**((Chapitre 1))**

**Recherche et innovation pour une Suisse durable** ((titre provisoire))

**Comment ferons-nous à l’avenir pour vivre et travailler sans énergie fossile?**

Dans sa stratégie énergétique, le Conseil fédéral a décidé que la Suisse devrait réduire à zéro ses émissions carbone d’ici 2050. Concrètement, d’ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre devront être réduites de 50% par rapport à leur niveau de 1990, et jusqu’à 85% d’ici 2050. La Suisse doit donc s’approvisionner en énergie qui n’émet pas de gaz à effet de serre tels que le CO2. Pour atteindre ces objectifs, la Suisse est donc appelée à modifier ses sources d'énergie, – délaisser les combustibles fossiles tels que le pétrole et le gaz et recourir aux énergies renouvelables telles que le soleil, l’eau et le vent.

L’Empa est fortement impliquée dans cette transition et intervient dans un certain nombre de domaines: par des études sur la manière dont la Suisse peut ouvrir la voie à un approvisionnement énergétique durable ou par des recherches appliquées sur la manière dont le système énergétique peut être décarboné (le terme technique pour désigner l’abandon des combustibles fossiles), par exemple dans le domaine des cellules solaires de nouvelle génération; par le développement de nouvelles technologies de stockage pour le chauffage et l’électricité ou par des scénarios sur les possibilités d’optimiser les villes et les zones résidentielles sur le plan énergétique.

La question que tout le monde se pose, c’est comment notre pays et notre société se passeront-ils de CO2 d’ici 2050? Une chose est sûre: dans les années à venir, la Suisse aura besoin d’une refonte complète de son système énergétique. Du point de vue des chercheurs de l’Empa, le plus grand défi est de décarboner le système énergétique tout en répondant durablement à la demande en électricité, malgré l’abandon progressif de l’énergie nucléaire et la forte augmentation prévue de l’électromobilité. L’Empa relève ce défi de plusieurs manières. Elle consacre d’abord une attention particulière à la demande en énergie. Les chercheurs de l’Empa évaluent par exemple les technologies d’économie d’énergie dans les bâtiments existants ou nouveaux; ils développent des concepts pour les bâtiments du futur qui, grâce aux énergies renouvelables, produisent autant d’énergie qu’ils en consomment dans l’année; ou encore, ils recherchent de nouvelles technologies pour produire, transformer et stocker l’énergie dans les bâtiments. L’Empa explore également de nombreuses questions dans le domaine de la production d’énergie efficace et respectueuse de l’environnement. Elle développe des cellules solaires de haute performance qui sont non seulement efficaces mais aussi concurrentielles sur le marché international. D’autres groupes de chercheurs s’intéressent aux piles à combustible céramiques, à la production d’hydrogène et aux procédés Power-to-Gas (conversion d’électricité en gaz). L’Empa s’est également emparée du sujet de l’énergie hydraulique. Les scientifiques de l’Empa mettent au point des matériaux résistant aux hautes températures pour améliorer l’efficacité des turbines. Dans le module Systèmes intégrés multiénergie , les chercheurs de l’Empa abordent le thème de l’énergie sous un angle systémique: ils simulent par ordinateur de nouveaux systèmes énergétiques pour les bâtiments et les quartiers, ou ils les étudient dans un cadre expérimental pratique, par exemple dans le démonstrateur NEST (voir pages xxx et xxx).

**Scénario pour un avenir énergétique sans CO2**

L’Empa est considérée en Suisse comme un acteur important du passage à l’ère post-énergie fossile. Et pas seulement en tant qu’institut de recherche qui accroît les connaissances académiques et génère des solutions technologiques à partir de celles-ci. Son rôle s’étend jusqu'aux processus sociopolitiques. Ainsi, en 2019, l’Empa a publié une étude sur les effets de qu'aurait l’électrification massive du chauffage des bâtiments de la mobilité. Les chercheurs Martin Rüdisüli, Sinan Teske et Urs Elber ont élaboré un scénario qui montre la nécessité pour la Suisse d’agir en faveur d’un avenir sans énergie fossile et ils ont formulé leurs conclusions en six points. Premièrement: afin de réduire la demande d’énergie, en particulier en hiver, il convient avant tout d’isoler thermiquement les bâtiments dans les règles actuelles de l'art. . Ensuite seulement, les systèmes de chauffage à combustible fossile devront être remplacés par des systèmes de pompes à chaleur. En effet, une pompe à chaleur est nettement moins efficace sans une isolation adaptée (voir aussi page xxx). Deuxièmement: afin de couvrir la consommation supplémentaire générée par une électrification intensive et de compenser l’énergie nucléaire, de nombreuses centrales photovoltaïques et, si possible, d’autres centrales basées sur les énergies renouvelables doivent être installées. Il faut donc autant de modules solaires que possible sur toutes les surfaces disponibles. Troisièmement: l’énergie solaire nécessite un maximum d’installations de stockage, qu’il s’agisse d’installations locales de stockage de batteries, d’installations de pompage et de stockage de chaleur ou d’installations de stockage d’énergie chimique.

Quatrièmement: pour chauffer, des accumulateurs saisonniers de chaleur sont également indispensables, par exemple sous la forme d’accumulateurs de chaleur géothermiques, de sorte que les besoins en électricité des pompes à chaleur puissent être réduits en hiver. Cinquièmement: l’offre et la demande d’énergie doivent être mieux coordonnées. A l’avenir, il y aura notamment en été un surplus d’énergie solaire et de chaleur, mais en hiver, l’énergie renouvelable sera une denrée rare (et peut-être coûteuse). Sixièmement, et c’est la bonne nouvelle: l’électromobilité ne fait pas exploser la facture. La recharge quotidienne des véhicules électriques à la maison, au travail ou à l’extérieur génère des pointes modérées de la demande d’électricité par rapport à l’alimentation électrique en chaleur. Cependant, la création de réseaux adaptés d’une capacité suffisante est une condition préalable à l’électrification et à la mise en œuvre de l’ensemble des énergies renouvelables et de leurs installations de stockage. Un autre scénario consiste à obtenir de l’énergie renouvelable d’autres parties du monde non pas sous forme d’électricité, mais par exemple sous forme de gaz liquéfié à partir de l’énergie solaire.

La mobilité est une question urgente dans le domaine de la transition des systèmes énergétiques. Qu’il s’agisse de transport local, de transport longue distance ou de transport de marchandises, nous utilisons actuellement presque exclusivement de l’énergie fossile. L’Empa montre comment nous pouvons sortir de ce modèle et passer à une mobilité respectueuse de l’environnement.

**Le premier véhicule à hydrogène de Suisse**

Deux pompes de station-service ont été installées devant le démonstrateur move, sur le site de l’Empa à Dübendorf. A première vue, rien de particulier. Mais en y regardant de plus près, on perçoit l’inscription «H2». Il s’agit de la première station-service d’hydrogène en Suisse et elle est opérationnelle depuis 2016. move, le Future Mobility Demonstrator, vise à démontrer comment l’électricité renouvelable peut être utilisée pour la mobilité, par exemple sous forme d’hydrogène (H2) mais aussi de méthane synthétique ou d’électricité stockée temporairement dans le réseau et dans les batteries de voiture.

Les véhicules utilisés dans la pratique pour les projets move sont équipés des systèmes et technologies de propulsion les plus modernes. Ils ne fonctionnent ni à l’essence ni au diesel mais à l’hydrogène. Sa «combustion» ne produit pas de gaz à effet de serre, seulement de l’eau. Pour la voiture-balayeuse à hydrogène hy.muve, un entraînement électrique à pile à combustible a été spécialement développé dans le laboratoire Moteur à combustion de l’Empa. Le hy.muve a été utilisé pendant plusieurs années dans les villes de Bâle, Saint-Gall, Berne, Onex et Dübendorf. Il s’agit du premier véhicule à hydrogène homologué pour la circulation par les services des automobiles. Le véhicule est maintenant de retour au laboratoire des moteurs à Dübendorf pour évaluation des données recueillies sur le terrain. «Nous nous préoccupons surtout des aspects techniques: ce qui a fonctionné, ce qui n’a pas fonctionné, et pourquoi», explique Christian Bach, responsable du laboratoire Technologies de propulsion automobile. Bach et son équipe s’intéressent également à l’expérience pratique de l’utilisation quotidienne du véhicule: quelles sensations procure la conduite d’un véhicule à hydrogène? Ce nouveau type de balayeuse est-il sûr pour ses conducteurs? «Etonnamment, beaucoup ont trouvé l’expérience de conduite très agréable avec le hy.muve, car le véhicule est beaucoup plus silencieux qu’un modèle conventionnel», explique Christian Bach. Le fabricant suisse a ainsi été incité à adopter ce concept my.huve pour la production en série, bien que (encore) sans pile à combustible, mais avec un système de propulsion électrique et des batteries.

Le développement de la mobilité traverse actuellement une phase passionnante dans laquelle de nombreux éléments sont remis à plat. Les discussions à ce sujet ne datent pas d’hier: dans les années 1970 déjà, des mouvements écologistes, divers gouvernements et surtout le Club de Rome avaient mis en garde contre le réchauffement de l’atmosphère terrestre. Ils ont demandé que les émissions de gaz à effet de serre soient réduites de manière drastique mais en vain, puisque ces émissions n’ont cessé d’augmenter dans le monde entier depuis lors. «Depuis des décennies, nous avons conscience du risque de changement climatique induit par l’homme», déclare Christian Bach. «D’un autre côté, les énergies fossiles ont permis un énorme développement social et économique dont aucune société n’accepterait de se passer. Le revers de la médaille, ce sont les émissions de CO2.» Il reste maintenant peu de temps pour atteindre les objectifs climatiques fixés par les instances politiques.

**Faire connaître le projet move à l’international**

L’Empa est bien déterminée à utiliser à bon escient le peu de temps dont elle dispose. Christian Bach explique qu’il ne s’agit pas seulement de disponibilité technologique, de modèles de propulsion plus efficaces ou de meilleures gammes de voitures électriques. «Le problème fondamental est que la société, l’économie et la plupart des emplois sont pris dans le système énergétique fossile actuel, comme s’il s’agissait d’une gigantesque toile d’araignée. C’est pourquoi nous nous heurtons constamment à des contraintes qui font obstacle au progrès écologique.» Se libérer de ce modèle est un véritable parcours du combattant qui, jusqu’à présent, n’a pas été mené suffisamment loin. «Nous avons besoin de nouvelles idées, de nouvelles approches et d’arguments convaincants et holistiques, et enfin de bonnes lois pour que le changement ait lieu», dit Bach avec emphase. C’est cette assurance, associée à une volonté inébranlable de changement, qui a incité l’Empa, vers 2010, à envisager move comme une installation pouvant servir d’exemple afin de démontrer le changement énergétique dans le domaine de la mobilité. Selon Bach, les publications ou les présentations PowerPoint ne suffisent pas à convaincre qui que ce soit; il estime plutôt qu’ «il faut voir et comprendre avec ses propres sens la manière dont un nouveau concept peut être mis en œuvre, et avec move on montre qu’il fonctionne!»

Les chercheurs de l’Empa travaillent aujourd’hui sans relâche à la mise en œuvre du projet move dans le monde entier: par la mise en réseau au sein de la communauté internationale de la recherche, par les contacts avec l’industrie automobile, par les relations publiques et le lobbying en politique, dans les associations et les ONG. Les représentants d’associations de défense de l’environnement sont tout aussi bienvenus aux démonstration de move que les élus au Parlement fédéral ou les représentants d'entreprises industrielles. En 2019, l’Empa a été invitée pour la deuxième fois au Salon de l’auto de Genève et s’est présentée comme partenaire d’Avenergy Suisse pour l’énergie durable dans le trafic routier du futur.

**Travail de titan pour les stations d’hydrogène**

La réalité trop terre-à-terre des règlements n’effraie pas les chercheurs de l’Empa. En Suisse, par exemple, jusqu’il y a peu , il n’existait aucune autorisation sur laquelle les autorités et les organismes spécialisés auraient pu s’appuyer pour installer une station-service d’hydrogène. Avec la création de move, l’Empa a fait œuvre de pionnier en matière d’innovation technique et de réglementation. En collaboration avec divers partenaires des secteurs public et privé, elle a élaboré une directive d’homologation étape par étape. Des questions sur les zones EX (à risque d’explosion) , sur la protection contre les incendies et bien d’autres sujets ont été abordées. Un travail colossal mais qui en valait la peine: «Nos connaissances ont été intégrées dans une directive d’homologation à laquelle les autorités cantonales de la construction pourront désormais se référer», explique Christian Bach. Sans ces réglementations, les nouvelles technologies peuvent difficilement être mises en œuvre dans la réalité.

Le travail porte ses fruits puisqu’à Hunzenschwil, en Argovie, une deuxième station-service d’hydrogène est exploitée par Coop et H2 Energy. D’autres s’ajouteront au fil du temps: l’association Mobilité H2 prévoit d’établir un réseau national de stations-service d’hydrogène dans tout le pays d’ici 2023. En outre, le constructeur sud-coréen Hyundai prévoit de livrer plus de 1000 camions à pile à combustible en Suisse d’ici 2025.

**Ce qui compte, c’est la diversité des technologies**

Mais pour ce qui est de la mobilité, l’Empa ne mise pas tout sur l’hydrogène. Electromobilité, piles à combustible et conversion de l’énergie en gaz/liquide, e-carburants... – il existe de nombreuses façons de réduire le CO2 dans les transports. La stratégie de l’Empa est de continuer à développer parallèlement son savoir-faire dans toutes ces technologies. «On ne peut pas régler la problématique du CO2 si l’on se limite à une seule et unique technologie», déclare Christian Bach. Le fait est que la mobilité n’est pas que de la mobilité. «La mobilité est très hétérogène, poursuit Bach, et c’est pourquoi les solutions technologiques sont hétérogènes aussi.» Son laboratoire a recueilli et évalué des données. Les chercheurs ont découvert, par exemple, que 30% des trajets les plus longs sont responsables de 70% du kilométrage total des véhicules. Pour Bach, cela signifie que «nous devons rendre propres ces 30% de trajets les plus longs si nous voulons parvenir à une réduction significative des émissions de CO2 dues à la circulation». Par conséquent, une stratégie est nécessaire non seulement pour les courtes distances, mais aussi pour les longues distances. Les chercheurs en mobilité de l’Empa formulent cette stratégie basée sur des données de la manière suivante:

• Pour les trajets courts (70% de tous les trajets en voiture), convient parfaitement pour le trafic urbain par exemple; elle fonctionne avec de petites batteries rechargeables rapidement.

• Pour les trajets longs (30% des trajets en voiture), les voitures électriques perdent leur avantage écologique en raison des grandes batteries et du système de charge rapide. «Pour la mobilité longue distance, nous avons besoin d’hydrogène, souligne Christian Bach, d’hydrogène et de carburants synthétiques.»

**Comment construirons-nous et vivrons-nous demain?**

Si vous voulez voir par vous-même à l’Empa les moyens de construction actuels et futurs les plus efficaces d’un point de vue énergétique, le meilleur moyen est de visiter le démonstrateur NEST. Dans ce bâtiment dédié à la recherche et à l’innovation qui a attiré de nombreux visiteurs depuis son ouverture en 2016, chercheurs et entreprises travaillent ensemble à la concrétisation de leurs idées en matière de nouveaux modes de construction. Next Evolution in Sustainable Building Technologies comprend les technologies du bâtiment de l’avenir, qui aideront à construire et à vivre de manière plus efficace au niveau de l’énergie et des ressources. La structure de NEST est modulaire. La maison se compose d’un noyau central avec trois plates-formes ouvertes dans lesquelles s’intègrent des modules appelés «unités». Ces unités portent des noms aux consonances futuristes, tels que Vision Wood, SolAce ou encore Urban Mining & Recycling. Ces unités intègrent de nouveaux matériaux, technologies et systèmes qui y sont testés en continu et en grandeur réelle. Environ 150 partenaires issus de la recherche, de l’industrie et du secteur public sont actuellement impliqués dans les différentes unités. Les gens y vivent et y travaillent en même temps. NEST est un véritable laboratoire expérimental vivant (voir aussi page xxx).

**Des bâtiments et même des installations de fitness au bilan énergétique positif?**

Peter Richner, chef du département Sciences de l’ingénierie et responsable de la recherche de l’Empa sur l’énergie, est responsable de NEST au sein de l’équipe de direction. A l’Empa depuis 30 ans, il explique: «Notre objectif est d’accélérer le rythme de l’innovation dans le secteur de la construction. Cela s’applique en particulier aux systèmes énergétiques des bâtiments: nous devons délaisser les combustibles fossiles, c’est-à-dire le pétrole et le gaz.» Richner nomme clairement les conséquences de cette décarbonisation: elle entraîne une augmentation de la consommation d’électricité dans les bâtiments. En hiver, les pompes à chaleur ont besoin de grandes quantités d’énergie électrique pour apporter la chaleur. «C’est actuellement notre grand défi», déclare Richner. «Comment assurer l’approvisionnement en électricité grâce aux énergies renouvelables dans les dix ou quinze prochaines années?»

Nous sommes assis dans l’espace de vie de SolAce, l’unité NEST qui a ouvert ses portes en 2018 pour justement répondre à ces questions. SolAce, construit sous l’égide de l’EPF de Lausanne, vise à atteindre un bilan énergétique positif tout au long de l’année, c’est-à-dire que sur un cycle annuel, l’unité devrait produire plus d’énergie qu’elle n’en consomme. La façade, qui abrite des panneaux photovoltaïques et des capteurs solaires thermiques sous un vitrage coloré, est responsable de la production d’énergie. L’unité NEST Solar Fitness and Wellness, réalisée en collaboration avec suissetec, l’Association suisse-liechtensteinoise de la technique du bâtiment, se concentre elle aussi sur le thème de l’énergie. La question est la suivante: comment optimiser un centre de remise en forme et de bien-être énergivore afin qu’il puisse couvrir ses propres besoins énergétiques toute l’année? Un centre de fitness de la taille de cette unité (avec équipement de fitness, deux saunas et un bain de vapeur) a normalement une consommation énergétique équivalent à celle d’environ 25 maisons unifamiliales, soit environ 120 000 kilowattheures par an. L’unité NEST doit fonctionner avec 20 000 kilowattheures, soit une économie de plus de 80%. L’électricité est produite par des panneaux solaires installés sur la façade et sur le toit. Une pompe à chaleur au CO2 (qui atteint des températures allant jusqu’à 120 degrés) permet d’économiser plus de 60% de l’électricité nécessaire aux installations de wellness. La chaleur des saunas n’est pas perdue puisqu’elle est réutilisée pour d’autres applications, comme le bain de vapeur, les douches ou le chauffage.

**Rénover les bâtiments et penser l’alimentation électrique par quartiers**

Environ 40% des besoins énergétiques de la Suisse proviennent des bâtiments. Pour Peter Richner, la rénovation et la modernisation à moyen et long terme du parc immobilier est une excellente occasion d’installer des systèmes moins énergivores. L’étude «MatCH - Bau» publiée par l’Empa en 2016 à la demande de l’Office fédéral de l’environnement (OFEV) le confirme également. Cette étude conclut qu’il est intéressant de procéder à des rénovations. Toutefois, Richner souligne qu’il est impératif de réduire d’abord nos besoins en énergie. «Cela n’a aucun sens, par exemple, d’installer une pompe à chaleur dans une maison des années 70 avant que l’enveloppe du bâtiment n’ait été rénovée.» Une pompe à chaleur devient intéressante pour une maison résidentielle si la consommation annuelle d’électricité est d’au plus 50 kilowattheures par mètre carré de surface habitable. Idéalement, l’électricité devrait être produite localement, et là aussi le progrès technologique répond aux besoins. «Aujourd’hui, il est même possible de produire de l’électricité grâce au photovoltaïque pour un coût moins élevé qu’avec les technologies conventionnelles. Et les batteries de stockage intermédiaire sont de moins en moins chères», explique Richner.

Les technologies sont donc là pour instaurer la révolution énergétique en Suisse et pour atteindre d’ici 2050 la neutralité carbone décidée par le Conseil fédéral. Mais comment transposer ces technologies dans la vie de tous les jours? Quels changements sont nécessaires dans le secteur de la construction à un niveau supérieur, par exemple en politique? En plus d’augmenter l’efficacité des bâtiments existants et de remplacer les combustibles fossiles par des énergies renouvelables, Peter Richner est convaincu qu’une troisième étape est nécessaire: «Nous devons planifier des solutions d’avenir pour des quartiers entiers, et pas seulement pour des bâtiments individuels», dit-il. L’Empa suit cette notion de quartier, en particulier avec NEST, car il n’est pas exploité comme un seul bâtiment mais bien comme plusieurs bâtiments formant un quartier.

Son élément central est l’Energy Hub, ou ehub en abrégé; il s’agit d’une plate-forme de recherche de l’Empa qui vise à optimiser la gestion de l’énergie au niveau des quartiers et à mesurer l’impact sur l’ensemble du système énergétique. Ainsi, l’ehub permet de coupler les flux énergétiques de NEST et de move, le système modèle de mobilité. La plate-forme se compose d’une variété de technologies qui convertissent, transportent et stockent l’énergie. Une unité du NEST telle que SolAce, par exemple, ne pourrait pas fonctionner de manière autonome sans l’ehub qui stocke l’électricité produite en abondance les jours d’été ensoleillés et la redistribue lorsque c’est nécessaire.

L’Empa entend également poursuivre sa réflexion sur cette notion de quartier en vue de l’approvisionnement futur de la Suisse en électricité. Jusqu’à présent, malgré la libéralisation du marché de l’électricité, l’approvisionnement a été tributaire des grands producteurs et des grands réseaux. Peter Richner estime que l’électricité produite localement à partir de systèmes photovoltaïques jouera le rôle le plus important dans l’approvisionnement en électricité à l’avenir. «Il est possible qu’à l’avenir, la production soit principalement décentralisée dans de petites unités qui répartissent leur électricité entre elles.»

Les chercheurs de l’ehub s’intéressent aux conséquences d’un tel changement dans la production d’électricité: quels sont les effets d’un système énergétique décentralisé sur le système global? Quelles sont ses limites économiques et écologiques? Quelle autonomie énergétique est possible, laquelle a du sens? Peter Richner va encore plus loin dans ses réflexions. «Nous pouvons nous demander qui exploitera ces petits réseaux à l’avenir», dit-il. « De petits fournisseurs d’énergie ou des entreprises d'autres secteurs telle que Swisscom? Des coopératives locales? Peut-être des communes?» Les approches possibles sont nombreuses. Les cycles d’investissement pour les bâtiments couvrent généralement plusieurs décennies, et la situation initiale est très complexe selon l'utilisation et l’emplacement des bâtiments. D’après Richter, les défis sont souvent aussi de nature politique. «On ne peut pas les résoudre uniquement à l’aide de la technologie.»

**Le laboratoire Urban Energy Systems**

En 2015 a été créé le laboratoire de recherche Urban Energy Systems, avec lequel l’Empa a l’intention de faire office lanceur de pont. Le laboratoire mène des recherches sur les systèmes énergétiques en réseau dans le but de réduire fortement les émissions de CO2 des bâtiments et des quartiers. Des chercheurs de différentes disciplines travaillent ensemble à cet objectif. Les disciplines représentées sont le génie civil, le génie mécanique, le génie électrique, l’architecture, la technologie environnementale et le domaine relativement nouveau de l’écologie industrielle, qui traite des flux de matières et d’énergie dans les systèmes industriels. «En principe, il s’agit de mettre en réseau les bâtiments et d’intégrer des sources d’énergie durables», explique Kristina Orehounig, directrice de ce laboratoire de l’Empa. Etant donné que le potentiel de production et de consommation d’énergie locale est rarement synchronisé, il est nécessaire de disposer de moyens flexibles pour faire face à l’offre et à la demande. «C’est là qu’interviennent les systèmes multiénergie, explique Orehounig, c’est-à-dire les réseaux dans lesquels l’énergie peut être transférée à volonté selon les besoins, ou les technologies de stockage pour stocker temporairement l’énergie et ensuite la réutiliser quand elle est nécessaire.»

Par exemple, les chercheurs évaluent le potentiel d’un nouveau système de stockage de chaleur basé sur la soude caustique concentrée et le système Power-to-Gas (voir aussi page xxx). «En cas de forte demande d’électricité en hiver, le stockage thermique seul ne suffit pas; le système Power-to-Gas pourrait alors être un moyen de résoudre le problème», dit Orehounig. Les chercheurs étudient également le potentiel de différentes batteries ou l'utilisation de champs de sondes géothermiques couplés à des réseaux thermiques. Il s’agit toujours de cerner l'impact de ces technologies de stockage sur les quartiers où on les mettrait en œuvre.

**Simuler des systèmes d’alimentation alternatifs**

L’équipe de Kristina Orehounig travaille avec les villes, les municipalités et les fournisseurs d’énergie sur de nouveaux concepts énergétiques. Au moyen de simulations, les chercheurs aident à clarifier des questions concrètes. L’un des premiers projets concerne la municipalité de Zernez, qui s’est fixé pour objectif de devenir autosuffisante en énergie d’ici 2020. Après une vaste collecte de données, l’équipe de recherche a créé un modèle de simulation pour trouver la meilleure façon de procéder à cette transition. Elle a également simulé des concepts d’approvisionnement alternatifs pour d’autres endroits tels que Zurich-Altstetten, Bâle, Brig-Glis et Rheinfelden. La conclusion: « Les données en matière d'énergie diffèrent beaucoup d'un endroit à l'autre, il n’y a pas de recette-miracle qui convienne à tous.»

Dans le cadre de ces missions, Kristina Orehounig et son équipe ont développé des outils de simulation qu’ils veulent désormais mettre à la disposition de l’industrie. Une nouvelle start-up doit intégrer ces outils de simulation en un logiciel de modélisation destiné aux bureaux d'ingénieurs qui projettent ou optimisent des systèmes énergétiques à l'échelle des quartiers . Le laboratoire Urban Energy Systems souhaite se concentrer sur la recherche et le développement de solutions pour améliorer les systèmes énergétiques dans les villes. «A l’avenir, la plupart des gens vivront dans les villes, explique Orehounig, ce qui signifie que nous avons besoin de solutions non seulement pour les quartiers individuels, mais aussi pour l’ensemble du tissu urbain.»

Un de ses projets de recherche est consacré à la densification urbaine et à son influence sur la consommation d’énergie. Les conséquences du changement climatique seront également prises en compte: les villes se réchaufferont davantage que les zones rurales. «Dans ces conditions et malgré la densification, il est important de prévoir suffisamment d’espaces verts, d’ombrager suffisamment les espaces extérieurs ou de veiller à ce que les rayons du soleil ne pénètrent pas directement dans les façades vitrées en été.» NEST entre à nouveau en jeu ici: une partie du travail de recherche peut être testée sur un vrai quartier grâce à l’ehub. Cette expérimentation permettra de découvrir ce qui est transférable dans le monde réel.

D’autres groupes de recherche de l’Empa travaillent encore plus intensivement sur la physique urbaine, et notamment la physique du climat urbain. Ils mènent des expériences approfondies pour comprendre les conditions physiques spécifiques des villes. Parmi ces conditions, on retrouve par exemple le phénomène des îlots de chaleur urbains – des zones urbaines qui accumulent plus de chaleur qu'un environnement rural. Des essais dans la soufflerie et dans le canal hydraulique de l'Empa réalisés à l'aide de maquettes de complexes immobiliers et de rues encaissées ont permis de simuler et d'effectuer des mesures sur le climat d’un quartier déterminé. Ces données seront également utilisées par le laboratoire Urban Energy Systems dans le futur.

**Traitement visionnaire du bois**

La construction durable, c’est aussi l’utilisation de matériaux durables. Quoi de mieux que le bois dans ce cas? Cela fait plus de 80 ans que l’Empa mène des recherches sur les matériaux renouvelables (voir aussi page xxx). «Le bois n’est assurément plus un produit de niche, mais un matériau de construction durable à grande échelle», explique Tanja Zimmermann. Cette spécialiste du bois est membre de la direction de l’Empa, responsable du département Functional Materials et co-responsable du domaine de recherche Sustainable Built Environment. L’augmentation de la demande se reflète dans les chiffres: la part de marché du bois dans la construction ne cesse de croître; en 2017, elle était de plus de 18% pour les maisons unifamiliales et de plus de 10% pour les immeubles. La tendance est en particulier fortement à la hausse dans le cas des bâtiments à plusieurs étages. Maintenant, on construit même des immeubles de grande hauteur entièrement en bois, comme par exemple à Zoug, un immeuble en bois de 27 étages de 80 mètres de haut, qui devrait pouvoir être occupé en 2024, ou le «HoHo Wien» de 24 étages avec une hauteur de 84 mètres.

L’unité NEST Vision Wood montre à quel point l’Empa fait preuve d’innovation dans son approche de ce matériau éprouvé. Elle a été développée par le laboratoire de recherche appliquée sur le bois de l’Empa en collaboration avec l’EPF Zurich. Contrairement aux maisons en bois conventionnelles, par exemple, on construit des éléments de façade qui se décolorent moins vite. Les revêtements de surface contiennent un mince réseau de fibres de cellulose de quelques micromètres qui servent de support pour les matériaux actifs. Les revêtements sont par conséquent beaucoup plus résistants et durables que dans les variantes conventionnelles. Cela s’applique à la protection contre les UV, à la déperlance ou à la résistance à la fissuration et à l’usure. Pour l’isolation ont été utilisés des panneaux de fibres de bois dans lesquels les chercheurs de l’Empa ont activé le biopolymère de bois de manière à ce qu’il agisse comme liant. Cela signifie qu’il n’est plus nécessaire d’utiliser des colles synthétiques. L’intérieur de Vision Wood séduit également par ses applications bois innovantes et modernes: les poignées de porte, par exemple, sont antibactériennes grâce à un procédé spécial qui lie l’iode à la structure du bois. Le lavabo de la salle de bains est en bois hydrofuge. Un mur en bois a été magnétisé grâce à des nanoparticules d’oxyde de fer, d’autres structures en bois ont été minéralisées pour augmenter leur résistance au feu.

**Les défis liés au béton**

Bien que l’utilisation du bois pour la construction ait augmenté ces dernières années, le béton reste le principal matériau de construction. La plus grande partie de l’infrastructure construite et du parc immobilier dans le monde est en béton. Le béton est aussi de loin le matériau de construction le plus répandu en Suisse. L’étude «MatCH - Bau» de 2016 mentionnée précédemment a montré que le béton représentait plus des deux tiers des 56 millions de tonnes de matériaux utilisés annuellement. L’utilisation de telles quantités de béton a un impact écologique considérable. La production de ciment, le principal composant du béton, libère au moins trois milliards de tonnes de CO2 par an dans le monde, ce qui correspond à 6 à 8% des émissions mondiales de CO2. C’est environ trois fois plus que l’ensemble du trafic aérien.

Les émissions annuelles de l’industrie mondiale du ciment doivent être réduites d’au moins 16% d’ici 2030 afin de satisfaire aux exigences de l’Accord de Paris sur le climat. Depuis des années, les industriels et les instituts de recherche travaillent sur les procédés de fabrication pour améliorer le bilan carbone du ciment. Le laboratoire Béton et chimie de construction de l’Empa, l’un des plus grands du monde dans ce domaine, est à la pointe du progrès. Son responsable Pietro Lura explique: «La stratégie générale de réduction du CO2 consiste à réduire le ciment Portland, utilisé depuis plus de 150 ans, en le mélangeant autant que possible avec d’autres matériaux réactifs. Pour cela, on peut utiliser des sous-produits industriels tels que les cendres volantes de centrales électriques à charbon ou les scories granulées de haut fourneau provenant de la production de fonte brute.» Des progrès ont déjà été réalisés dans ce domaine, mais l’un des points faibles est leur disponibilité: «La production d’acier est en baisse et nous nous efforçons de nous passer à l’avenir des centrales à charbon», explique Pietro Lura. Par ailleurs, les matières premières du ciment conventionnel affichent une grande disponibilité; la chaux et l’argile se trouvent presque partout dans le monde et à bas prix. «Cela complique la recherche d’alternatives», explique Lura. L’une des idées de son laboratoire à l’Empa est la production de ciment neutre voire négatif en CO2 à partir de silicates de magnésium. Il serait sur le point de comprendre et d’exploiter les processus chimiques qui sous-tendent ce procédé. Cependant, selon Lura, le développement du ciment au magnésium et d’autres ciments de remplacement prendra probablement un certain temps. «Nous continuerons à construire avec du béton à base de ciment Portland pendant encore longtemps», prévient-il.

Le laboratoire de Pietro Lura assiste les partenaires industriels dans l’introduction de nouveaux types de ciment à faibles émissions carbone, par exemple avec des additifs provenant des déchets de construction ou des scories provenant de la récupération des métaux précieux. Dans le même temps, il poursuit ses recherches sur les propriétés du béton, qu’on ne cerne pas encore suffisamment bien, malgré les nombreuses années d’utilisation du ciment Portland dans l’industrie de la construction. Que se passe-t-il exactement, par exemple, lorsque le béton «glisse» et qu’il est constamment déformé sous pression et sous tension? C’est l’une des questions auxquelles les chercheurs sont confrontés. Un autre objectif important est d’augmenter la durabilité du béton, en particulier pour les structures exposées à des charges élevées. C’est ainsi que l’Empa a mis au point des éléments en béton précontraint à haute performance dont les tendons sont en matière plastique renforcée de fibres de carbone. Ceux-ci sont légers, extrêmement solides et élastiques et, contrairement aux tendons d’acier, ils ne se corrodent pas. Au moyen d’une nouvelle formule de béton, les chercheurs de l’Empa ont également développé et simplifié la technique des éléments en béton précontraint afin que cette précontrainte ne soit produite que par l’expansion du béton. D’autres développements de l’Empa, comme le Memory Steel, un nouvel alliage d’acier de précontrainte pour précontraindre plus facilement et plus durablement les structures en béton, ou les bandes en fibre de carbone pour renforcer les vieux ponts et structures (voir aussi page xxx) visent également à améliorer la durée de vie du béton. Cela permettrait de construire de manière plus durable et d’améliorer significativement l’éco-bilan du matériau de construction le plus répandu.

**Comment réduire notre impact sur l’environnement?**

Près de trois planètes nous seraient nécessaires si chaque être humain affichait le même impact environnemental qu’un Suisse moyen. L’empreinte écologique de la Suisse, à laquelle Patrick Wäger, chercheur à l’Empa, fait référence, montre clairement comment nous traitons notre planète: assez mal et au détriment des autres êtres vivants, mais surtout au détriment des générations futures. «Nous devons de toute urgence réduire notre consommation de ressources», déclare Patrick Wäger, responsable du laboratoire Technologie et société à l’Empa. L’un des objectifs de l’Empa dans le domaine de la recherche environnementale «Ressources naturelles et polluants» est de montrer comment nous pourrions nous en sortir avec moins de ressources non renouvelables, notamment par exemple, en fermant des cycles de production.

**Bouteilles en PET et microplastiques**

Au sein du laboratoire Technologie et société, les cycles des matériaux, l’impact écologique ou l’évaluation des conséquences technologiques sont des domaines de recherche importants. Le groupe de recherche Evaluation et gestion des risques environnementaux est préoccupé par le fait que certains des matériaux produits par les humains se retrouvent encore aujourd’hui dans l’environnement. C’est l’un des groupes de recherche les plus influents au monde dans ce domaine. Le groupe est dirigé par le spécialiste de l’environnement Bernd Nowack, dont le nom figure régulièrement sur la célèbre liste des «Highly Cited Researchers». Ses publications font partie des études les plus citées par d’autres chercheurs en sciences de l’environnement et en écologie. Nowack s’intéresse notamment à la répartition des nanoparticules dans l’environnement. «Nous sommes pionniers dans ce domaine de recherche», dit Bernd Nowack, comme si c’était un simple fait qui valait tout juste la peine d’être mentionné (c’est un homme modeste). En 2016, son groupe a commencé à appliquer aux microplastiques les modèles de calcul développés pour les nanomatériaux. La science classe dans les microplastiques les particules de plastique d’un diamètre inférieur à 5 millimètres.

C’est seulement au cours des dernières années que l’on s’est rendu compte de l’importance du problème des microplastiques pour l’environnement. Les scientifiques ont en effet trouvé des plastiques et surtout des microplastiques presque partout dans le monde. Bernd Nowack adopte une approche lucide de la microplastique et est immunisé contre les allégations non vérifiées ou même les idéologies. «Nous ne faisons pas de recherche environnementale au sens strict du terme, dit-il fermement, nous nous intéressons à des questions comme: comment une matière donnée pénètre-t-elle dans l’environnement, quelle est sa quantité totale et comment est-elle répartie sur une certaine zone?» Nowack et son équipe ont étudié comment les microplastiques sont libérés lors du lavage des textiles en polyester et comment ils sont rejetés dans l’environnement par les eaux usées. Ils ont notamment étudié les effets des détergents, la température de l’eau ainsi que le nombre et la durée des cycles de lavage sur la libération de microfibres. Ils ont constaté que c’était l’ajout de détergents qui avait la plus grande influence, tandis que la température ou la durée d’un programme de lessive n’avait pas d’importance.

Une étude de l’Empa de 2019, dans laquelle le groupe de Nowack a calculé l’ampleur de la pollution plastique en Suisse pour le compte de l’Office fédéral de l’environnement, a suscité un grand intérêt. Les chercheurs ont estimé que 5000 tonnes de plastique, soit 630 grammes par habitant, étaient rejetées dans l’environnement chaque année. Bien que cela ne corresponde qu’à «seulement» 0,7 pour cent de la quantité totale de plastique en circulation, les quantités libérées n’en sont pas moins affolantes. La plus grande partie de ce volume, soit 4400 tonnes ou 85 pour cent, atteint le sol, principalement sous forme de macroplastique. «Il provient, par exemple, de films plastiques issus de l’agriculture, d’emballages mis au rebut, de bouteilles en PET et de sacs poubelles jetés sur le bord des routes», explique Bernd Nowack. «La quantité de microplastique est donc bien moins élevée que celle de macroplastique. Le nombre de particules qui pourraient avoir des répercussions sur les organismes est cependant nettement plus important.»

Sur les 600 tonnes de microplastique, près de 15 tonnes se retrouvent dans l’eau. En Suisse, comme dans le reste de l’Europe, les poissons d’eau douce et autres organismes aquatiques ne sont pas (encore) menacés par le microplastique. C’est le résultat d’une étude d’évaluation des risques publiée par Bernd Nowack et sa collègue Véronique Adam. Donc, pour l’instant, il n’y a pas de quoi s’inquiéter, du moins chez nous. Toutefois, dans la même étude, ils ont pu prouver que les valeurs seuils pour les microplastiques étaient partiellement dépassées dans les eaux asiatiques. Une des nombreuses raisons pour Bernd Nowack et son équipe de suivre le sujet des microplastiques.

**Mesurer et réduire les émissions**

Réduire la pollution, c’est aussi maîtriser les émissions de carbone et d’autres polluants. En collaboration avec l’Office fédéral de l’environnement, l’Empa exploite depuis des décennies le Réseau national de surveillance des polluants atmosphériques (NABEL). Ce réseau mesure la pollution atmosphérique sur 16 sites en Suisse. Ceux-ci sont répartis sur l’ensemble du territoire national et enregistrent l’impact dans des lieux typiques: en ville, à la campagne, sur les autoroutes ou, ce qui un peu plus atypique, sur le Jungfraujoch (voir aussi page xxx). Le NABEL fournit des données de base pour les mesures suisses de lutte contre la pollution de l’air visant à réduire les émissions, et le réseau est également impliqué dans des programmes internationaux de mesure et de recherche.

Le laboratoire Advanced Analytical Technologies de l’Empa est également impliqué dans l’analyse des polluants. En 2018, une équipe de ce laboratoire a comparé l’étendue de la pollution aux particules fines en Suisse par rapport à celle de la Chine. Les chercheurs ont découvert que la composition des particules fines différait grandement entre les deux pays. D’autres équipes de recherche de l’Empa s’intéressent à la provenance des polluants atmosphériques. De nombreux projets utilisent des modèles de dispersion pour étudier la répartition des polluants: l’objectif est de mieux comprendre comment et par où les gaz à effet de serre, les composés organiques volatils, les nanoparticules et autres polluants pénètrent dans l’atmosphère terrestre. A l’Empa, ces polluants sont étudiés à différents niveaux, de leur écoulement des bâtiments jusqu’à leur diffusion sur plusieurs continents.

**Une nouvelle génération de moteur à combustion interne en vue**

Le laboratoire Technologies de propulsion automobile de l’Empa se concentre sur la réduction de la consommation de ressources dans le domaine des transports. Son objectif pour la mobilité est de renoncer aux combustibles fossiles et de passer à des sources d’énergie renouvelables. Cependant, ce changement ne s’effectuera pas du jour au lendemain mais nécessitera de procéder par petites étapes. Les nombreux projets de recherche de ce laboratoire portent principalement sur la réduction des polluants, les carburants à faible teneur en carbone et l’accroissement de l’efficacité énergétique.

Un groupe fait des recherches sur le «moteur à gaz 4.0», comme le dénomme Christian Bach, chef de laboratoire. Dans un contexte de réduction des émissions de CO2, les véhicules fonctionnant au gaz renouvelable constituent une alternative convaincante, notamment pour les longs trajets. Bien que les véhicules au gaz existants soient techniquement comparables à ceux à essence et diesel, ils n’exploitent pas encore pleinement le pouvoir antidétonant du gaz renouvelable (jusqu’à 120 octanes). L’objectif des chercheurs de l’Empa est de mettre au point un procédé de combustion plus efficace et moins polluant pour les voitures particulières fonctionnant au gaz, qui soit également adapté aux moteurs hybrides.

Les moteurs des camions pourraient aussi devenir bientôt plus propres. Les chercheurs doivent tenir compte du fait que le transport de marchandises est une industrie soumise à d’énormes contraintes de temps; un plein de carburant doit durer plus de 1000 kilomètres. «Dans un premier temps, il est impossible de contourner les nouveaux concepts basés sur le moteur diesel existant», explique Christian Bach. Un groupe étudie, sur la base du Power-to-Gas, un nouveau concept utilisant la source d’énergie liquide, le diméthyléther. «Avec cette technologie, il pourrait être possible de convertir les camions longue distance aux carburants renouvelables», dit Bach. Grâce à la teneur en oxygène du carburant, il est non seulement possible de réduire les émissions de CO2, mais aussi d’améliorer l’efficacité du processus de combustion, ce qui n’est pas possible avec le diesel. L’objectif est d’accroître l’efficacité des carburants pour camions de 45% aujourd’hui à plus de 50%.

Les chercheurs de l’Empa veulent également améliorer les convertisseurs catalytiques pour gaz d’échappement qui permettent aux voitures d’émettre moins de polluants. Les catalyseurs actuels nécessitent une quantité relativement importante de métaux précieux de haute qualité tels que le platine. Il en faut 1 à 3 grammes par catalyseur. Mais le platine est une matière première controversée: il est cher et son extraction cause des dommages environnementaux. Il y a donc de multiples intérêts à utiliser ce métal avec parcimonie. L’Empa souhaite contribuer à mesurer cette utilisation. Une équipe de recherche s’est fixé l’objectif ambitieux de réduire la demande à un dixième. L’approche consiste à améliorer l’écoulement des gaz d’échappement dans le catalyseur à un point tel qu’il faille beaucoup moins de platine par catalyseur. A l’aide de procédés de fabrication d’additifs, les chercheurs ont mis au point un nouveau catalyseur aux parois constituées de cellules en forme de polyèdres inclinées à 45 degrés contre l’écoulement. En raison de cette structure, les gaz d’échappement entrent en turbulence et frappent la surface catalytique active revêtue de platine beaucoup plus fréquemment que les catalyseurs classiques. Cela signifie que les dimensions de cette surface peuvent être beaucoup plus réduites que dans un catalyseur conventionnel. Les premiers résultats des essais avec le prototype du nouveau catalyseur sont prometteurs et l’industrie automobile s’intéresse déjà à cette technologie.

**Moins de polluants dans la construction routière**

Il convient également de diminuer le recours aux matières premières dans la construction des routes. En 2019, le laboratoire Construction routière a testé avec succès l’asphalte tiède. De l’asphalte chaud est normalement utilisé pour le revêtement des routes. L’asphalte est mélangé à 160 °C et ensuite posé par les constructeurs de routes à 150 °C. Les besoins énergétiques et les émissions de CO2 qui en résultent sont très élevés. L’asphalte tiède quant à lui est chauffé à une température beaucoup plus basse, seulement 100 °C au lieu de 140, et les émissions sont également beaucoup plus faibles. C’est ce qu’ont démontré les nombreux essais sur le terrain et en laboratoire effectués par le laboratoire Pollution de l’air/technologie environnementale de l’Empa. Les résultats de la recherche montrent clairement l’impact réduit de l’asphalte tiède sur l’environnement; les fabricants doivent maintenant emboîter le pas et convertir leurs installations de production d’asphalte chaud ordinaire en asphalte tiède plus écologique.

L’asphalte recyclé, une nouvelle tendance dans le domaine de la construction routière que l’Empa fait progresser, présente un bilan écologique encore meilleur. En collaboration avec une équipe européenne, la chercheuse Christiane Raab a mis au point un procédé dans lequel l’asphalte granulaire est mélangé uniquement avec de l’eau, compacté par laminage sans adjonction d’agent liant ou rajeunissant, puis posé à froid. Les chercheurs de l’Empa ont déjà équipé une zone test avec cet asphalte recyclé. La manière dont cet asphalte écologique peut résister à la charge du trafic sera observée et étudiée jusqu’à l’été 2020.

**L’économie circulaire dans la construction: Urban Mining & Recycling**

L’unité NEST Urban Mining & Recycling, ou UMAR en abrégé, montre comment il est possible de vivre en harmonie avec l’environnement même entre ses quatre murs, puisqu’elle intègre des éléments d’économie circulaire. L’appartement de trois pièces se compose de matériaux et d’éléments démontables en pièces détachées entièrement réutilisables ou recyclables. Tout ce qui ne peut être réutilisé ou recyclé est composté et réintroduit dans le cycle naturel des matières. L’UMAR a été conçu selon les principes de revalorisation des matières premières qui s’accumulent en ville. Selon l’Urban Mining, la ville devient une mine d’or. Le recyclage des matériaux existants est une solution possible pour faire face à la raréfaction des ressources.

Tout dans l’unité UMAR de NEST est nouveau et moderne: sols, meubles, revêtements muraux, équipements et applications. Mais presque tout a déjà servi sous une autre forme. Le plan de travail de la cuisine, par exemple, avec son étonnante surface marbrée, a été fabriqué à partir de morceaux de verre recyclés. Normalement, le verre recyclé est chauffé à 1000 degrés et complètement fondu. Mais ce verre a été traité à 400 degrés pour former des plaques dans lesquelles on peut encore voir les structures et les couleurs initiales. L’une des salles de bains est également entièrement recouverte de ce nouveau matériau recyclé.

De nouvelles briques ont été cuites à partir de gravats minéraux de construction pour faire un mur tournant servant de cloison de séparation. Pour les portes, les architectes de l’UMAR ont réutilisé les poignées de porte usagées d’un bâtiment démantelé. Entre autres choses, des emballages Tetra Pak déchiquetés et pressés ont servis pour la construction des murs. L’isolation est constituée d’une couche de tissu produite à partir de vieux jeans. L’unité présente une collection de matières premières recyclées issues de la ville et prêtes à être réutilisées comme isolant: le chanvre pressé ou encore le mycélium de champignons, qui prend la forme qu’on lui donne et qui devient très résistant une fois chauffé.

Les modèles de calcul des chercheurs de l’Empa montrent que le principe de l’Urban Mining permet une construction durable et économe en énergie. L’application de ce principe partout en Suisse permettrait d’économiser de grandes quantités de matières premières et d’éviter la pollution de l’environnement. Pour généraliser ce type de construction, les facteurs clés indispensables sont un meilleur processus de recyclage, la réutilisation des matériaux et des objets et une conception moderne des produits. Si, aujourd’hui, le développement des produits tient rarement compte de l’ensemble du cycle de vie, il deviendra de plus en plus important à l’avenir afin de réduire la consommation de ressources (voir aussi page xxx).

**Comment améliorer notre santé et notre performance?**

La médecine fait de plus en plus appel à la technologie pour corriger ou du moins atténuer les conséquences des maladies, des accidents ou du vieillissement du corps. Les fractures osseuses sont stabilisées avec des vis et des plaques depuis des décennies, les patients cardiaques se font poser un pacemaker lorsque leur rythme cardiaque menace de se désynchroniser, et un grand nombre de personnes âgées portent des prothèses au genou ou à la hanche.

Les soins de santé modernes ont donc besoin de matériaux innovants aux propriétés nouvelles et de nouveaux procédés pour mieux examiner, surveiller physiologiquement et, en fin de compte, soigner les patients. Et ici, dans les laboratoires de l’Empa, il se passe des choses révolutionnaires: la recherche fondamentale éclaire la compréhension des interfaces entre les matériaux et le corps humain; de nouveaux matériaux sont conçus pour des applications médicales dans et sur le corps humain; des matériaux améliorent la qualité de vie des malades, et des matériaux qui sont rendus fonctionnels pour aider à améliorer la performance des personnes en bonne santé. Le but de ces recherches est de développer ou de modifier les matériaux au moyen d’une compréhension biologique plus profonde afin de mieux contrôler les interactions entre le matériau et le corps. C’est pourquoi l’Empa collabore étroitement avec les hôpitaux universitaires et les centres hospitaliers dans les domaines de la technique médicale et des technologies de la santé, tant au niveau mondial que local.

D’autres éléments importants pour ces ambitieuses thématiques d’avenir sont la numérisation toujours croissante ainsi que la capacité de traiter même les plus grandes quantités de données et de les utiliser pour créer des modèles informatiques réalistes, comme des modèles de cellules et d’organelles. A l’avenir, par exemple, le concept de «sosie virtuel» pourrait révolutionner la médecine. Il s’agit de l’image virtuelle d’un patient, basée sur des données, sur laquelle des thérapies personnalisées sont simulées. Ce qui ressemble à de la science-fiction est déjà une réalité dans les laboratoires de l’Empa, puisque les chercheurs du laboratoire Biomimetic Membranes and Textiles du physicien René Rossi à Saint-Gall travaillent sur le développement d’un jumeau numérique de la peau – en quelque sorte un double «personnalisé» en silicium de notre plus grand organe de par sa surface. Les chercheurs espèrent que cela leur permettra à l’avenir de traiter encore mieux et surtout de manière plus individuelle les patients souffrant de douleurs chroniques ou de diabète. L’avatar reçoit en effet des informations en temps réel sur l’état de la peau ou des paramètres physiologiques importants via des capteurs sur le corps. De plus, le jumeau numérique permet un pronostic personnalisé de l’évolution du traitement, ce qui simplifie grandement le choix du meilleur traitement.

**Textiles intelligents**

Les textiles jouent un rôle de plus en plus important dans la santé. Le laboratoire Biomimetic Membranes and Textiles a développé – principalement en collaboration avec des partenaires industriels – une multitude de matériaux et de systèmes axés sur la protection et la performance optimale du corps humain. En voici quelques exemples: un système de sommeil tout-en-un pour les sportifs de l’extrême, dans lequel la chaleur du corps est utilisée pour maintenir une température interne agréable et constante; des vêtements spécialement isolés pour les pilotes de l’avion solaire «Solar Impulse», qui s’adaptent à différentes températures au cours du vol; des chaussettes à frottement réduit pour l’armée suisse afin d’éviter les ampoules aux pieds des soldats; des combinaisons de protection des pompiers avec un système de gestion de l’humidité afin que leur propre sueur ne les brûlent pas pendant les opérations; des textiles fonctionnels avec des capteurs intégrés pour prévenir les escarres chez les personnes paraplégiques; des vêtements rafraichissants pour les patients atteints de sclérose en plaques; une chemise à capteurs avec électrodes 3D cousus qui assurent la conductivité avec la peau humaine, et bien d’autres choses encore.

Les équipes de l’Empa étudient également de plus en plus le potentiel des textiles pour l’administration de médicaments, des «médicaments à porter», pour ainsi dire. En effet, tous les ingrédients actifs ne peuvent pas être avalés sous forme de comprimés ou injectés sous forme liquide. Mais la peau, le plus grand organe du corps humain, offre une surface considérable à travers laquelle les ingrédients actifs peuvent être absorbés jusqu’à une certaine taille moléculaire. Les chercheurs de l’Empa veulent exploiter cette possibilité. Un projet est consacré aux pansements transdermiques, avec lesquels les médicaments peuvent être appliqués sans douleur et efficacement sur la peau. Afin de contrôler le dosage des substances actives, une équipe de l’Empa a développé, en collaboration avec des groupes de recherche d’autres institutions, des «interrupteurs de lumière» moléculaires conditionnés dans des nanobilles et insérés dans les pansements. Lorsque ces nanobilles sont irradiées par la lumière, leur structure change et les substances actives sont libérées. Si la couleur de la lumière change, la réaction chimique s’arrête en quelques secondes et les nanobilles redeviennent hermétiques. Dans un premier temps, la méthode sera testée pour les analgésiques, mais à l’avenir, de nombreux autres traitements seront envisageables sous forme de «patchs avec interrupteurs».

Les textiles contenant des médicaments offrent une autre possibilité de transférer les produits thérapeutiques à travers la peau. Le projet «Self Care Materials» de l’Empa s’inscrit dans cette démarche, l’objectif étant de fabriquer des fibres polymères intelligentes par différents procédés. Grâce à un ingénieux mécanisme de contrôle, les fibres peuvent contrôler le dosage précis des médicaments – par exemple en réponse à un stimulus lumineux – ou même agir comme capteurs en mesurant le taux de glycémie, par exemple. L’industrie manifeste un grand intérêt pour ces fibres médicinales (Self Care Materials). Vingt partenaires sont déjà impliqués dans le projet, de même que l’association professionnelle Swiss Textiles, qui est engagée dans le projet avec son initiative de recherche Subitex.

Les capteurs de santé sont un domaine de recherche de plus en plus important pour l’Empa. Sangle de poitrine avec capteurs textiles pour le suivi à long terme des patients souffrant d’apnée du sommeil (arrêt respiratoire pendant le sommeil); capteurs apposés sur une plaie qui avertissent le personnel soignant dès qu’une blessure guérit mal; fibres optiques tissées dans les textiles qui contrôlent la circulation sanguine de la peau ou mesurent la fréquence cardiaque – la demande est croissante pour ce type de capteurs de santé capables de saisir des données facilement et pendant une longue période. A l’avenir, les capteurs seront portables, flexibles et biologiquement compatibles avec le corps humain. Cependant, la collecte de données à proximité ou directement sur le corps vivant rencontre un certain nombre d’obstacles; les capteurs doivent fonctionner de manière fiable dans des conditions complexes et variables. Les chercheurs de l’Empa se penchent actuellement sur ces obstacles.

**Au croisement du matériau et de la biologie**

Quand les matériaux sont utilisés en médecine, la question principale qui se pose est la suivante: comment fonctionnent exactement les interactions entre les surfaces matérielles et biologiques? Ou comment le corps humain réagit-il aux matériaux introduits de l’extérieur ou avec lesquels il entre en contact de l’extérieur? Et comment peut-on contrôler ces processus? La chimiste Katharina Maniura dirige le laboratoire Biointerfaces de l’Empa à Saint-Gall. En collaboration avec ses équipes, elle étudie les réactions cellulaires et tissulaires que peuvent déclencher des surfaces fonctionnelles dans des applications médicales. «Plus on en apprend sur les interactions entre la biologie et les matériaux, plus on comprend que la biologie a des exigences très particulières et que les cellules et les tissus ont leurs propres voies de signalisation déterminantes», dit Maniura. La recherche actuelle s’intéresse particulièrement à la réponse immunitaire de l’organisme aux matériaux, «parce qu’en fin de compte, c’est cela qui détermine comment les tissus du corps vont réagir aux matériaux».

Un groupe du laboratoire de Maniura travaille par exemple sur la colonisation des implants par des bactéries, ce qui peut entraîner la formation de dépôts et, en fin de compte, des infections graves et potentiellement mortelles. Dans le cadre d’un projet commun avec l’hôpital cantonal de Saint-Gall, l’équipe a analysé comment les dépôts se développent à l’intérieur des endoprothèses urétérales. Il s’agit d’accumulations résistantes de germes qui peuvent devenir un problème dans les hôpitaux en particulier. Les endoprothèses urétérales sont utilisées en urologie et servent souvent, notamment, pour le traitement des calculs rénaux. Ils sont placés entre le rein et la vessie pour assurer le drainage de l’urine. Le matériau utilisé pour les endoprothèses (des petits tubes en polymère) est considéré comme ayant fait ses preuves dans les hôpitaux, où les médecins travaillent avec une stérilité maximale, néanmoins les patients souffrent souvent de douleurs et d’infections des voies urinaires. Les chercheurs de l’Empa ont voulu faire les choses à fond: ils ont examiné 85 endoprothèses urétrales que des patients portaient dans leur corps depuis environ trois semaines. Dans les résidus, ils ont trouvé non seulement des dépôts cristallins provenant de l’urine, mais aussi des accumulations de bactéries. «Lors du développement des matériaux, la question se pose de savoir comment ces dépôts se forment et comment les surfaces doivent être remodelées afin de les réduire ou d’empêcher leur formation», explique Katharina Maniura. Il existe déjà sur le marché des cathéters avec des revêtements antimicrobiens qui donnent de très bons résultats en laboratoire. «Mais les cliniciens ne voient aucune différence dans la vie de tous les jours. Ces cathéters enduits, plus chers, ne sont pas plus efficaces que les tubes de polymère conventionnels», nuance Maniura. Les chercheurs soupçonnent que la bactérie présente une étonnante capacité de survie à l’intérieur du corps, ce qui pouvait difficilement être reproduit en laboratoire auparavant.

Le groupe de recherche de l’Empa a néanmoins réussi à démontrer, au moyen de nombreuses expériences dans un bioréacteur, comment les bactéries colonisent progressivement les matériaux des cathéters. Dans le cadre d’un autre projet, l’équipe a pu démontrer que des germes mobiles pouvaient se fixer à la surface d’un polymère en interagissant avec les chaînes de polymères et les molécules exposées de la surface bactérienne de l’ordre du nanomètre. «Grâce à ces connaissances, nous espérons être en mesure de concevoir à l’avenir de meilleures surfaces qui empêcheront les bactéries de s’y fixer», explique Katharina Maniura. Ici aussi, on s’inspire de la nature. Car les chercheurs ont également trouvé à l’intérieur du corps des surfaces ayant des propriétés qui repoussent les bactéries pathogènes, par exemple sur les membranes cellulaires des cellules épithéliales. «Nous essayons de transférer ce savoir-faire à de nouveaux matériaux.»

Un autre grand projet se concentre également sur les surfaces: il s’agit du projet «Zurich Heart», de l’Université, de l’Hôpital universitaire et de l’EPFZ, auquel plusieurs équipes de l’Empa participent. «Zurich Heart» veut développer un cœur artificiel totalement nouveau. En parallèle, il cherche à améliorer les technologies existantes, telles que les pompes cardiaques artificielles, qui sont utilisées chez les patients souffrant d’insuffisance cardiaque grave. Ces dispositifs mécaniques prennent en charge la puissance de pompage de l’un ou même des deux ventricules. Pour le sang, cependant, il s’agit d’un corps étranger; lorsqu’il entre en contact avec ces dispositifs, il se produit des réactions qui peuvent entraîner la formation de caillots. L’interaction avec la pompe peut également endommager les cellules sanguines. Les chercheurs de l’Empa, sous la direction d’Edoardo Mazza, responsable du laboratoire Experimental Continuum Mechanics, travaillent sur des solutions pour que l’organisme ne perçoive plus ces appareils comme étrangers. Les équipes de Biointerfaces et de Biomimetic Membranes and Textiles développent une membrane pour recouvrir les surfaces internes des pompes cardiaques: la structure de la membrane est synthétique et conçue de telle sorte que les cellules endothéliales de l’organisme, qui forment l’intérieur des vaisseaux sanguins naturels et régulent l’échange entre le sang et les tissus corporels, peuvent être tapissées sur cette membrane, ou à l’avenir, s’y fixer directement par le sang. Cette membrane pourrait faire croire au sang que la pompe est un organe propre au corps. Ce «camouflage» fonctionne déjà très bien dans des conditions de laboratoire. Les équipes de recherche de Zurich Heart travaillent actuellement à l’analyse du comportement à long terme de la nouvelle pompe cardiaque.

**Les nanoparticules pour la santé**

Les nanoparticules peuvent également être utilisées en médecine, notamment dans le traitement du cancer ou dans le diagnostic de maladies. Par exemple, de minuscules particules biologiques sont utilisées pour introduire des médicaments anticancéreux dans l’organisme. Les nanomatériaux inorganiques comme l’argent sont connus pour inhiber la croissance des pathogènes, tandis que d’autres nanoparticules stimulent le système immunitaire ou transportent le fer dans le corps. Au sein de l’Empa, le groupe de recherche dirigé par Inge Herrmann est spécialisé dans les nanoparticules à usage médical; il développe principalement des nanoparticules inorganiques, par exemple à partir de métaux ou d’oxydes métalliques. Inge Herrmann travaille dans un grand et impressionnant laboratoire au sous-sol du bâtiment de l’Empa à Saint-Gall. «Nous avons déplacé tous nos appareils au sous-sol parce qu’ils sont très sensibles et qu’à ce niveau, il y a moins de perturbations», explique la chercheuse. Les nouveaux appareils ouvrent des possibilités jusqu’alors insoupçonnées dans le domaine: «Par exemple, nous pouvons maintenant mesurer l’absorption des nanoparticules dans des cellules individuelles ou identifier des particules individuelles. C’est fascinant!»

Dans chaque projet est impliqué un partenaire clinique, qu’il s’agisse des hôpitaux universitaires de Zurich ou de Berne ou de l’hôpital cantonal de Saint-Gall. Selon Herrmann, il est parfois difficile d’évaluer d’un point de vue clinique l’importance du centre technologique de l’Empa pour les applications médicales. «C’est pourquoi nous contactons souvent les hôpitaux avec des idées, parce que nous avons lu dans la littérature spécialisée qu’il n’existait pas encore de solutions pour certains problèmes. Si cela fonctionne, c’est alors le début d’un processus de développement graduel, étalé sur plusieurs années et très complexe.»

La cure magnétique pour nettoyer le sang est l’une de ces idées, lancée en 2008, publiée pour la première fois en 2010 et actuellement en cours d’essais cliniques dans le cadre d’une start-up au Wyss Translational Center Zurich. La purification magnétique du sang fonctionne selon le principe suivant: les nanoparticules magnétiques de fer sont liées à un anticorps qui détecte les bactéries nocives dans le sang afin de les lier à lui-même. Dès que les particules de fer se sont fixées aux bactéries – à des ligands spéciaux sur la surface bactérienne –, les bactéries ainsi que les particules de fer peuvent être retirées du sang par un procédé magnétique.

Cette procédure est destinée à traiter la septicémie, qui est aujourd’hui mortelle dans plus de la moitié des cas. Bien souvent, les médecins administrent un antibiotique à large spectre s’ils soupçonnent une septicémie, mais le médicament est souvent incapable de traiter l’agent pathogène non diagnostiqué et souvent résistant; en même temps, ce traitement augmente le risque d’accroître la résistance. Le nettoyage magnétique du sang, en revanche, promet une approche nouvelle et plus précise: en cas de suspicion de septicémie, les patients sont immédiatement connectés à un appareil de dialyse et les nanoparticules sont utilisées pour éliminer les bactéries présentes dans le sang, le tout en dehors du corps. «Cela empêche les nanoparticules de pénétrer dans le corps», explique Inge Herrmann. De plus, cette technique permet de concentrer les échantillons de sang et de déterminer parfaitement les bactéries qu’ils contiennent. «Si cela se révèle encore nécessaire, on peut administrer un antibiotique spécialement adapté à l’agent pathogène.»

Un autre projet du groupe d’Inge Herrmann montre que les nanoparticules peuvent également favoriser la cicatrisation avec la «Nanoglue», qui exploite les propriétés adhésives des nanoparticules dans les tissus. «Nous avons produit des nanoparticules à partir de diverses combinaisons de matériaux pour développer une “Nanoglue” bioactive: elle serait non seulement adhésive pour les tissus, mais aussi hémostatique, antimicrobienne pour prévenir les infections, et enfin et surtout, elle devrait stimuler la formation de nouveaux vaisseaux sanguins», détaille Herrmann. En d’autres termes, les chercheurs ont modifié l’architecture des particules afin qu’elles puissent remplir différentes fonctions au fil du temps. En ce qui concerne l’application, la «Nanoglue» pourrait être utilisée par exemple en chirurgie reconstructive, comme dans le cas de grands brûlés qui ont besoin d’une greffe de lambeaux cutanés assez larges pour reconstruire leur peau. Dans la pratique, ce traitement échouait souvent parce que la peau transplantée ne se développait pas au niveau des bords à cause d’une mauvaise circulation sanguine ou de l’apparition d’une infection au niveau de la plaie. Les chirurgiens plasticiens de l’Hôpital de l’Ile de Berne ont maintenant testé la «Nanoglue» dans une expérience modèle de traitement – avec succès. «Le tissu transplanté était beaucoup mieux alimenté en sang et s’est bien développé dans son environnement», dit Inge Hermann. C’est très prometteur pour l’utilisation de la «Nanoglue» en clinique.

**De quels matériaux aurons-nous besoin à l’avenir et qui les fabriquera?**

Que ce soit dans les secteurs de l’énergie, de la construction, de l’environnement ou de la technologie médicale, la clé du succès réside dans l’innovation de nouveaux matériaux dont les propriétés peuvent être «sur mesure» pour leur application future, dans des cas extrêmes par une structure moléculaire précise du matériau, par exemple le graphène. Chaque atome se trouve exactement là où il devrait. C’est précisément le domaine de la nanotechnologie que les chercheurs de l’Empa utilisent pour développer des matériaux nanostructurés destinés à de nombreuses applications, tels que les composants nanoélectroniques (miniaturisation de la micro-électronique), les diodes électroluminescentes, les électrodes de batterie, les revêtements pour implants médicaux, les nanorécipients pour médicaments et beaucoup plus.

Ces développements des laboratoires de l’Empa ne sont pas seulement intéressants pour la science et la recherche, ils sont également d’une importance capitale pour la compétitivité de l’économie suisse. Que ce soit dans l’industrie électrique, l’industrie du revêtement ou la construction mécanique, il est urgent d’innover pour que les entreprises suisses orientées vers l’exportation puissent s’imposer sur un marché mondial de plus en plus concurrentiel. L’Empa travaille en étroite collaboration avec les entreprises pour accélérer le transfert de technologie des laboratoires à l’industrie. Par exemple avec le Coating Competence Center (CCC), inauguré en 2016, qui met à disposition de l’industrie ses installations de revêtement et d’analyse, et par l’établissement de divers centres de transfert de technologie dans le domaine des technologies de fabrication avancées, que l’on appelle également Advanced Manufacturing (AM; voir aussi page xxx).

**Les nanomètres: un éventail de possibilités illimitées**

Pierangelo Gröning est un chercheur de l’Empa qui combine l’univers du chercheur, axé sur la connaissance, et celui de l’ingénieur, en quête de solutions techniques et d’applications. «On ne saurait trop insister sur la différence entre ces deux mondes et les points de vue qu’ils véhiculent», déclare Gröning, qui a contribué à la création du CCC sur le campus de l’Empa et d’un réseau de centres AM dans toute la Suisse. «On ne peut donc que féliciter l’Empa de réunir ces deux cultures sous un même toit et de les faire s’inspirer mutuellement.»

Gröning a fait des études d’ingénieur et travaillé dans l’industrie avant de se tourner vers les sciences naturelles pour son second cursus. Il a rejoint l’Empa en 2003, avec un groupe de spécialistes des matériaux de l’Université de Fribourg qui avait auparavant travaillé dans le laboratoire de Louis Schlapbach avant de suivre leur patron à l’Empa. Alors que Schlapbach a pris sa retraite depuis longtemps, Pierangelo Gröning y est toujours en fonction. Il porte même plusieurs casquettes à l’Empa: il dirige le département Matériaux modernes, surfaces et interfaces et dirige l’axe de recherche Matériaux nanostructurés, ainsi que la commission de recherche interne. Gröning replace l’importance des nanotechnologies dans un contexte historique: «jusqu’à il y a 30 ans, la science des matériaux était un sujet dont on pouvait facilement avoir une vue d’ensemble», dit-il. On parlait modestement de «technique des matériaux» lorsqu’il s’agissait d’applications possibles. «Autrefois, les matériaux se définissaient exclusivement par leur composition», explique Gröning. Ils sont composés, par exemple, de fer, de chrome ou d’hydrogène. «Et l’on savait que selon leur phase thermodynamique, ces matériaux avaient telle ou telle propriété.» C’était à peu près tout, concernant la diversité.

Puis vint la nanotechnologie, et avec elle les possibilités de la science des matériaux explosèrent. La science moderne des matériaux est la nanotechnologie appliquée – la Science des matériaux 2.0. L’échelle à elle seule est vertigineuse: 1 nanomètre est incroyablement petit, c’est 10-9 mètre, un milliardième de mètre. Après que les chercheurs aient plongé dans les profondeurs moléculaires de la biologie et identifié les éléments constitutifs de base de l’ADN, les sciences des matériaux ont elles aussi progressé à l’échelle nanométrique. Là, des propriétés complètement nouvelles des substances inorganiques sont apparues aux chercheurs: l’or, dont le point de fusion est normalement supérieur à 1000 degrés, fond à l’échelle nanométrique à température ambiante. La plante de lotus doit ses propriétés hydrofuges et antisalissantes prononcées à une nanostructure caractéristique qui recouvre la surface de ses feuilles. En 1991, les nanotubes de carbone ont été découverts au Japon: des macromolécules tubulaires en carbone pur (C), dix fois plus légères que l’acier, mais cent fois plus stables, dix mille fois plus fines que les cheveux humains et – selon leur structure – parfaitement adaptées comme conducteurs électriques ou semi-conducteurs. Aujourd’hui, les nanotubes de carbone sont principalement utilisés dans les matériaux composites, par exemple pour améliorer les propriétés mécaniques ou la conductivité électrique dans les batteries, les écrans électrostatiques ou les filtres. La production mondiale annuelle de ce nanomatériau s’élève déjà à plus de 15 000 tonnes! D’après Gröning, la découverte des nanotubes de carbone a fortement boosté la nanotechnologie et la science des matériaux.

**Le succès de la technologie révolutionnaire des couches minces**

Les possibilités pratiquement illimitées de conception de nanomatériaux sont rapidement devenues évidentes. Les chercheuses et chercheurs de l’Empa eux-mêmes se sont laissé gagner par l’enthousiasme: «Nous avons réalisé qu’il était possible de jouer indéfiniment avec la géométrie des nanostructures», dit Pierangelo Gröning. «Nous n’étions plus limités par la composition d’un matériau, mais nous pouvions lui conférer arbitrairement certaines propriétés en modifiant son architecture à l’échelle nanométrique.» Une propriété comme la dureté, par exemple. L’Empa développe entre autres des couches ultra minces et ultra dures, «plus dures que le saphir», explique Gröning. Elles peuvent être utilisées comme revêtement anti-usure ou comme revêtement de verre résistant aux rayures, par exemple sur les smartphones. Les interfaces jouent ici un rôle particulièrement important: si deux matériaux durs similaires sont assemblés, les différents réseaux cristallins des deux matériaux doivent s’adapter l’un à l’autre par étirement ou compression au niveau de la jonction. Cela peut provoquer des tensions mécaniques au niveau de l’interface. Les nanomatériaux ont une grande surface par rapport à leurs minuscules noyaux, ce qui signifie que «dans les matériaux nanostructurés, les interfaces occupent un très grand volume, d’où leur influence majeure sur les propriétés du matériaux», explique Gröning. Le revêtement est donc beaucoup plus dur que les deux matériaux d’origine, car la tension mécanique des interfaces apporte une contribution supplémentaire.

Dans la pratique, il existe déjà de nombreuses applications pour les couches minces et les revêtements nanostructurés. Par exemple, les composants de moteur des voitures économes en énergie doivent être recouverts d’un revêtement spécial pour assurer leur bon fonctionnement. Ces couches spéciales sont aussi utilisées pour les outils tels que les fraises et les forets afin d’augmenter considérablement leur durée de vie et la vitesse de coupe. Les fenêtres sont rendues éconergétiques ou antireflet grâce à des couches minces optiques. La technologie des couches minces est également remarquable dans le développement des cellules solaires: avec ses cellules solaires à couche mince diséléniure de cuivre-indium-gallium sur film polymère, l’Empa détient le record mondial d’efficacité des cellules solaires flexibles. En 2019, les chercheurs ont à nouveau battu leur propre record, avec une nouvelle note de 20,8%. La spin-off Flisom, qui a fabriqué et testé avec succès ces cellules solaires à couche mince en fonctionnement pilote, commencera la production en série en Hongrie en 2020. «Un succès sans précédent», déclare Pierangelo Gröning. Le fait qu’une nouvelle entreprise commence à fabriquer des cellules solaires en Europe est extrêmement remarquable, car le marché est fortement dominé par des fabricants d’Asie et d’Amérique du Nord. Les panneaux légers pourraient se placer sur les bâches de camions, les cabines de téléphériques ou les capots de moteurs et ainsi conquérir un nouveau marché et contribuer à la mobilité sans combustibles fossiles. Flisom travaille également avec des partenaires sur des projets pour l’industrie aérospatiale, tels que des drones solaires et des avions ou des voiles solaires.

**Jeune espoir de l’électronique: les nanorubans de graphène**

Roman Fasel dirige le laboratoire nanotech@surfaces de l’Empa. Comme Pierangelo Gröning, il vient de l’ancien groupe de doctorants de Louis Schlapbach de l’Université de Fribourg. Aujourd’hui, le nom de Roman Fasel et son laboratoire de nanotechnologie à l’Empa sont mondialement connus. Son travail de pionnier dans le domaine des nanostructures de carbone a ouvert la porte à l’électronique de demain.

Roman Fasel travaille avec le graphène, un «matériau miracle» d’atomes de carbone, synthétisé pour la première fois par deux chercheurs britanniques en 2004. Six ans plus tard, ils ont reçu le prix Nobel de physique pour leurs travaux. «La découverte du graphène a déclenché toute une avalanche d’activités de recherche, dont les nôtres», explique Fasel. Le graphène a le potentiel de remplacer le silicium traditionnel comme matériau semi-conducteur dans la miniaturisation en cours des composants électroniques. Le graphène se compose d’une couche mince d’atomes de carbone disposés en hexagones, qui rappellent les nids d’abeille. Le graphène est plus dur que le diamant, extrêmement résistant à la déchirure, imperméable aux gaz et hautement conducteur tant sur le plan électrique que thermique.

Depuis dix ans, Fasel et son équipe mènent des recherches sur la production de structures en graphène de précision atomique, plus précisément des nanorubans de graphène. Ceux-ci pourraient avoir des fonctions différentes selon la largeur des bandes et la disposition des atomes de carbone sur les bords. «Nous utilisons donc un matériau dont les propriétés ne sont pas données par sa composition – il s’agit toujours uniquement de carbone – mais qui est produit par la structure de ces bandes de graphène au niveau atomique», explique Roman Fasel. Un seul et même matériau – le graphène – peut ainsi se voir attribuer des tâches différentes en fonction de son design: devrait-il se comporter comme un métal? Doit-il avoir les propriétés d’un semi-conducteur ou d’un isolant? «Nous pouvons le déterminer par la géométrie à l’échelle nanométrique.»

Ce n’est pas si simple, bien sûr. Un seul coup d’œil aux laboratoires du sous-sol du département, où de grandes installations d’essais sont disposées en rangées, donne une idée de l’immense effort technique que représente cette recherche. «Nous travaillons avec la technologie de l’ultra-vide», explique Fasel. «C’est-à-dire que nous étudions les systèmes dans des conditions ultra-pures, sans interférence de l’air qui pourrait affecter les expériences.» Dans une expérience, par exemple, les molécules dites «précurseurs» sont évaporées sur un substrat dans un certain ordre, de sorte que les molécules s’agencent dans la structure souhaitée. Cette structure est ensuite analysée au microscope à effet tunnel. La recherche consiste en d’innombrables étapes intermédiaires, car chaque expérience ne révèle qu’une facette minuscule d’un matériau ou d’un système, dit Roman Fasel. «C’est comme regarder à travers un télescope une petite section d’un tableau dans un musée: on ne perçoit qu’une partie du puzzle.» Cependant, cela ne suffit pas pour une compréhension globale – pour cela, des théories et des simulations supplémentaires sont nécessaires. Le laboratoire nanotech@surfaces accueille donc non seulement de nombreux physiciens expérimentaux et des chimistes, mais aussi des physiciens théoriciens spécialisés dans les méthodes de simulation.

L’équipe de Fasel travaille avec des chercheurs de l’Université de Californie à Berkeley depuis de nombreuses années. Leur vision commune est de produire des transistors et autres composants électroniques à partir de nanorubans de graphène. C’est ainsi qu’une nouvelle plate-forme technologique doit être développée afin d’ouvrir la voie à l’utilisation du graphène dans l’industrie: les nanorubans de graphène comme principe universel pour les composants électroniques des futurs dispositifs informatiques. «A l’avenir, nous n’aurons pas seulement besoin de rubans individuels comme ceux-ci, mais d’un zoo entier», dit Roman Fasel. Cela prendra quelques années avant d’y parvenir car il y a encore beaucoup de problèmes à résoudre. Mais le potentiel est indéniable.

**Au cœur de l’industrie: le Coating Competence Center**

Beaucoup de choses sont déjà possibles aujourd’hui avec les matériaux nanostructurés. Sur le campus de l’Empa à Dübendorf, vous pouvez vous en rendre compte par vous-même au Coating Competence Center. Le centre de revêtement CCC de l’Empa, inauguré en 2016, permet d’adapter les technologies des surfaces des laboratoires de recherche aux applications industrielles commercialisables (voir aussi page xxx). Ce centre abrite diverses installations de revêtement pour les couches dures, la photovoltaïque flexible et l’électronique imprimée. Il dispose également d’imprimantes 3D pour matériaux métalliques et biocomposites. Les installations sont semblables à celles qu'utilise l'industrie, tout en pouvant être modifiées pour permettre aux chercheurs d’effectuer une analyse détaillée des processus. L’objectif est de faciliter le passage ultérieur à l’échelle industrielle et d’assurer ainsi à la Suisse une position avantageuse dans la concurrence internationale.

Le CCC se situe exactement à l’interface entre la recherche appliquée, telle qu’on la trouve dans de nombreux laboratoires de l’Empa, et l’application industrielle de technologies innovantes dans le domaine du revêtement. «Dans la science moderne des matériaux, il faut penser à la technologie des procédés dès le développement des matériaux», explique Pierangelo Gröning. Cette réflexion sur les applications et les matériaux possibles permet d’une part aux chercheurs de ne pas se perdre dans le gigantesque «terrain de jeu» des matériaux nanostructurés. D’autre part, elle aide les entreprises suisses à se familiariser avec les nouvelles technologies et à rester dans le coup.

En 2018, l’Empa a encore agrandi son parc d’installations CCC dans le domaine de l’électronique imprimée. «L’idée est d’imprimer des composants électroniques tels que des conducteurs, des transistors ou des condensateurs comme des lettres sur du papier journal», explique Gröning. Grâce au partenariat avec un fabricant américain qui a installé son siège sur le campus de l’Empa pour le développement de ses activités en Europe et en Asie, le centre dispose d’une installation de projection d’aérosols. Cette technologie peut être utilisée non seulement pour imprimer des documents plats, tel du papier journal, mais aussi des structures tridimensionnelles telles que des boîtiers.

Avec la numérisation croissante, l’acquisition et la fourniture de données deviennent de plus en plus importantes (voir aussi page xxx). L’électronique imprimée, avec sa capacité à appliquer des circuits électroniques, des moniteurs ou des capteurs pour un faible coût sur presque tous les supports possibles, ouvre un immense marché.

**L’impression 3D partout?**

Tout comme la nanotechnologie a changé la science des matériaux et le développement des matériaux, l’impression 3D devient de plus en plus importante dans les systèmes de fabrication. Contrairement aux méthodes de fabrication soustractives telles que le fraisage ou le perçage, l’impression 3D en tant que procédé additif peut être utilisée pour produire pratiquement tout type de structure complexe, ce qui permet à l’ingénieur de trouver des solutions totalement nouvelles. Dans le secteur médical, des centaines de milliers d’implants sont déjà produits sur imprimante 3D. Des turbines à gaz ou des moteurs d’avion avec des roues à aubes imprimées en 3D sont également testés intensivement en laboratoire. Certains vont déjà plus loin: en 2019, une entreprise d’Amsterdam a imprimé tout un pont piétonnier en acier. Cependant, ce n’est pas aussi simple qu’il n’y paraît: «Pour les spécialistes des matériaux, l’impression 3D est le défi ultime, dit Pierangelo Gröning, car elle combine la synthèse et la fabrication des matériaux en une seule étape.» Le processus de la science classique des matériaux – d’abord le développement du matériau, puis la fabrication de la pièce et ensuite son insertion dans le produit – n’existe plus dans le monde de l’impression 3D. Techniquement parlant, c’est impressionnant. Pour Pierangelo Gröning, des questions fondamentales se posent néanmoins: qu’en est-il de la gestion de la qualité de ces produits, par exemple? «Comment puis-je m’assurer que le matériel soit en bon état? Comment puis-je vérifier que l’impression s’effectue correctement à un emplacement Y lorsque les données d’impression sont envoyées d’un emplacement X éloigné?»

Dans le bureau de Pierangelo Gröning est accrochée l’image d’un pont métallique dont le bout inachevé flotte au-dessus d’un étang. Il est en train d’être imprimé. On ne voit personne sur la photo. L’image n’est peut-être pas réelle, mais elle le fait réfléchir tous les jours. «Par exemple, je me demande ce que c’est que ce pont qu’aucun être humain n’a touché. Qu’est-ce que ça me fait à moi, ingénieur? Est-ce qu’on aura encore besoin de moi? Vers quoi se dirige-t-on avec cette numérisation?»

Pierangelo Gröning laisse les questions en suspens dans cette pièce. L’avenir y répondra.

((Ajouts au chapitre 1))

((Ajout 1))

**Des bâtiments écologiques**

• La Suisse va fortement développer le **photovoltaïque**. L’Office fédéral de l’énergie estime que le potentiel d’énergie solaire sur les toits et façades des bâtiments en Suisse est d’environ 67 térawattheures par an, soit plus que l’électricité consommée aujourd’hui en Suisse. Dans le domaine des cellules solaires, la tendance est aux cellules solaires à couches minces flexibles. Depuis des années, la recherche de l’Empa est à la pointe de ce développement: en 2019, le laboratoire Thin Films and Photovoltaics a atteint un nouveau record de rendement de 20,8% avec sa nouvelle génération de cellules solaires minces et flexibles, qui peuvent être produites sur des rouleaux, à l’instar des films d’emballage. En d’autres termes, une cellule peut convertir plus d’un cinquième de l’énergie lumineuse incidente en énergie électrique.

La spin-off Flisom, basée à Niederhasli, dispose d’une installation pilote à laquelle participe l’Empa. Ces cellules solaires flexibles peuvent également être conçues en deux couches, sous la forme de cellules dites tandem. Cela permet théoriquement d’atteindre des rendements supérieurs à ceux des cellules solaires conventionnelles en silicium.

• Le problème des systèmes solaires est qu’ils produisent souvent de l’énergie justement quand elle ne peut pas être utilisée. C’est pourquoi le **stockage local en batteries** est nécessaire pour l’énergie solaire. Le laboratoire Materials for Energy Conversion de l’Empa se consacre à cette mission avec de nombreuses activités de recherche. Les chercheurs travaillent par exemple sur une version plus puissante de la batterie lithium-ion éprouvée et sur des batteries solides qui pourraient remplacer la technologie actuelle à moyen terme. Pour le stockage de l’électricité dans les maisons ou les quartiers urbains, des batteries à sels fondus comme la batterie sodium-chlorure de nickel pourraient être utiles. Il s’agit de matériaux peu coûteux et répandus qui ne se raréfient pas particulièrement rapidement.

• Plus de la moitié de l’énergie suisse est utilisée pour produire de la chaleur. Outre les batteries, des **accumulateurs de chaleur saisonniers** sont également indispensables afin de stocker la chaleur produite en été et de la rendre disponible à la consommation en hiver. Dans le cadre du projet de recherche européen COMTES, des groupes de recherche de plusieurs pays ont testé différentes technologies de stockage; l’Empa a bien sûr participé à cette vaste expérience. Une équipe du laboratoire Urban Energy Systems a développé un système de stockage et de chauffage à base d’hydroxyde de sodium concentré (NaOH): au contact avec de l’eau (H2O), une réaction se produit et génère de la chaleur. Le système de chauffage développé par les chercheurs de l’Empa fonctionne ainsi: en été, l’hydroxyde de sodium (ou soude caustique) est «concentré» avec l’énergie solaire, c’est-à-dire chargé et stocké jusqu’en hiver. En hiver, lorsqu’il faut chauffer, la solution de soude caustique est déchargée. Elle est conçue pour absorber la vapeur d’eau, libérant ainsi de la chaleur dans le bâtiment. Les chercheurs testent actuellement le système dans une installation d’essai de bonne taille sur le campus de l’Empa. L’Office fédéral de l’énergie juge cette approche prometteuse.

((Ajout 2 si possible avec illustration))

**Mobilité écologique**

• Le **Power-to-Gas** désigne la conversion de l’électricité en agent énergétique chimique tels que l’hydrogène ou le méthane. Dans une première étape, l’eau est convertie en hydrogène (H2) et en oxygène (O2) par électrolyse. L’hydrogène peut alors être utilisé soit directement, soit converti en méthane (CH4) avec du dioxyde de carbone (CO2) au cours d’une deuxième étape. La technologie Power-to-Gas est particulièrement adaptée à l’utilisation d’électricité excédentaire – par exemple à partir d’installations photovoltaïques. L’avantage du méthane est qu’il peut être stocké dans le réseau gazier existant pendant des mois et peut également être utilisé lorsque la production d’électricité est réduite selon la saison, c’est-à-dire en hiver.

• Des chercheurs de l’Empa, de l’Institut Paul Scherrer (PSI) et d’autres institutions ont calculé le **potentiel du Power-to-X** dans un livre blanc remis à la Commission fédérale pour la recherche énergétique. L’étude souligne l'intérêt pour la stratégie énergétique de la Suisse des technologies de conversion et de stockage de différentes formes d’énergie. La conversion des excédents d'électricité par la technique Power-to-Gas semble particulièrement indiquée dans le secteur de la mobilité, son coût énergétique étant relativement faible par rapport aux coûts totaux. Il y a également une forte pression politique pour réduire les émissions de CO2 liées à la mobilité.

Les **e-carburants** permettent également le passage aux énergies renouvelables pour les véhicules à essence et diesel: l’électricité produite de manière durable doit d’abord être convertie en hydrogène (H2). Celui-ci est ensuite transformé en carburant synthétique à l’aide du procédé Fischer-Tropsch qui extrait le CO2 de l’air. Ces e-carburants sont produits et testés par des chercheurs de l’unité move.

•Les **voitures électriques et les véhicules hybrides rechargeables** sont les plus respectueux de l’environnement car ils utilisent une électricité produite de manière durable stockée dans des batteries lithium-ion. En 2019, près de 40 000 véhicules électriques circulaient sur les routes suisses, soit près d’un pour cent de l’ensemble du parc automobile. Mais l’offre et la demande explosent en ce moment. D’ici 2020, presque tous les grands constructeurs automobiles lanceront sur le marché des modèles à moteur électrique; jamais auparavant le choix de voitures électriques n’a été aussi large.

((Ajout 3))

**De l’énergie en altitude**

Si vous avez déjà joué avec un cerf-volant, vous connaissez cette sensation: le vent s’en empare et tend la ligne; vous lâchez un peu la ligne et elle vous file entre les doigts et s’emballe. Cette énergie folle pourrait-elle être utilisée pour produire de l’électricité, en plus de nous faire jouer? Oui, c’est possible. C’est ce qu’a démontré la spin-off de l’Empa TwingTec, fondée en 2013.

A 500 mètres de hauteur, le vent souffle jusqu’à huit fois plus fort qu’à 120 mètres , ce qui correspond à la hauteur du moyeu des éoliennes modernes. Un cerf-volant relié par un filin à un tambour couplé à un générateur pourrait exploiter ce vent en se faisant emporter vers le ciel dans un mouvement hélicoïdal. Lorsque le filin serait entièrement déroulé, le cerf-volant redescendrait vers son point d’attache, laissant le filin se ré-enrouler autour du tambour, après quoi le cerf-volant reprendrait son ascension.

L’idée initiale était d’utiliser un cerf-volant dirigeable renforcé à l’air comprimé. Mais après avoir étudié une série de prototypes, les chercheurs se sont réorientés vers une structure à ailes rigides. La commande multi-filins a été abandonnée en faveur d’une commande à volets de type avion. Pour le décollage et l’atterrissage, TwingTec utilise de petits rotors, semblables à ceux d’un drone. En 2014, TwingTec a obtenu un brevet innovant sur le décollage et l’atterrissage des cerfs-volants producteurs d’électricité, actuellement enregistré dans plusieurs pays.

Il y a cependant peu de chances que les cerfs-volants envahissent le Plateau suisse. Les clients potentiels de cette forme de production d’énergie durable se trouvent dans des zones reculées telles que les mines, les communautés isolées et les îles. Autant d’endroits qui utilisent actuellement des générateurs diesel bruyants, polluants et dont le carburant doit être acheminé au prix fort. Des cerfs-volants TwingTec autonomes permettraient d’économiser du carburant et, à moyen terme, de produire l’intégralité de l’énergie nécessaire. A long terme, les plans de TwingTec sont encore plus ambitieux: installer des parcs flottants de cerfs-volants sur la mer. La place et le vent n’y manquent pas, et personne n’est dérangé. Ce sont précisément les conditions idéales pour engager la révolution énergétique.

((Ajout 4))

**Isolation par aérogel**

L’aérogel est un excellent matériau isolant: constitué de petites bulles d’air microscopiques, il résiste à une chaleur allant jusqu’à 600 degrés, est super léger, non toxique et constitue un excellent isolant thermique. Le seul inconvénient est que la production d’aérogel est coûteuse et complexe. Mais cela devrait bientôt changer... En effet, l’Empa travaille actuellement avec un partenaire industriel pour adapter le processus de fabrication à une production industrielle moins coûteuse. Cela rendrait l’aérogel abordable pour tous.

((Ajout 5))

**Le champignon, formidable assistant dans la finition du bois**

Le bois est un matériau très apprécié, que ce soit pour les instruments, les meubles ou même comme matériau de construction. Mais les possibilités sont loin d’être épuisées, comme le prouvent quotidiennement les chercheurs du laboratoire de recherche appliquée sur le bois de l’Empa. Ce que l’on appelle la fonctionnalisation – c’est-à-dire le fait de conférer au bois de nouvelles propriétés – contribue à ce que le bois puisse être utilisé à des fins jusqu’alors impensables, comme le bois magnétique ou le bois aux propriétés hydrofuges. Cela profite non seulement à l’environnement – car l’utilisation du bois en tant que matière première renouvelable et locale présente de nombreux avantages – mais aussi à d’autres applications nouvelles. Par exemple, quand on peut profiter des sons d’un violon Stradivarius sans pour autant posséder un vrai Stradivarius. Francis Schwarze, chercheur à l’Empa, a réussi à utiliser un champignon pour traiter le bois de manière à ce qu’aucune différence ne puisse être perçue entre le son d’un Stradivarius authentique et celui d’un violon fabriqué avec ce bois traité avec un champignon. Au contraire, lors d’essais acoustiques à l’aveugle, le violon du laboratoire de biotechnologie a même obtenu de meilleurs résultats dans certains cas. Le champignon, qui permet cette transformation miraculeuse, provoque généralement ce qu’on appelle la moisissure blanche, mais il transforme les essences d’érable et d’épicéa nécessaires à la lutherie de telle sorte qu’elles ressemblent à s’y méprendre au bois d’un Stradivarius.

**Des espèces indigènes plutôt que du bois noble importé**

Mais l’utilisation d’essences locale dans la fabrication d’instruments est loin d’être épuisée. Les chercheurs de l’Empa ont mis au point une méthode de traitement de l’érable sycomore qui rend l’aspect et les propriétés de son bois pratiquement similaires à ceux de l’ébène, désormais protégée. Entre-temps, l’équipe a utilisé les résultats de ses recherches pour fonder la spin-off Swiss Wood Solutions, qui produit entre autres des touches pour instruments à cordes extrêmement robustes et esthétiques. Mais les possibilités vont encore plus loin: des clarinettes aux accessoires pour appareils photo haut de gamme en passant par les épées de Kendo, l’équipe d’Oliver Kläusler peut désormais produire (presque) tout à partir d’essences locales, là où l’on utilisait auparavant des bois nobles, désormais menacés ou même illégaux.

Le bois marbré produit dans les laboratoires de l’Empa est également très esthétique. Dans la nature, les champignons qui peuplent le bois mort génèrent grâce à leurs pigments un motif captivant de couleurs et de lignes. Mais même lorsqu’on laisse délibérément pourrir les troncs d’arbres dans la forêt, il faut attendre des années avant de pouvoir espérer obtenir du bois qui a été ornementé avec ces champignons et qui peut encore être utilisé. Hugh Morris, chercheur à l’Empa, et son équipe ont mis au point une technologie qui permet de traiter des bois durs comme le hêtre, le frêne et l’érable avec des cultures de champignons afin de contrôler les motifs dans le bois. Ce bois marbré obtenu en laboratoire peut également être transformé en instruments ou même en meubles et objets décoratifs.

*Les violons en bois traité par des champignons lignivores ont prouvé leur potentiel même dans des conditions scientifiques.*

**((Ajout 6))**

**Pour boucler la boucle**

Ordinateurs, téléphones portables, tablettes... Ce qui est à la pointe de la technologie aujourd’hui sera de la ferraille électronique demain et finira parmi les déchets ou sous une couche de poussière dans un tiroir. Mais depuis que les sacs plastiques réutilisables ont remplacé ceux à usage unique dans les magasins, toutes sortes d’idées autour du recyclage et du réemploi germent dans les consciences. Il s’agit du concept d’économie circulaire. Ce terme a été inventé dans les années 1990. Il décrit une économie dans laquelle tout type de déchet, sous-produit ou surplus est considéré soit comme un aliment, soit comme une matière première pour un nouveau cycle de production. Comme nos ressources naturelles sont limitées, cette pensée circulaire deviendra tôt ou tard une nécessité.

Depuis la fin des années 70, l’Empa utilise des méthodes d’analyse du cycle de vie (ACV) ou éco-bilan. Les évaluations du cycle de vie peuvent être utilisées pour quantifier l’impact environnemental des matériaux, des technologies et des produits tout au long du processus et de la chaîne de valeur. Aujourd’hui, le laboratoire Technologie et société de l’Empa est l’une des premières institutions au monde à développer cette méthode, par exemple avec l’évaluation du caractère durable d’une économie à flux circulaire.

Le secteur de la construction consomme énormément de ressources. Il est responsable d’environ 60 pour cent de la consommation mondiale de matériaux et génère en même temps environ 50 pour cent des déchets de masse. Certains matériaux, comme le sable, viennent à manquer. Il est donc urgent de repenser le recyclage dans ce secteur. Le concept est très simple: les matériaux ne sont pas utilisés une seule fois et éliminés après démolition, mais ne sont retirés du cycle des matériaux que pendant un certain temps et y retournent sous une forme identique ou différente après utilisation.

Dans NEST, le bâtiment de recherche et d’innovation du campus de l’Empa à Dübendorf (voir page xxx), l’unité Urban Mining & Recycling a poussé ce concept d’économie circulaire à l’extrême: tous les matériaux de cet appartement trois pièces peuvent être clairement séparés par type et, après démontage, réutilisés, recyclés ou compostés. L’unité, conçue par les chercheurs et architectes allemands Werner Sobek, Dirk E. Hebel et Felix Heisel, est opérationnelle depuis le printemps 2018 et est habitée depuis lors par deux personnes.

Mais à quel point ces matériaux recyclables et réutilisables sont-ils vraiment durables? Pour répondre à cette question, les experts en ACV de l’Empa sont intervenus en prenant l’exemple de l’unité NEST. Leurs conclusions? En ce qui concerne les besoins énergétiques et l’impact environnemental, les matériaux et les méthodes de construction utilisés ont donné de bien meilleurs résultats que ceux d’une construction en béton conventionnelle.

*L’unité NEST Urban Mining & Recycling utilise des briques fabriquées à partir de déchets de construction. Photo: Empa*

((Ajout 7))

**La propagation du bruit**

Les chercheurs de l’Empa s’intéressent aux émissions polluantes, mais aussi aux émissions sonores. Du bruit de la circulation routière et aérienne au bruit industriel en passant par le bruit des éoliennes ou des terrains de sport, ils étudient comment les sources sonores perturbatrices apparaissent et se propagent à l’extérieur et cherchent aussi savoir comment elles affectent les gens. L’AuraLab de l’Empa modélise des bruits synthétiques et réalisent des expériences psychoacoustiques.

Dans le passé, il était possible d’estimer seulement de manière approximative l’impact de la pollution sonore des trains sur les habitants. Désormais, l’Empa utilise un logiciel développé par l’une de ses équipes, qui simule de manière réaliste la composition du bruit d’un train et la façon dont les gens le perçoivent. Les conditions locales et la propagation sonore jouent un rôle important. Le simulateur de l’Empa en tient compte et permet de planifier des mesures de protection contre le bruit adaptées pour la construction et l’extension de projets ferroviaires.

((Ajout 8))

**La nanoélectronique sur mesure**

Le graphène est un matériau constitué d’une seule couche d’atomes de carbone hexagonaux. Ce matériau revêt une importance particulière dans les nanosciences, notamment en nanoélectronique, grâce à ses propriétés électroniques particulières. Mais il devient vraiment intéressant lorsque sa largeur est réduite à quelques atomes pour devenir ce que l’on appelle des nanorubans de graphène. Alors que le graphène lui-même est un conducteur électrique, sous forme de nanorubans il peut devenir un isolant ou même un semi-conducteur. Sous la direction de Roman Fasel, les chercheurs de l’Empa et leurs partenaires sont parvenus à créer des rubans à partir de molécules dites précurseurs dotées d’une structure atomique très précise. Cette méthode dite ascendante permet de «faire croître» des nanorubans de graphène avec une largeur, une forme et une structure périphérique définies avec précision. Ce sont ces détails qui déterminent les propriétés électroniques des rubans. Si chaque atome est à sa place, le matériau devient un semi-conducteur. La «bande interdite», autrement dit la zone dans laquelle aucun électron ne peut se trouver et qui confère à ce matériau ses propriétés semi-conductrices pour fonctionner comme un commutateur électronique, serait suffisamment large pour en faire un élément potentiellement central des nanotransistors. Avec les nanobandes produites par les chercheurs de l’Empa, il serait possible de produire des transistors 1000 fois plus petits que ceux d’aujourd’hui. Cependant, d’autres possibilités peuvent également être présentées, par exemple dans le domaine de la spintronique ou même de l’informatique quantique, c’est-à-dire de l’électronique basée sur des phénomènes physiques quantiques qui pourraient permettre des logiques tout à fait nouvelles.

**((Ajout 9))**

**Numérisation**

La numérisation, qui joue un rôle de plus en plus important dans notre vie quotidienne, fait également partie intégrante de la recherche à l’Empa. Qu’il s’agisse de simulations, de systèmes auto-apprenants (Machine Learning) ou d’intelligence artificielle (IA), les processus informatiques complexes font partie du quotidien de l’Empa, par exemple sous la forme de capteurs intelligents, de drones autonomes ou dans la construction robotisée.

Le Digital Hub ajoute la dimension numérique au parc de démonstration de l’Empa. Il offre une plate-forme pour le développement et l’expérimentation de nouvelles solutions numériques dans les secteurs du bâtiment, de l’énergie et de la mobilité. Parmi les thématiques abordées, on trouve notamment l’intelligence artificielle pour optimiser le fonctionnement des systèmes énergétiques, la réalité virtuelle pour la planification de la construction ou des technologies blockchain pour la libéralisation à venir du marché de l’énergie.

Cependant, l’intelligence artificielle, la simulation par ordinateur et l’analyse de grandes quantités de données jouent également un rôle décisif dans la recherche classique sur les matériaux. Au lieu de simulations purement expérimentales, les chercheurs utilisent de plus en plus les simulations moléculaires pour prédire les propriétés que peuvent revêtir les fibres polymères ou le bois, modifié biochimiquement par des enzymes. Les programmes informatiques auto-apprenants sont conçus pour reconnaître des modèles à l’aide de données déjà connues. Cela permet de saisir de nouvelles données pour prédire les propriétés d’un matériau qui n’existe même pas, mais aussi de simuler d’éventuelles réactions chimiques sur ordinateur et de réduire ainsi considérablement le nombre d’expériences réelles lors de la synthèse de nouvelles liaisons chimiques. Cela permet donc d’économiser du temps et de l’argent.

Dans la recherche sur le bruit, les chercheurs de l’Empa ne travaillent plus uniquement avec des sons réels. Pour mieux comprendre le bruit des trains, par exemple, et pour savoir où une optimisation acoustique est nécessaire, les chercheurs de l’Empa ils parviennent à simuler un train qui passe. Chacune des plus de 100 sources de bruit du train est calculée individuellement, comme les roues, les rails, la ventilation et le moteur. Les influences de l’environnement telles que l’état des voies ou la présence de murs antibruit peuvent également être activées ou désactivées. De cette façon, les chercheurs peuvent montrer exactement quels paramètres de la source complexe de bruit «train» peuvent être optimisés, c’est-à-dire rendus plus silencieux.

La numérisation entraîne également un changement de paradigme majeur dans la recherche médicale, par exemple avec l’idée d’un «sosie virtuel», c’est-à-dire une image numérique d’un patient sur laquelle les applications médicales et leurs bénéfices thérapeutiques peuvent être simulés.

((Ajout 10 🡪 emplacement?))

**Recherche sur les batteries à l’Empa**

Les batteries lithium-ion ont révolutionné nos vies. Sans ce puissant système de stockage d’énergie, il n’y aurait pas d’ordinateurs portables, de smartphones, de voitures électriques, ni de batteries de stockage pour l’énergie solaire. La recherche avait duré presque deux décennies avant que Sony ne lance avec succès la batterie lithium-ion en 1991. Et ensuite?

L’Empa mène depuis un certain temps déjà des recherches intensives sur la prochaine génération de batteries. La recherche concerne tous les composants de la batterie: le matériau de la cathode (pôle positif), le matériau de l’anode (pôle négatif) et l’électrolyte par lequel passent les porteurs de charge (les ions) lorsque la batterie se recharge ou se décharge.

Un groupe de recherche s’intéresse plus particulièrement au développement de la technologie lithium-ion. Par exemple, la proportion de cobalt dans les cathodes peut être réduite et remplacée par du nickel, ce qui d’une part réduit les coûts et d’autre part réduit la dépendance vis-à-vis des fournisseurs des régions politiquement instables. Mais ces oxydes riches en nickel doivent en outre être stabilisés par l’introduction d’atomes individuels d’autres éléments et par des électrolytes appropriés, sans quoi la durée de vie de la batterie diminue. Une autre équipe de recherche travaille sur des batteries à électrolyte liquide à base de solutions salines. Ces accumulateurs seraient peu coûteux et non inflammables.

De nombreux experts voient un énorme potentiel dans les batteries à semi-conducteurs. Elles ont une anode en métal au lieu de graphite, qui est reliée à un électrolyte à l’état solide à travers lequel passent les ions. D’une part, elles ne seraient pas inflammables et d’autre part, elles seraient beaucoup plus efficaces que les piles lithium-ion actuelles. A l’Empa, plusieurs groupes de recherche travaillent sur des composants pour ce type de batteries solides.

A l’avenir, le stockage de l’énergie solaire sur site nécessitera des batteries particulièrement bon marché et durables à la fois, qui pourront être produites à partir de matières premières disponibles en abondance. La batterie à sels fondus à base de chlorure de sodium (sel ordinaire) et de nickel convient à cet effet. Elle fonctionne à des températures relativement élevées d’environ 300 °C et contient un électrolyte solide fait d’alumine de sodium céramique. Les chercheurs de l’Empa travaillent à augmenter les performances et la durée de vie des batteries à sels fondus.