

L'INFINIMENT PETIT, AVENIR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Face à l'urgence climatique, un champ scientifique nouveau vient changer la donne : la nanofluidique. Pionnier de ces travaux sur le comportement des fluides à l'échelle du milliardième de mètre, **Lydéric Bocquet** révèle leurs résultats inattendus. Et prometteurs, à condition, plaide-t-il, de concilier recherche fondamentale et innovation technologique.

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, des académiciennes et académiciens analysent et apportent leur éclairage sur les grands enjeux du monde contemporain au travers de questions scientifiques qui font l'actualité.

Chercheur : drôle de métier... On l'imagine, lui ou elle, avec une blouse blanche, les cheveux ébouriffés, dans un laboratoire rempli de verreries alambiquées et fumantes, concentré sur ses avancées dans la jungle des connaissances. À vrai dire, la recherche, c'est un peu cela. C'est l'aventure dans les quelques mètres carrés d'une salle d'expérience ou dans son bureau, tout à son labeur quotidien pour se confronter aux frontières de la connaissance. Qu'ils travaillent sur l'ordinateur quantique, l'énergie, l'ARN messenger, etc., les chercheurs sont engagés dans une quête souvent difficile, guidés uniquement par la curiosité, l'imagination... et leur ténacité : ce sont des artisans de la connaissance. Est-ce que les chercheurs trouvent ? Absolument, car ils ouvrent des chemins là où personne n'est allé. « Là où j'ai peur, j'irai » : cette devise guidait l'auteur-interprète Anne Sylvestre. C'est cela la recherche. Mais ce n'est pas uniquement cela. Le chercheur a aussi les pieds solidement ancrés dans la réalité du monde dont il est une vigie : observer et comprendre est son métier. Or, le monde change, très vite. Les crises se succèdent, pandémies, géopolitique, climat... La résilience de nos sociétés requiert

compréhension et anticipation. Tout le monde connaît aujourd'hui le travail des chercheurs du Giec, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, qui depuis 1988 ont patiemment rassemblé et diffusé les connaissances scientifiques sur le changement climatique.

DE LA PLOMBERIE À L'ÉCHELLE DES MOLÉCULES

Cependant, les chercheurs savent aussi devenir acteurs de cette résilience. La crise du Covid a montré comment la recherche fondamentale sur l'ARN messenger a pu être transformée en un temps record en vaccins efficaces pour stopper une pandémie mondiale. Peut-on réussir le même exploit contre la crise climatique ? Pour alléger les contraintes de la transition environnementale, il faut de nouveaux atouts. La science fondamentale en fournit une multitude, qu'il s'agit de mettre en œuvre le plus rapidement possible comme innovations technologiques. Comment concilier le temps de la recherche et celui, très différent, du progrès technologique qui s'en inspire, et sortir au plus vite les découvertes des laboratoires pour agir ? C'est le cœur du défi actuel.

Soyons concrets. Mon domaine de recherche pourrait s'intituler la mécanique moléculaire des fluides. Littéralement, de la plomberie à l'échelle de quelques molécules. Pourquoi diable s'intéresser à cela ? Voici une très bonne raison : la nature en fait de multiples usages et sait pleinement tirer profit des propriétés parfois bizarres des écoulements de fluides à ces échelles pour réaliser une circuiterie biologique qui relève de l'orfèvrerie.

« LA NANOFUIDIQUE PEUT APPORTER DES SOLUTIONS CONCRÈTES POUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES OU L'ACCÈS À L'EAU. »



L'exemple du rein illustre parfaitement. Il sépare du reste du sang les toxines du corps humain sous la forme d'urée. La nature a opté pour un processus de séparation d'une incroyable subtilité, associant plusieurs types de canaux fluidiques à l'échelle du nanomètre (un milliardième de mètre), notamment les aquaporines, des filtres moléculaires exceptionnels, et les nanopompes ioniques à sodium. Cette combinaison de nanocanaux filtre l'urée avec une efficacité impressionnante : nos reins traitent près de 200 litres de sang par jour, pour le coût énergétique d'un morceau de banane. Cette séparation réalisée par le rein est très atypique, et la reproduire sous la forme d'une technologie constituerait une révolution pour la purification de l'eau, le dessalement ou l'extraction de déchets. On commence à peine à l'envisager dans nos laboratoires. La nature a toujours été une source d'inspiration pour la science. Son utilisation intelligente de petits canaux et de nanomachines – comme les pompes ioniques – pour réaliser des opérations extrêmement subtiles intrigue et incite à l'imiter. Explorer et comprendre les propriétés des flots moléculaires, c'est l'objectif de la nanofluidique, domaine scientifique en pleine émergence. Comprendre, c'est imaginer de nouvelles expériences, apprendre à fabriquer

PROFIL
Physicien, membre de l'Académie des sciences, **Lydéric Bocquet** est directeur de recherche au CNRS et professeur attaché à l'ENS. Ses travaux sur la nanofluidique et ses propriétés particulières visant à produire des applications pratiques au service de la transition énergétique sont mondialement reconnus.

S'ÉLOIGNER DES TECHNOLOGIES USUELLES

C'est cette voie que nous avons suivie, un peu par hasard : partant de nos recherches fondamentales sur les écoulements dans les nanotubes, nous avons mis en évidence des propriétés qui changent la donne dans le développement de nouvelles technologies pour puiser une source d'énergie encore inexploitée : l'énergie osmotique. Elle est extraite des différences de salinité entre l'eau de mer et l'eau de rivière. Renouvelable et non intermittente, elle permettrait de produire jusqu'à l'équivalent en puissance d'un millier de réacteurs nucléaires au niveau mondial. La médiocre efficacité des technologies jusqu'ici disponibles a considérablement entravé son exploitation. Nos résultats de nanofluidique ont permis d'imaginer de nouveaux matériaux membranaires, éloignés des technologies usuelles et qui permettent de réaliser la conversion d'énergie osmotique avec une efficacité bien supérieure.

C'est à ce moment précis que l'on rejoint la réalité du monde. Car comment passer de résultats)))

» de laboratoires à la construction d'un module d'énergie osmotique utilisable par tout un chacun ? Une telle mise à l'échelle est un véritable Everest à gravir, il faut donc s'équiper. Pour réussir, il faut associer le meilleur de la science et du savoir-faire d'ingénierie. Dans ce cas précis, notre chemin s'est naturellement orienté vers la création d'une jeune entreprise, Sweetch Energy. Pourquoi une entreprise ? Parce qu'elle se construit autour d'une mission précise, ici celle de construire une unité de production d'énergie et de consacrer toute la recherche et l'ingénierie nécessaires pour y aboutir. Ce type d'entreprise se conçoit comme un outil, qui renverse le paradigme de la recherche guidée par la curiosité en une recherche à mission. Fort de son partenariat avec le CNRS, Sweetch Energy a réussi en moins d'une dizaine d'années à fabriquer un premier pilote d'énergie osmotique. En cours d'installation sur le Rhône, il vise à devenir une usine osmotique qui pourrait fournir plusieurs centaines de mégawatts, soit l'équivalent des besoins en électricité de Marseille. Sweetch Energy emploie désormais une quarantaine de chercheurs, ingénieurs, techniciens de tous horizons. C'est un mode d'action d'une efficacité hors norme, tout en préservant les intérêts communs. Cet exemple est porteur d'espoir. Plus généralement, le domaine de la nanofluidique a le potentiel d'apporter des solutions concrètes à des défis sociétaux vitaux, pour des énergies renouvelables, pour l'accès à l'eau.

C'est aussi une illustration de l'action possible et concrète des chercheurs pour s'engager dans le

EST-IL POSSIBLE DE COLLECTIVISER L'INTELLIGENCE FACE AUX DÉFIS DE LA CRISE CLIMATIQUE AUXQUELS NOUS SOMMES CONFRONTÉS ?

EN SAVOIR PLUS

Le site de l'Académie des sciences : www.academie-sciences.fr

Sur le site du Collège de France, www.college-de-france.fr : « **La mécanique moléculaire des fluides : un champ d'innovation pour l'eau et l'énergie** », par L. Bocquet, 2 février 2023 : résumé, vidéo, audio et édition numérique. Édition imprimée : Collège de France/ Fayard, juin 2023. « **Nous travaillons aux frontières de l'inconnu** », entretien avec L. Bocquet, 9 janvier 2023.

combat face à la crise climatique. De multiples initiatives émergent. Mais peut-on aller plus loin ? Est-il possible de collectiviser l'intelligence face aux défis auxquels nous sommes confrontés ? Car, au-delà de l'exemple de l'énergie renouvelable, la crise climatique est une hydre protéiforme et il faut mettre nos efforts en commun pour l'attaquer collectivement. L'objectif le plus urgent est clair : réduire les émissions de gaz à effet de serre. De multiples procédés industriels, socialement vitaux (engrais, sidérurgie, ciment...), doivent être radicalement changés et les solutions existantes ne suffiront pas. Il faut inventer des nouvelles approches et les mettre en œuvre.

UNE SCIENCE À MISSION, UNE SCIENCE DE COMBAT

C'est l'objet de l'appel pour la création d'un « projet Manhattan pour la transition écologique » (1) lancé en 2023 par un collectif de scientifiques, qui vise, face à la situation d'urgence existentielle, à trouver à l'échelle européenne les solutions scientifiques et technologiques de rupture manquantes, jusqu'à leur industrialisation (2). Une science à mission, une science de combat menée par des chercheurs, ingénieurs, techniciens engagés.

Fondamentalement, c'est une vision progressiste pour le bien commun, en tant qu'évolution de l'humanité « vers le mieux ». Évidemment, cette transformation vient nécessairement en complément d'une refonte de nos usages et doit être dotée d'un cadre social et politique. Mais on ne peut faire l'économie d'un changement technologique radical pour soutenir la transition.

C'est un projet de société qui met la science au cœur de sa transformation. Une idée que la gauche a portée historiquement et qu'elle peut encore porter. Une façon de montrer qu'elle n'a pas abandonné l'idée même de progrès. L'enjeu est immense, il nous appartient d'être à sa hauteur. ●

(1) En référence au projet du gouvernement états-unien pour produire au plus vite la première bombe atomique au cours de la Seconde Guerre mondiale, mobilisant d'énormes moyens scientifiques et industriels.

(2) Voir « Un projet Manhattan pour la transition écologique », note publiée le 12 janvier 2024, qui reprend les tribunes publiées en 2023 et « précise l'objectif, le positionnement et les modalités concrètes de la mise en œuvre » de ce projet, intégrant « notamment les apports issus de discussions avec l'État (ainsi qu'avec) des députés français et européens » ; en ligne sur www.phys.ens.fr/~lbocquet/



CHAUDET MOREL / VIZÉ

Avec sa centrale pilote à l'embouchure du Rhône, la start-up Sweetch Energy pourrait générer des centaines de mégawatts grâce à une usine osmotique exploitant les différences de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce.