

Première partie : Voyager dans le temps ou l'espace

De l'astrochimie à l'exobiologie : un fil directeur vers la vie

Yves Ellinger et Jean-Claude Guillemin

Le milieu interstellaire est un extraordinaire laboratoire. C'est là où a commencé à se tisser la trame de la complexité. Dans des réacteurs dont la température flirte avec le zéro absolu, une étonnante chimie se déploie avec une lenteur déroutante. Comme le rappellent Yves Ellinger et Jean-Claude Guillemin « *l'existence même de ces chimies est d'autant plus étonnante que, dans le milieu interstellaire, un atome ou une molécule rencontre une autre molécule tous les 1 000 à 10 000 ans, un photon tous les 1000 ans, un électron tous les 100 ans.* » Et pourtant, des réactions ont bien lieu, et celles-ci ont peut-être posé les bases de la vie sur une petite planète bleue aux confins de la Voie Lactée.

Une des grandes énigmes de la vie vient-elle de l'espace interstellaire ?

Cornelia Meinert

Et si les molécules élémentaires qui ont permis à la vie d'éclorre sur Terre s'étaient formées ailleurs ? L'astrochimiste Cornelia Meinert nous explique cette hypothèse qui nous emmène bien au-delà du système solaire. « *Les composants de base de la biologie pourraient se former dans les glaces interstellaires présentes dans les nébuleuses, ces régions de l'espace où naissent les étoiles.* ». Bien des questions restent encore ouvertes. Mais elles pourraient déboucher sur cette idée puissante : et si nous étions tous des extra-terrestres ?

Les secrets des plus vieux parfums du monde

Nicolas Baldovini

« *La chimie a permis d'élargir l'horizon olfactif du grand public* » affirme Nicolas Baldovini. En effet, celle-ci a permis de recréer des fragrances comme l'ambre gris ou le musc qui, autrement, resteraient hors de portée du commun des mortels. De plus, en analysant les arômes naturels, les chimistes ont apporté de nouveaux ingrédients aux parfumeurs. La rencontre fructueuse entre la chimie et l'art du parfumeur est une histoire pleine de mystères et de découvertes, comme celle des composés aromatiques de l'encens, ce « *parfum mystique et fascinant qui accompagne l'Homme depuis la nuit des temps.* »

La vocation chimique de Marie-Anne Paulze (1758-1836)

Alain Sevin

En 1771, à l'âge de 13 ans, Marie-Anne Paulze devient l'épouse d'un fermier général du Roi, un certain Antoine Lavoisier. Pour la science, ce mariage s'avérera exceptionnellement fructueux. Cette femme hors du commun partagera dès lors, le destin et les recherches de son illustre mari. Alain Sevin nous esquisse ici la vie de cette chimiste qui a participé à quelques-unes de découvertes les plus importantes du XVIII^e siècle. « *Dans les cahiers de laboratoire l'écriture des deux époux se mêle, et on l'y trouve associée à la caractérisation de l'oxygène, à la découverte de l'hydrogène et au mécanisme de la respiration.* ». Son œuvre et sa vie, marquée par la mort de Lavoisier sous la guillotine, ont exercé une influence durable sur la chimie moderne.

Mystères moléculaires au musée

Caroline Tokarski et Julie Arslanoglu

La signature d'un artiste, ce n'est pas si difficile à imiter. Voilà pourquoi le monde de l'art se tourne vers une autre signature : la signature moléculaire. Les biomolécules constitutives d'une œuvre d'art peuvent renseigner sur son origine géographique, son ancienneté, les techniques utilisées à sa fabrication, ou encore, les conditions de conservation au cours du temps. Caroline Tokarski et Julie Arslanoglu nous donnent un aperçu de la puissance de ces techniques qui permettent de révéler quelques-uns des secrets qui se cachent derrière les tissus égyptiens ou les dessins de Thomas Gainsborough. Ainsi, la chimie des œuvres d'art nous donne-t-elle « *des indices sur des questions allant de l'importance de la sélection des matériaux par les artistes jusqu'aux interactions entre cultures et peut même aider à appréhender la fragilité des objets* ».

Retrouver la chimie du passé

Philippe Walter

Pour élaborer des pigments, médicaments ou alliages métalliques, les chimistes des temps anciens connaissaient des procédés d'une sophistication étonnante. Aujourd'hui, les chimistes modernes s'efforcent de remonter le temps pour découvrir leurs secrets. Ils font appel, pour cela, à des techniques de pointe. Comme le rappelle Philippe Walter, « *toutes les méthodes de caractérisation sont aujourd'hui employées : elles s'étendent des très grandes infrastructures de recherche (rayonnement synchrotron ou sources de neutrons) aux instruments miniaturisés et portables, en passant par les techniques de laboratoire* ». Ainsi, grâce à ces recherches, c'est tout un pan de l'histoire des savoirs et techniques qui s'ouvre aux chercheurs.

Jean-Baptiste Dumas et le cœur embaumé de Saint Louis

Philippe Charlier

En 1843, le savant Jean-Baptiste Dumas participe à l'étude d'un étrange objet découvert à la Sainte-Chapelle. Il s'agit d'un cœur embaumé enfermé dans une double boîte de plomb. Bientôt, il présente ses conclusions à l'Académie des Sciences : c'est le cœur de Saint-Louis, conservé à l'aide de baumes, d'aromates et de bitume, selon l'usage médiéval. Dans ce texte, Philippe Charlier revient sur la vie et l'œuvre d'un homme de science comme seul le XIX^e siècle savait en produire. « *C'est un naturaliste, au sens où son savoir englobe de nombreuses spécialités : pharmacie, physiologie, chimie...* ». Pionnier de la chimie organique, ministre sous Napoléon III, découvreur du rôle fécondant des spermatozoïdes, maître d'un certain Louis Pasteur, Jean Baptiste Dumas était véritablement un « *touche à tout de génie* ».

Une brève histoire de l'urée : de sa découverte à son dosage

Bernard Bodo

En 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler réussit un tour de force inédit : à partir de deux composés inorganiques, il fabrique de l'urée, un composé organique. « *C'est un scoop, c'est un cap, c'est une révolution !* », écrit Bernard Bodo. En effet, c'est le moment où les composés organiques perdent leur mystère. Plus besoin, pour expliquer leur synthèse, de faire appel à une quelconque « *force vitale* ». Cette découverte, dans laquelle le hasard a joué le beau rôle, n'est « *rien de moins que l'acte de naissance de la chimie organique moderne.* »

L'épice de Dune : des molécules pour voyager dans le temps et l'espace

Fabrice Chemla

Dans le cycle de Dune, chef d'œuvre de la science-fiction, Frank Herbert a imaginé une substance qui stimule l'intelligence et la perception, allonge la vie et permet d'entrevoir les futurs possibles. Cette substance, l'Épice, n'est-elle qu'une simple création fictionnelle ? Pas si sûr, argumente Fabrice Chemla. « *Nombre d'effets de l'Épice décrits dans Dune sont analogues à ceux résultants de certaines substances terrestres : euphorie, communion et extase collectives, expérience de mort imminente ou coma, extension psychokinétique* ». Les drogues hallucinogènes ont souvent été considérées comme un moyen immédiat d'ouvrir les portes de la conscience... avant que l'on en découvre les dangers.

Borodine : des notes de musique et de chimie

Francis Teyssandier

« *Surnommé le petit chimiste mais célèbre musicien, Alexandre Borodine a été partagé entre ses deux passions* ». Francis Teyssandier nous brosse ici le portrait d'un homme qui se croyait plus chimiste que musicien, et qui, pourtant, restera dans l'histoire comme l'un des grands compositeurs romantiques russes du XIX^e siècle. Pas question pour autant d'oublier son œuvre scientifique. Spécialiste des aldéhydes, pionnier de la synthèse des composés organo-fluorés, Borodine a côtoyé les plus grands noms de la chimie et de la biologie : Mendeleïev, Bunsen, Pasteur... Il a, en outre, été l'un des fondateurs de l'école de médecine pour femmes à Saint-Pétersbourg. Avec Borodine, la preuve est faite qu'un homme peut servir à la fois la science et les arts.

Des images fortes et ambivalentes

Bernadette Bensaude-Vincent

L'image de la chimie dans l'opinion publique a bien changé au cours du temps. Au début du XX^e siècle, elle incarnait l'abondance et le progrès grâce aux produits modernes et bon marché qu'elle produisait. Exemples ? Les bas de nylon, les tupperware et le formica. Puis, comme l'explique Bernadette Bensaude-Vincent, l'image de la chimie s'est écornée, en particulier à cause de l'inquiétude suscitée par la pollution. « *Les produits chimiques ne sont jamais neutres, en un double sens : ils opèrent au niveau matériel sur la nature, où ils ont la capacité d'améliorer comme d'altérer le monde habité ; ils opèrent également au niveau spirituel sur la culture, où ils ont la capacité de susciter l'enthousiasme, voire l'euphorie, autant que la crainte et le rejet.* »

Deuxième partie : Observer et protéger notre environnement

Les secrets dévoilés des stratégies végétales

Claude Grison

Anthyllis vulneraria : c'est le nom latin d'une plante étonnante qui peut croître sur des terrains toxiques, riches en zinc, cadmium et plomb. Mieux encore : elle est capable d'extraire le zinc du sol, de l'accumuler dans ses feuilles et d'enrichir le sol en azote. Voilà pourquoi des chercheurs ont choisi cette légumineuse pour mener la restauration des sols du site minier d'Avinières. Comme l'illustre ici Claude Grison, le rapprochement entre

écologie et chimie « *permet d'apporter des réponses pertinentes à l'échelle moléculaire aux grands problèmes environnementaux* ».

À la surface des océans

Christian George

Par temps calme et vent modéré, une véritable *peau* se forme à la surface de l'océan. Celle-ci est composée de molécules organiques produites par les microorganismes marins. Les chercheurs commencent à peine à mesurer toute l'importance de cette fine couche de lipides, polysaccharides et acides gras. « *Quelques micromètres de matière organique à la surface des océans ont une influence majeure sur notre environnement* », explique Christian George. En effet, cet épiderme contrôle des phénomènes aussi importants que l'évaporation, les échanges de matière entre l'océan et l'atmosphère, voire la formation des nuages.

La chimie des nuages

Anne Marie Delort

Cumulus, cirrus ou nimbostratus, les nuages sont de formidables réacteurs chimiques. Là-haut, des composés issus des émissions naturelles ou produits par les activités humaines interagissent et se transforment. Plus étonnant encore, les gouttelettes d'eau logées dans les nuages sont des oasis de vie qui abritent bactéries, levures et champignons. Les chercheurs tentent de mesurer l'influence de ces microorganismes sur la chimie des nuages. L'enjeu est de taille, comme nous le rappelle Anne-Marie Delort : « *au-delà d'un besoin de connaissance fondamentale de la chimie dans les nuages, leur compréhension doit contribuer à mieux diagnostiquer la qualité de l'air et mieux prédire l'évolution du climat.* »

Face à un océan de complexités

Grégory Genta-Jouve et Olivier P. Thomas

L'océan, origine de la vie sur Terre, abrite 34 des 36 grands groupes d'organismes qui constituent l'arbre du vivant. Il est aussi le réservoir d'une infinité de molécules actives. Aux organismes qui les synthétisent, ces substances servent d'armes d'attaque ou de défense. Les chimistes s'intéressent de près à ces molécules. Pour des raisons environnementales d'une part, vu que certaines microalgues et cyanobactéries toxiques peuvent mettre en péril des écosystèmes entiers. Mais aussi pour des raisons médicales. Comme l'expliquent Grégory Genta-Jouve et Olivier P. Thomas, « *les métabolites marins ont attiré l'intérêt des entreprises pharmaceutiques du fait de leurs bioactivité et modes d'action originaux.* » Une raison de plus pour protéger la biodiversité de l'océan.

Dessaler l'eau de mer

Mihail Barboiu

Tous les jours, cent millions de mètres cubes d'eau de mer sont dessalés pour subvenir aux besoins des pays dont les ressources en eau douce ne suffisent pas. Mais cette opération est très coûteuse en énergie et participe du changement climatique. Augmenter les performances des membranes servant à dessaler l'eau est donc un enjeu majeur. Pour y parvenir, les chercheurs s'inspirent de la nature et, plus particulièrement, de certains canaux membranaires appelés *aquaporines*. Ces recherches voient déjà plus loin que la seule production d'eau douce. Comme nous le rappelle Mihail Barboiu, les canaux artificiels pourraient servir à « *la production d'eau ultra-pure nécessaire à la fabrication des vaccins ou des composants de la microélectronique.* »

Photosynthèse artificielle : transformer le soleil en carburants

Marc Fontecave

Les végétaux utilisent l'énergie solaire pour transformer le CO₂ de l'atmosphère en molécules carbonées qui constituent la biomasse qui nous entoure. Peut-on imaginer faire de même ? Oui, répond Marc Fontecave pour qui « *le processus naturel de la photosynthèse constitue une source d'inspiration* ». Le but des chercheurs est de coupler efficacement des panneaux solaires à un électrolyseur pour transformer le CO₂ en hydrocarbures, carburants et autres molécules carbonées. Voici donc les premiers fruits de cette quête d'une plante artificielle.

CO₂ (mon amour) : une inattendue matière première renouvelable

Marc Robert

« *Pourquoi ne pas concevoir le CO₂ comme une matière première et non comme ce déchet symbole de nos gaspillages et de notre surconsommation collective d'énergies fossiles ?* », se demande Marc Robert. C'est aussi l'avis des plantes. Grâce à la lumière du soleil, elles sont capables de transformer le CO₂ en une multitude de composés carbonés. Les premières expériences de photosynthèse artificielle datent de 1912. Cependant l'un des verrous à lever pour l'industrialisation de cette voie est la catalyse. Sans d'excellents catalyseurs, impossible d'exploiter efficacement le CO₂. Mais les chimistes sont là et ils ont récemment réalisé d'importantes percées.

Hors des sentiers battus

Cyril Aymonier

Au-delà d'une certaine température et d'une certaine pression, tout fluide entre dans un domaine appelé « supercritique ». Dans ces conditions, une chimie très particulière peut se dérouler. Celle-ci « *offre des opportunités uniques en permettant la synthèse de matériaux qui ne peuvent pas être obtenus à température ambiante sous pression atmosphérique.* » Par exemple, l'eau, en tant que solvant, acquiert de nouvelles propriétés qui peuvent être mises à profit. Cyril Aymonier nous présente quelques-unes des applications de cette chimie non conventionnelle. Celles-ci vont de la stérilisation des masques FFP2 au recyclage des terres rares, en passant par la synthèse du talc.

La chimie valorise vos déchets

Karine De Oliveira Vigier et François Jérôme

Notre consommation effrénée est en train d'épuiser nos ressources en carbone fossile. Voilà pourquoi la valorisation des déchets est plus importante que jamais. Ainsi, les résidus de l'agriculture et la foresterie par exemple pourraient-ils servir de matière première pour la fabrication de nombreux d'objets de notre vie quotidienne : montures de lunettes, gobelets, sacs, tableaux de bord de voiture... Autre exemple : des peaux d'oranges dont on peut tirer du limonène qui sert comme dégraissant ou comme solvant pour la fabrication de peintures, de parfums ou de détergents. « *Les déchets sont devenus une matière première noble pour la chimie* », pour Karine De Oliveira Vigier et François Jérôme. Leur réutilisation contribuera à limiter notre dépendance au pétrole et au charbon.

Troisième Partie : Créer et stocker l'énergie

Sans chimie pas de batterie !!!

Mathieu Morcrette et Dominique Larcher

Quelles réactions chimiques ont lieu aux électrodes d'une batterie ? De quoi dépend la quantité d'électricité qu'elles sont capables de stocker ? Qu'est-ce qui détermine leur durée de vie ? Quels nouveaux types de batterie pourraient arriver sur le marché dans les années à venir ? Mathieu Morcrette et Dominique Larcher nous offrent ici une brève introduction au monde fascinant de ces « *réacteurs électro-chimiques* » qui, depuis 160 ans, font bouger le monde.

Un peu d'eau de mer dans votre batterie ?

Joël Gaubicher, Fabrice Odobel et Philippe Poizot

Une batterie efficace, peu coûteuse, entièrement recyclable et qui fonctionne grâce à l'eau de mer ? C'est possible ! Les auteurs nous présentent une merveille technologique qui pourrait révolutionner le stockage des énergies renouvelables et le dessalement de l'eau de mer. Mieux encore, les électrodes de cette batterie sont constituées « *des éléments chimiques les plus courants (carbone, hydrogène, oxygène, azote) qui peuvent être potentiellement issus de la biomasse* ». Voici donc un succès de plus pour les chimistes qui développent des matériaux innovants.

Une pile électrique qui fonctionne à la sueur de son propriétaire

Fabien Giroud et Serge Cosnier

Les biopiles produisent de l'énergie en utilisant les liquides biologiques humains. Elles sont en effet capables d'oxyder des molécules comme le lactate ou le glucose pour produire un courant électrique qui peut alors alimenter des capteurs pour la surveillance médicale et sportive. Mais la biopile que nous présentent ici Fabien Giroud et Serge Cosnier va plus loin. Développée par une équipe franco-américaine, elle produit du courant à partir de la transpiration. « *Après installation par adhésion sur le bras d'un individu, la biopile est capable, grâce à la connexion d'un amplificateur de tension, d'assurer l'illumination d'une LED en continu* ».

Supercondensateurs : les sprinteurs du stockage de l'électricité

Benjamin Rotenberg, Mathieu Salanne et Patrice Simon

Lorsqu'on parle de stockage de l'énergie, les supercondensateurs ont deux avantages notables par rapport aux batteries : ils se rechargent en un clin d'œil et peuvent délivrer de très fortes puissances. Ils pâtissent, toutefois, d'un inconvénient de taille : ils ne peuvent emmagasiner qu'une quantité limitée d'énergie. Pour remédier à cela, les scientifiques sont à l'œuvre. Comme l'expliquent les auteurs, une foison de travaux sont en cours afin d'obtenir des supercondensateurs à forte capacité de charge. Dans cette course, « *l'expertise des chimistes des matériaux est nécessaire pour parvenir aux structures optimales.* »

De l'hydrogène pour faire de l'électricité

Jean-Marc Bassat, Marian Chatenet, Christophe Coutanceau et Olivier Joubert

« *L'hydrogène est destiné à jouer un rôle croissant dans la transition énergétique* », indiquent les auteurs. Ceci, grâce aux piles à combustible, dispositifs qui génèrent de l'énergie électrique à partir d'oxygène et d'hydrogène, deux éléments très abondants sur

Terre. Cet article est une visite guidée à travers les différentes pistes technologiques qui visent à rendre les piles à combustible aussi efficaces, sûres et bon marché que possible.

Développements récents du photovoltaïque : à l'interface entre électricité et lumière solaire

Philip Schulz et Nathanaelle Schneider

Comment tirer au mieux profit de l'énergie du soleil ? Il faut, nous disent Philip Schulz et Nathanaelle Schneider, « *utiliser la boîte à outils de la chimie moléculaire et des matériaux pour fabriquer le module photovoltaïque du futur.* » Des alliages et composés hybrides inédits aux encres photovoltaïques, voici les grands axes de recherche du moment. Une chose est sûre : le photovoltaïque nous prépare tout doucement une petite révolution technologique.

Récupération de chaleur fatale : la chimie au service de la thermoélectricité

Antoine Maignan

« *Plus de 70 % de la chaleur produite par un véhicule par combustion du carburant dans le moteur ou lors du freinage est perdue* », nous rappelle Antoine Maignan. À l'heure du changement climatique, voilà un gaspillage difficilement acceptable. Pour corriger cet état de fait, voici une idée lumineuse : récupérer cette chaleur pour la transformer en électricité. Comment ? Grâce à l'effet Seebeck : certains matériaux produisent une tension électrique lorsqu'ils sont traversés par un flux de chaleur. Pour exploiter cette propriété, les chimistes sont en train de mettre au point des matériaux ultra-performants.

Joseph Louis Proust : entre Maine, Seine et Manzanares

Olivier Parisel

Olivier Parisel revient sur le parcours hors normes de Joseph Louis Proust (1754-1826). « *Ses travaux sont innombrables et variés : chimie, minéralogie (y compris les météorites !), et même... biologie marine.* » Chimiste, apothicaire, métallurgiste, il a produit des avancées remarquables dans tous les domaines qu'il a touchés. Ce court portrait est avant tout un hommage à l'un des pionniers de la chimie analytique et de la stoechiométrie.

Des molécules pour s'envoyer en l'air

Romane Bellec, John Eymann, Guy Jacob, Emmanuel Lacôte et Anne Renault

Pour aller dans l'espace, il faut de l'énergie, beaucoup d'énergie. Les ergols sont les produits qui fournissent aux fusées les gaz de propulsion permettant de vaincre l'attraction terrestre. Les chimistes travaillent d'arrache-pied pour développer l'ergol idéal, un produit dense, énergétique et non-toxique. Le but ultime de ces recherches, d'après nos auteurs : une fusée à un seul étage qui « *permettrait au lanceur d'atteindre directement l'orbite et ainsi de décrocher... la Lune.* »

Quatrième Partie : Modéliser et ciseler la matière

De la paille au supercalculateur

Anthony Scemama

« Dès les débuts de l'informatique, à l'ère où les instructions étaient données à la machine à l'aide de cartes perforées, les chimistes théoriciens étaient déjà présents sur les centres de calcul » nous rappelle Anthony Scemama. Ils cherchaient alors à résoudre les équations de la physique quantique gouvernant le mouvement des électrons et les interactions entre atomes. Aujourd'hui, pour modéliser les interactions entre atomes ou entre molécules, les chercheurs disposent de supercalculateurs capables de réaliser des millions de milliards d'opérations par seconde. Mais l'aventure ne s'arrête pas là : bientôt, l'ordinateur quantique démultipliera leurs forces.

Voir et manipuler les molécules : du virtuel au réel

Marc Baaden et Emmanuel Maisonhaute

La représentation des espèces chimiques a toujours été l'une des obsessions des chimistes. Des premières peintures au pastel à la réalité virtuelle, Marc Baaden et Emmanuel Maisonhaute nous présentent les progrès réalisés dans ce domaine. Aujourd'hui, nous disent-ils, il est possible de « rendre palpables, réelles ces molécules, pour les inspecter, tourner autour et pourquoi pas, passer sa tête à l'intérieur ». Mais il y a mieux qu'une représentation : depuis 1981, grâce au microscope à effet tunnel, on peut voir « en vrai » les atomes et les molécules, étudier leurs propriétés mécaniques, et même, les manipuler. L'infiniment petit est désormais à portée d'œil et de mains.

La réaction de Grignard : une énigme de 120 ans

Odile Eisenstein et Michele Cascella

En 1900, un chimiste français appelé Victor Grignard synthétisa le premier composé organomagnésien et le fit réagir avec une fonction carbonyle pour former une nouvelle liaison entre deux carbones. Cette réaction, dite de Grignard, lui valut le prix Nobel. Comme le disent Odile Eisenstein et Michele Cascella, « cette réaction est encore, de nos jours, la première réaction organométallique enseignée dans un cours de chimie. » Voici donc, dans tous ses détails, les secrets d'une réaction beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît !

Des lois fondamentales, universelles... et la matière fut !

Christophe Delaroche

Lorsque la gravité est absente, tout est différent : les cellules prennent leur forme libre, les liquides se mélangent selon les seules lois de la diffusion, les cristaux adoptent des formes étonnantes. « Si l'on veut mettre en évidence ces phénomènes d'auto-organisation ou en connaître les lois fondamentales et universelles il faut s'affranchir le plus possible de l'attraction gravitaire », argumente Christophe Delaroche. La station spatiale internationale est, bien sûr, le lieu idéal pour conduire une multitude d'expériences dans de très nombreux domaines. Embarquement immédiat vers le monde de la physico-chimie en apesanteur.

Angela Merkel : de la chimie à la chancellerie

Martin Quack

Avant d'entrer en politique, Angela Merkel était une brillante chercheuse en chimie quantique. Martin Quack retrace le parcours scientifique et politique de la chancelière et aboutit à cette conclusion : sa « sagesse scientifique » lui a permis d'aborder les grands

problèmes de l'Allemagne, le moindre n'étant pas celui de la gestion des pandémies, problématique qu'elle évoquait dès 2015.

Alliages à mémoire de forme

Richard A. Portier, Frédéric Prima et Philippe Vermaut

Les matériaux intelligents sont, tout simplement, des composés dont les propriétés changent en fonction de leur environnement, température, pression, champ magnétique par exemple. Parmi ceux-ci, il y a les alliages à mémoire de forme. Comme le rappellent les auteurs, ces alliages possèdent « *de remarquables propriétés fonctionnelles avec des comportements thermomécaniques uniques : la superélasticité, la mémoire de forme simple ou double et de grandes capacités d'amortissement* ». Leurs applications sont nombreuses, allant de l'industrie automobile et aéronautique à la fabrication d'objets quotidiens tels que le fil dentaire, les montures de lunettes ou encore, les clubs de golf.

Les matériaux nanoporeux : de l'utilité des trous

David Farrusseng et Benoît Coasne

Découverts il y a quelque 20 ans, les MOFs (Metal Organic Frameworks) sont des matériaux dont la structure est composée d'un réseau de pores de taille nanométrique. Grâce à ces pores, la surface d'un gramme de MOF peut couvrir jusqu'à un demi-terrain de football ! Sur cette surface, de nombreuses réactions chimiques peuvent avoir lieu. Comme l'indiquent David Farrusseng et Benoît Coasne, « *à l'heure actuelle, les MOFs sont cités comme l'une des dix découvertes de la chimie pouvant à terme révolutionner notre quotidien.* » Les MOFs sont synthétisés par des procédés de l'industrie agroalimentaire comme la fabrication de pâtes alimentaires ou de lait en poudre.

La synthèse de nanomatériaux par détonation d'explosifs

Pierre Gibot, Vincent Pichot et Denis Spitzer

Voici la recette pour fabriquer les diamants les plus petits du monde. À ne tenter que sous la supervision d'un artificier vu qu'elle implique la détonation contrôlée d'explosifs. Difficile de porter au doigt les diamants de 2,5 nanomètres ainsi produits. En revanche, ils « *alimentent des recherches en médecine pour la vectorisation (acheminement ciblé) de médicaments sur des tumeurs cancéreuses ou encore des expériences de téléportation quantique et le développement des ordinateurs quantiques de demain* ». Plus généralement, les auteurs nous révèlent ici le potentiel d'une chimie détonante qui utilise des explosions pour la synthèse de matériaux aux propriétés uniques.

Cinquième partie : diagnostiquer et soigner

Le diagnostic médical au bout du souffle

Matthieu Riva, Sébastien Perrier, Christian George

« *L'air expiré compte de nombreux composés pouvant agir comme traceurs d'une pathologie donnée* » indiquent les auteurs. Mais alors pourquoi cette simple approche n'est-elle pas employée par tous les médecins ? Il fallait pour cela développer des techniques capables d'analyser en temps réel les milliers de composés souvent présents à l'état de traces dans le souffle d'un patient. Cet article raconte l'avènement d'une nouvelle ère : celle de l'exhalomique, la science dédiée à l'analyse de l'air expiré, et son application au diagnostic rapide de certaines pathologies, comme la Covid-19, mais aussi des cancers. « *C'est un nouveau souffle au diagnostic médical qui est en train de voir le jour.* »

Des agents intelligents pour l'imagerie

Éva Jakab Tóth et Bich-Thuy Doan

Une technique révolutionnaire pour explorer le corps humain vient de faire son entrée en médecine : l'imagerie moléculaire. Grâce à des sondes ciblant des biomarqueurs spécifiques, cette technique permet de détecter des maladies ou des perturbations physiologiques avant même que les changements morphologiques apparaissent. Ainsi, constitue-t-elle un puissant moyen de diagnostic précoce. Mais cette technique ouvre bien d'autres voies, nous expliquent Éva Jakab Tóth et Bich-Thuy Doan. « *Au-delà des applications cliniques, l'imagerie moléculaire est un outil précieux pour les recherches qui s'intéressent aux causes moléculaires des maladies ou tout simplement au fonctionnement du vivant.* »

Irène Curie : la radioactivité de mère en filles

Denis Guthleben

Denis Guthleben témoigne ici de sa fascination pour l'une des plus grandes scientifiques françaises de tous les temps : Irène Curie. Seconde femme à recevoir le prix Nobel de physique après sa mère, elle a laissé une trace qui s'étend bien au-delà du monde de la recherche : ses engagements politiques en faveur des droits des femmes et contre le fascisme et le totalitarisme ne peuvent être oubliés. Comme le rappelle l'auteur, Irène Curie « *ne s'est jamais départie de son franc-parler, de son rejet des apparences et des convenances, et de son respect exclusif pour la vérité, qui a guidé aussi bien son œuvre scientifique que ses combats politiques.* »

La maladie d'Alzheimer : que font les chimistes ?

Bernard Meunier et Anne Robert

« *En dépit des efforts du monde académique ou de l'industrie pharmaceutique, les progrès pour la thérapie de la maladie d'Alzheimer restent en deçà de ceux observés pour d'autres pathologies* », observent Bernard Meunier et Anne Robert. Les deux chercheurs nous expliquent les difficultés rencontrées par les scientifiques. Pourtant, grâce aux travaux des chimistes, de nouveaux espoirs émergent. Parmi ceux-ci, les chélateurs du cuivre. Ces molécules sont capables de capturer et re-distribuer les ions cuivriques. Ces ions s'accumulent en effet dans les plaques amyloïdes et semblent jouer un rôle important dans l'avancée de cette pathologie.

Concevoir des nanomédicaments ciblés

Patrick Couvreur

Curiosité de laboratoire dans les années 1980, les nanomédicaments sont désormais considérés comme une évolution pharmaceutique majeure. Cette technologie révolutionnaire permet d'encapsuler des médicaments dans des objets nanométriques. Ceci permet de protéger le principe actif, de cibler certaines cellules et d'améliorer l'efficacité thérapeutique du médicament. Et aujourd'hui les vaccins anti-Covid à ARNm seraient inefficaces s'ils ne bénéficiaient pas des technologies d'encapsulation dans des nanoparticules lipidiques permettant de protéger l'ARN et de le livrer intact aux cellules immuno-compétentes. Nous ne sommes qu'au début de leur développement et pourtant, comme nous le rappelle Patrick Couvreur, « *plus de 50 nanomédicaments ont été approuvés par l'Agence européenne du Médicament (EMA) ou la Food and Drug Administration (FDA) et 80 nanomédicaments sont actuellement en essais cliniques* ».

Pierre Potier (1934-2006) : entreprendre pour la science

Muriel Le Roux

Deux grandes ambitions ont structuré la carrière de Pierre Potier, nous dit Muriel Le Roux : « *combattre cancer et diabète et réformer la recherche* ». Deux batailles menées avec un certain succès. Dans la lutte contre les maladies, ses découvertes et ses collaborations avec l'industrie ont permis la mise sur le marché de plusieurs molécules anticancéreuses qui, aujourd'hui, sauvent des vies. La médaille d'or du CNRS qui lui a été décernée en 1998 est venue récompenser sa pratique d'une science « *fondamentale et utile* ».

Faire mieux avec moins : la microfluidique

Stéphanie Descroix, Jean-Baptiste Salmon et Julien Legros

Domaine émergent apparu il y a une trentaine d'années, la microfluidique permet de manipuler et contrôler des fluides circulant dans des canaux de l'épaisseur d'un cheveu. Ses outils de base : les puces microfluidiques composées de canaux et de vannes permettant le contrôle d'écoulements de liquide, de façon comparable aux puces électroniques, mais pour le transport d'électricité. Comme le rappellent les auteurs, « *un des attraits de la microfluidique repose sur les phénomènes physiques remarquables qui apparaissent à ces échelles micrométriques* ». Les applications de cette nouvelle science se multiplient : synthèse de molécules avec des rendements inégalés, cristallisation des protéines ou encore, fabrication d'organes miniatures afin de tester des traitements.

La chimie informatique au service des médicaments de demain

Didier Rognan

Grâce à la chémo-informatique, les ordinateurs sont désormais de super-tubes à essai. En effet, leur puissance de calcul permet de rechercher, parmi de millions de molécules, celles qui pourraient avoir des effets thérapeutiques. Didier Rognan nous propose ici un exemple concret : la recherche d'une molécule permettant de traiter les douleurs chroniques, pathologies qui touchent des centaines de milliers de personnes en France et qui peuvent être extrêmement invalidantes. La chémo-informatique a permis de passer au crible 3 millions de molécules pour n'en retenir qu'une seule : celle capable d'inhiber un récepteur impliqué dans ces douleurs. Ainsi, ces puissants outils *in silico* ont-ils « *permis une économie considérable de moyens et de temps* » et ouvert un nouvel espoir pour les patients.

Réparer son squelette par impression 3D ?

Thierry Chartier et Vincent Pateloup

Des implants osseux fabriqués avec une imprimante 3D ? Aujourd'hui, ce n'est plus de la science-fiction ! C'est ce que nous présentent Thierry Chartier et Vincent Pateloup. Ceci grâce à un matériau appelé *hydroxyapatite phosphocalcique* (HAP) dont la composition est proche de la partie minérale de notre squelette. Ainsi, il « *permet la repousse osseuse par adhésion et prolifération cellulaire directement à sa surface* ». Ce matériau peut être mis en forme par impression 3D pour obtenir un implant « sur mesure ». Déjà, des pièces fabriquées par l'entreprise 3DCeram de Limoges ont été implantées chez des patients.

Sixième Partie : La chimie du quotidien

L'alchimie physique du vin

Erick Dufourc

Le vin est indissociable de notre culture et de notre art de vivre. Pourtant, encore récemment, sa production tenait plus d'une mystérieuse alchimie que de procédés bien compris et maîtrisés. « *C'est depuis à peine plus d'un siècle que nous avons compris les mécanismes physiques et chimiques se produisant naturellement entre les molécules constituant le vin lors de sa fabrication, et entre ces molécules et les récepteurs du goût lors de sa dégustation* ». En compagnie d'Erick Dufourc, découvrons comment un bon millier de composés chimiques s'associent et se transforment pour donner corps au breuvage.

Comment éviter que le bouchon ne pousse son goût trop loin ?

Dario M. Bassani

Quoi de plus frustrant qu'une *a priori* bonne bouteille... qui se révèle finalement bouchonnée ? Ce mauvais goût est dû à une molécule appelée TCA, présente dans certains bouchons de liège. Il est possible de la détecter grâce à la chromatographie. Cependant, nous apprend Dario M. Bassani, « *cette technique est lourde et coûteuse à mettre en œuvre en raison du grand volume de bouchons produits annuellement*. » Heureusement pour les amateurs de grands crus, une équipe franco-suisse est en train de développer une méthode rapide et efficace pour identifier les « mauvais » bouchons.

Primo Levi : chimiste et physicien avant d'être écrivain

Mario Maglione

Rescapé d'Auschwitz et auteur de l'un des sommets de la littérature du XX^e siècle, *Si c'est un homme*, Primo Levi était aussi chimiste et physicien. Mario Maglione nous décrit les domaines scientifiques qui intéressaient Levi, sa contribution à l'inversion de configuration d'une molécule chirale et ses intuitions scientifiques en avance sur les connaissances de son temps. Dans son œuvre, « *la science n'était jamais loin de la littérature* ».

Les cosmétiques, ces concentrés de science

Nicolas Huang et Richard Daniellou

De la recherche de nouvelles molécules dans l'océan aux défis que pose la conception d'une crème de soin, Nicolas Huang et Richard Daniellou nous plongent dans un domaine de recherche extrêmement actif : la cosmétique. Ils nous décrivent les travaux de ces chimistes qui tentent d'améliorer et de développer de nouveaux produits d'hygiène, de soin et de beauté. Leur tâche est ardue car « *à l'ère du tout naturel et du tout sécuritaire, les cosmétiques se doivent d'être un territoire perpétuel d'innovations scientifiques et d'être toujours plus efficaces, tout en garantissant une innocuité pour l'utilisateur et en minimisant leur impact environnemental* ».

Quand les polymères imitent la nature

Jean-François Gérard

Quoi de plus étonnant, pour un chimiste, que ces poils de kératine qui permettent au gecko d'adhérer aux murs ? Quoi de plus éblouissant que ces cires à la surface des feuilles de lotus qui font que l'eau glisse sans les mouiller ? Pour les chercheurs qui s'intéressent aux

polymères, le monde vivant est une source inépuisable d'inspiration. Avec de tels modèles, nous dit Jean-François Gérard, « *il n'est pas étonnant de voir nombre de chimistes s'intéresser à de nouvelles architectures macromoléculaires susceptibles de reproduire ces comportements bien spécifiques aux organismes vivants.* »

La fluorescence au service de la police scientifique

Pierre Audebert et Laurent Galmiche

Plus de cent ans après sa première utilisation par la police, la méthode des empreintes digitales continue de progresser. Pierre Audebert et Laurent Galmiche nous présentent les travaux qui ont abouti à la création d'un composé fluorescent hors du commun. Celui-ci permet, sous lumière ultraviolette, de donner du contraste aux empreintes digitales, et donc, de les photographier. « *Cette solution technique issue de la recherche a conduit au développement par une start-up française d'un produit commercial, le Lumicyano, maintenant utilisé en routine par la police et la gendarmerie françaises ainsi que par de nombreuses polices scientifiques dans le monde* ». Les malfaiteurs n'ont qu'à bien se tenir !

Michel Eugène Chevreul : un siècle de lumière

Olivier Parisel

Sur la façade Nord-Ouest de la tour Eiffel, figure ce nom : Chevreul. Il s'agit de Michel Eugène Chevreul, né en 1786 à Angers et mort en 1889 à Paris. Tout semblait intéresser ce savant : la fabrication des savons et des bougies, la cuisson de la viande de bœuf, la propagation de la poussière... Son traité sur les couleurs et les contrastes a influencé la peinture impressionniste, tandis que ses recherches sur les corps gras ont permis l'invention de la margarine. Rationaliste dans l'âme, il fustigea les pseudo-sciences en vogue à son époque : tables tournantes et pendules. Olivier Parisel nous brosse un rapide portrait de ce « *chimiste éclectique* » qui « *traversa son siècle en touchant à tout.* »

Délicieuse chimie

Christophe Lavelle

Pour réussir une mayonnaise, demandez conseil à un chimiste. C'est lui qui vous dira tout des tensioactifs qui permettent à l'émulsion de « *prendre* ». Comme l'indique Christophe Lavelle dans ce texte relevé, « *la cuisine est devenue un sujet d'étude en soi, occupant de plus en plus de chercheurs à travers le monde.* » Ainsi, des savants du XIX^e siècle qui croyaient que le chimiste remplacerait le chef, aux apôtres de la cuisine moléculaire, les liens entre l'art de la table et l'art de la paillasse ne se sont jamais dénoués.