De cette manière, les stations de recherche pourront dès le départ prouver leur valeur.

« Pour la construction du projet dans son ensemble, presque 1000 personnes seront concernées sur une période de trois ans, et, pendant l'exploitation, entre 300 et 400 personnes travailleront en permanence pour MYRRHA. Et chacun de ces emplois va générer trois autres emplois indirects. »

Que va-t-il se passer dans les deux phases suivantes ?

La phase 2 sert au développement ultérieur de l'accélérateur jusqu'à 600 MeV. La phase 3 est la construction du réacteur, donc la construction complète et la finalisation de MYRRHA. Pour les phases 2 et 3, nous prévoyons 1,25 milliard d'euros. En étalant la construction de MYRRHA sur une période de 11 ans, nous pouvons répartir l'investissement et nous avons plus de temps pour réunir tous les fonds.

D'où viendra le financement ?

De différentes sources. Le gouvernement belge nous a déjà accordé 40 millions d'euros pour la période 2016-2017 pour développer le projet avec la nouvelle stratégie en phases. Pour la fin 2017, nous devons livrer onze grands rapports au gouvernement pour lui permettre de se prononcer sur les travaux de construction de la phase 1. Mais ce n'est pas tout. Début janvier 2015, le gouvernement a décidé de reprendre MYRRHA à hauteur de 1,5 milliard d'euros dans la liste des projets belges pour le nouveau plan d'investissement de la Commission européenne, le plan Juncker ou EFSI. Dans le cadre du nouveau programme Horizon 2020 d'EURATOM, plus de 11 millions d'euros seront investis dans MYRRHA, dont 9 millions par la Commission européenne via le projet H2020 MYRTE. MYRRHA a en outre été sélectionné par la Banque européenne d'investissement comme projet potentiel pour le financement via le programme InnovFin. Cela pourrait donner un prêt de 120 à 240 millions d'euros sur une période d'amortissement de 10 ans et une longue période de remboursement avec de faibles taux d'intérêt. De nombreuses négociations sont en cours.



Quelle est la durée du remboursement de l'investissement dans MYRRHA ?

Nous commençons une période de construction de 11 ans, de 2019 à 2030. Ensuite, MYRRHA sera utilisé pendant 35 ans, jusqu'en 2065. Le remboursement doit être effectué en 26 ans. Cela ne tient toutefois pas compte de l'impact sur l'emploi. Pour la construction, presque 1000 personnes seront concernées sur une période de trois ans, et, pendant l'exploitation, entre 300 et 400 personnes travailleront en permanence pour MYRRHA. Et chacun de ces emplois va générer trois autres emplois indirects.

Quels revenus va générer MYRRHA ?

Le monde attend de nouvelles techniques pour la gestion des déchets radioactifs. Si nous pouvons développer et breveter ces techniques, cela ouvre des perspectives. MYRRHA est également important pour la construction des futurs réacteurs 4^e G refroidis au plomb et les SMR (petits réacteurs modulaires). Nous pouvons valoriser nos connaissances dans le développement d'un nouveau type de réacteur qui peut utiliser le même cœur pendant 10 ans sans recharge, avec moins de déchets et une plus grande sûreté.

Où en est actuellement la collaboration avec les autres pays ?

Des discussions sont actuellement en cours concernant une participation à MYRRHA. Nous préparons un accord de collaboration avec le CNRS (Centre national de la recherche scientifique) en France. La Suède est prête à participer, le Japon va se prononcer sur une éventuelle participation et le gouvernement allemand se penche à nouveau sur un accord de collaboration. Plus d'informations à ce sujet dans le courant de 2017 !

Archimède donne un coup de pouce à MYRRHA

Tests sur le comportement des composants

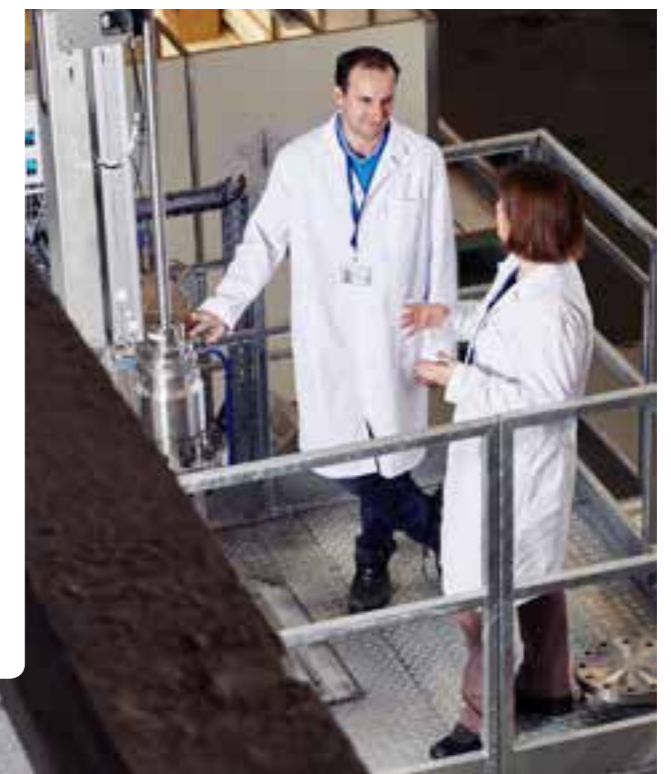
Dans le circuit plomb-bismuth COMPLIT, nos scientifiques analysent le comportement thermo-hydraulique et hydro-dynamique des composants du réacteur MYRRHA en taille réelle. Ils se sont penchés sur les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires et ont également construit et testé un prototype de barre de contrôle.

Les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires affectent le débit du liquide de refroidissement dans le cœur du réacteur. Il est important de savoir si le débit de refroidissement est toujours suffisant, surtout en cas d'arrêt inopiné du réacteur. Il faut pouvoir éliminer la chaleur des combustibles nucléaires de manière passive, c'est-à-dire sans intervention des pompes.

Les chercheurs Katrien Van Tichelen et Graham Kennedy ont analysé ces pertes de charge dans le circuit plomb-bismuth COMPLIT : « Nous avons montré que les données que nous utilisons pour la conception du réacteur pour les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires sont suffisamment précises. »

D'autres facteurs environnementaux ont également une influence : « La température modifie les propriétés du caloporteur et du matériau de l'assemblage. Les gaines des assemblages peuvent par exemple être plus rugueuses, ce qui pourrait entraîner une perte de charge supplémentaire. »

Dans un avenir proche, ils veulent continuer à examiner le comportement des assemblages de combustibles nucléaires. « Quelle est l'amplitude des vibrations des aiguilles de combustibles nucléaires provoquées par le passage du caloporteur ? Nous vérifierons aussi si les pertes de charge varient au fil du temps si d'autres phénomènes se produisent éventuellement. »





Merci Archimède

Une seconde étude de COMPLIT portait sur les barres de contrôle : « Elles forment un composant complexe de près de 10 mètres de long, avec la même taille, géométrie et le même poids dans l'expérience que dans MYRRHA. Nous essayons de démontrer qu'il est possible de les insérer en moins d'une seconde dans le cœur du réacteur. C'est important pour la sûreté parce que le réacteur doit pouvoir être arrêté rapidement. C'est un grand défi pour positionner de manière précise la structure fine de sorte que rien ne soit coincé ou déformé pendant le mouvement. »

Le mouvement des barres de contrôle s'effectue dans du plomb-bismuth (deux métaux lourds) à l'état liquide. Des circonstances qui diffèrent de celles d'un réacteur classique. « Dans un réacteur classique, les barres de contrôle descendent sous l'effet de la gravité. Ici, le liquide est tellement lourd que les matériaux de référence y flottent. »

La solution ? « Nous mettons les barres de contrôle sous le cœur du réacteur. Si nous les libérons, elles bougent vers le haut. Ces essais de démonstration de principe sont uniques en leur genre. Pour la première fois, la poussée d'Archimède est utilisée pour insérer les barres de contrôle. Avec succès. »

Après ces essais, la recherche de Katrien et Graham doit évaluer le comportement des barres de contrôle dans le cas d'une insertion répétée. Elles doivent suivre au moins un cycle de réacteur de trois mois : « Nous partons du principe que ce sera plus long, parce que nous avons estimé la durabilité de manière très prudente. »

À l'avenir, des tests d'autres composantes sont prévus. « La plus grande partie de notre temps sera consacrée à l'ajustement de COMPLIT pour le test du comportement thermo-hydraulique des tubes de l'échangeur de chaleur de MYRRHA. Nous voulons donner à nos concepteurs des informations fondées afin qu'ils puissent les utiliser dans la prochaine révision de projet. »



« Pour la première fois, la poussée d'Archimède est utilisée pour insérer les barres de contrôle. Avec succès ! »

Innovation

Des installations expérimentales uniques sont indispensables

Le SCK•CEN utilise des modèles mathématiques avancés et complexes en vue de développer des systèmes nucléaires innovants. Ces modèles sont validés par des expériences très ciblées dans des dispositifs expérimentaux spécifiques. Cet éventail unique d'installations expérimentales renforce le caractère international du SCK•CEN qui demeure un pôle d'attraction sans pareil.

Peter Baeten

Directeur de l'Institut Systèmes nucléaires avancés



Une boucle de corrosion unique en son genre

Une vision claire via les corrélations

Projetez-vous d'utiliser du métal lourd liquide comme réfrigérant dans un réacteur nucléaire ? N'oubliez pas que, pour certains matériaux, des formes de corrosion peuvent se manifester. Cela n'est pas bon pour la température et la durée de vie des composants. Il est donc nécessaire d'examiner attentivement les conséquences de la corrosion pour la conception d'une installation comme MYRRHA. Mais comment prouver que les matériaux survivent alors que MYRRHA n'existe pas encore ?

MYRRHA est une installation de recherche qui contiendra des technologies pour les réacteurs nucléaires de la quatrième génération. L'un des grands défis dans le développement de MYRRHA reste la question des matériaux. Ils doivent se conserver dans des conditions extrêmes : une température élevée, un rayonnement important et un environnement corrosif.

Hautes températures

Dans les futurs réacteurs règnent d'autres conditions que dans les réacteurs traditionnels. La température dans MYRRHA peut par exemple atteindre jusqu'à 400°C et, dans les réacteurs nucléaires de la quatrième génération avec du plomb liquide comme réfrigérant, elle peut même atteindre 600°C. Quelle est donc la résistance à la corrosion des matériaux sélectionnés lorsqu'ils entrent en contact avec le caloporteur métallique plomb-bismuth liquide ?

Cela est étudié dans le programme de matériaux pour MYRRHA. L'objectif est de sélectionner et vérifier les matériaux candidats pour les composants structurels et fonctionnels du circuit primaire de MYRRHA.

Les tests pour cette recherche ont lieu dans un environnement qui simule les véritables conditions de corrosion. Une reproduction fidèle et à échelle des conditions attendues dans MYRRHA demanderait en effet des installations de pointe très chères qui devraient encore fonctionner en parallèle pendant de nombreuses années.

Boucle de corrosion unique

Voilà pourquoi les chercheurs du SCK·CEN ont mis au point une méthode qui donne une vision claire de la corrosion grâce au principe de corrélation : le lien mutuel éventuel entre deux séries

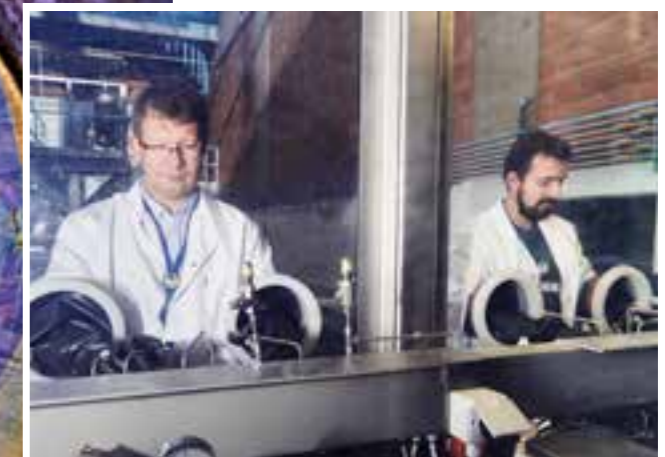
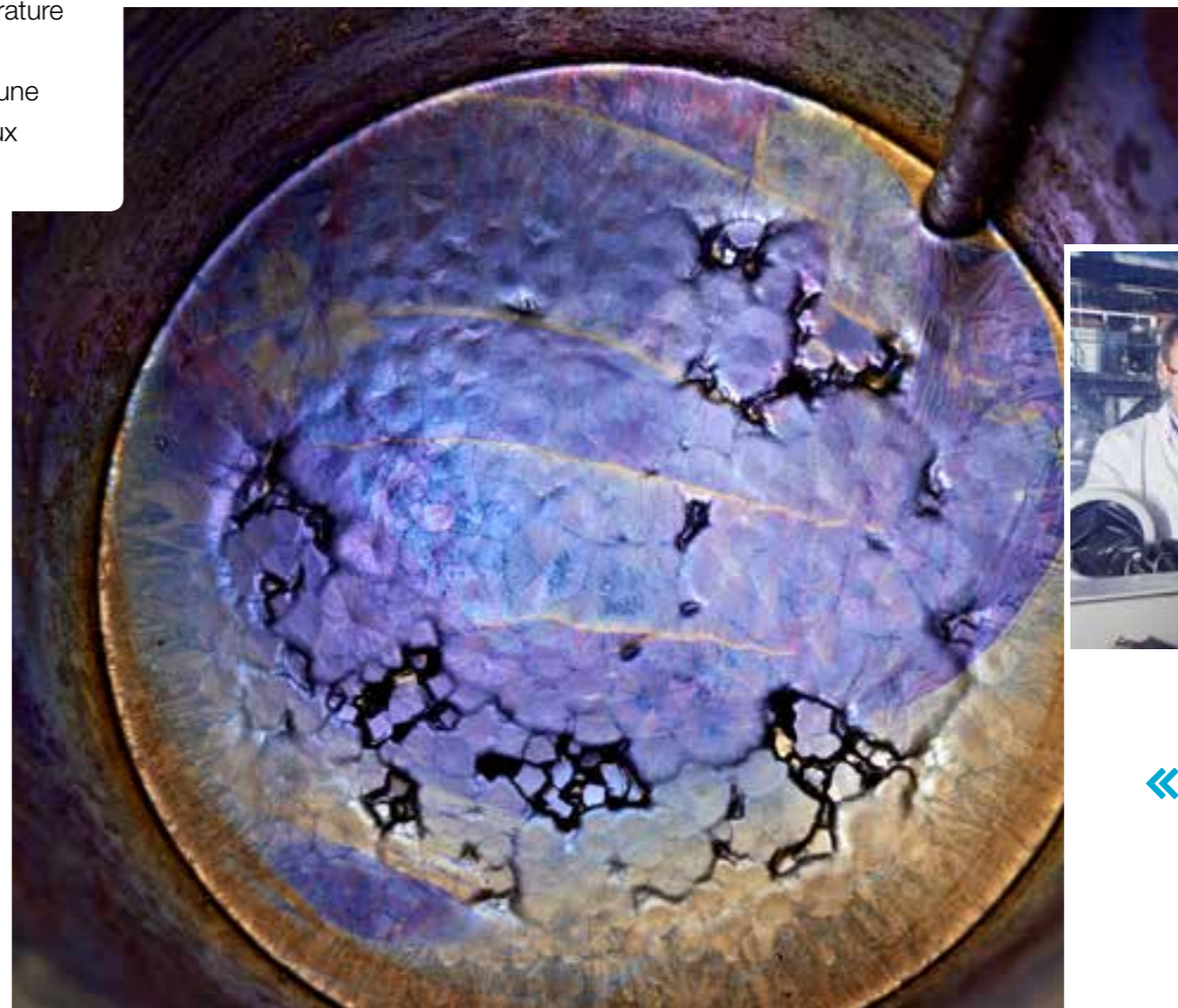
d'observations. Les chercheurs ont non seulement utilisé quelques petites installations de test, mais ont également construit une grande boucle de corrosion unique en son genre. Elle est nécessaire pour prouver que les corrélations pour le développement de la corrosion, calculées pour les petites structures, sont suffisamment conservatrices.

En analysant et comparant les résultats des tests, les chercheurs ont découvert des solutions aux effets de la corrosion. Les calculs représentent un outil précieux pour les concepteurs de MYRRHA afin de définir les restrictions, d'estimer les paramètres d'exploitation et de valider la corrosion autorisée dans les composants (comme les assemblages de combustibles, les tubes de l'échangeur de chaleur, la cuve du réacteur, etc.).

Les mécanismes de corrosion à la loupe

À l'heure actuelle, les chercheurs contrôlent si les corrélations peuvent prédire avec précision les dégâts de la corrosion en comparant chaque résultat obtenu de manière expérimentale avec les prévisions. Jusqu'à présent, la capacité de prédiction des corrélations développées est très bonne.

Ils étudient également les mécanismes de corrosion, tant avec les approches modernes pour décrire la micro-structure et la micro-chimie qu'avec différentes techniques de microscopie électronique. Cette compréhension des mécanismes est nécessaire pour étayer les corrélations. Enfin, les chercheurs veulent aussi améliorer et adapter les corrélations développées spécifiquement pour les joints dans les matériaux.



« Les chercheurs ont non seulement utilisé quelques petites installations de test mais ont également construit une grande boucle de corrosion unique en son genre. »

Matériaux de structure pour les réacteurs de 4^e génération

Collaboration prometteuse entre le SCK·CEN et la KU Leuven

Le futur réacteur MYRRHA comprendra un 'rotor de pompe'. Il s'agit d'un composant rotatif d'une pompe qui doit pouvoir déplacer le réfrigérant *Lead Bismuth Eutectic* (LBE). Avec des matériaux de structure traditionnels tels que l'acier inoxydable, il y a un risque au niveau de la dissolution et l'érosion. Pour éviter que le rotor de pompe ne soit le point faible du réacteur, le SCK·CEN et la KU Leuven ont travaillé main dans la main. Résultat : des matériaux de structure innovants basés sur les phases MAX.

Quels matériaux conservent leur forme et leurs propriétés lorsqu'ils entrent en contact avec des métaux lourds à l'état liquide (MLL) à débit rapide comme le LBE et le plomb ? Thomas Lapauw, doctorant à la KU Leuven, étudie le potentiel des phases MAX : « Cette classe de carbures et de nitrures ternaires présente une combinaison unique de propriétés : certains ont les caractéristiques de la céramique et d'autres celles des métaux. »

Résistance supérieure

Les phases MAX sont résistantes. Elles sont davantage résistantes à la corrosion par les métaux liquides et se démarquent par une tolérance aux dommages élevée. Ainsi, les phases MAX démontrent un grand potentiel d'utilisation dans les systèmes nucléaires à caloporteur métaux lourds liquides. Konstantza Lambrinou du SCK·CEN dirige la recherche et se montre

très enthousiaste en ce qui concerne les phases MAX : « Vous pouvez fabriquer des composants avec une géométrie complexe. Même si la durabilité des phases MAX hautes performances ne suffit pas en cas d'exposition à des MLL à débit rapide, il est possible de former des phases durables comme des carbures et des nitrures binaires à la surface du rotor. »

Les phases MAX sont également pertinentes pour les rotors de pompe des réacteurs rapides refroidis au plomb de la quatrième génération (LFR Gen-IV). Le rotor dans MYRRHA doit être fiable à 270°C, mais dans les LFR, la température monte jusqu'à 480°C. Cela nécessite naturellement un examen approfondi. Thomas Lapauw explique son approche : « Je prépare d'abord les monolithes basés sur la phase MAX et leurs composites, par exemple les cermets (matériau composé



Les phases MAX forment un matériau avec lequel il est possible de réaliser des formes complexes. Le fraisage conventionnel peut également être réalisé.

de particules de céramique dans une matrice métallique), par métallurgie des poudres. J'effectue ensuite une caractérisation micro-structurale des matériaux produits et j'évalue leur résistance et leur ténacité à la rupture. Enfin, j'évalue la résistance à la corrosion et à l'érosion dans les métaux liquides. »

Découverte de nouvelles phases MAX

Quelle est le point-phare de ce projet ? Konstantza Lambrinou ne laisse planer aucun doute à ce propos : « La synthèse métallurgique des poudres des matériaux de phase MAX est difficile à réaliser. Thomas a découvert de nouvelles phases MAX prometteuses, idéales pour les applications dans les systèmes refroidis par MLL et les applications à haute température. Logiquement, le SCK·CEN et la KU Leuven ont introduit conjointement une demande de brevet. »

Est-il possible de produire des cermets sur la base des phases MAX ? C'est une question à laquelle nous aurons une réponse dans un avenir proche. Ces composites peuvent conserver les avantages de ces carbures ternaires et améliorer la résistance à la rupture. Thomas Lapauw a d'ores et déjà préparé une première génération de ces matériaux afin d'évaluer leurs propriétés mécaniques.