

La recherche académique française en chimie « par temps de crises »

La mandature du Conseil Scientifique de l'Institut de Chimie du CNRS (CSI-INC) s'est déroulée de janvier 2019 à septembre 2023. Ses débats ont été suscités par la présentation régulière devant le conseil des Actualités de l'INC par sa direction, et par des exposés de personnalités invitées pour leur expertise, sur des questions posées par la direction de l'INC et d'autres dont le CSI s'est auto-saisi comme pouvant concerner tous les laboratoires rattachés au CNRS et aux établissements tutelles, conduisant à l'écriture de son Rapport de Prospective.

Qu'il s'agisse de concevoir, synthétiser et caractériser des molécules ou matériaux nouveaux, ou bien de nouveaux procédés, pour des applications d'aujourd'hui ou de demain, la chimie se trouve au carrefour de plusieurs des 17 objectifs de développement durable définis par l'ONU. Ces ODD visent à ce que les sociétés de l'ensemble des pays du monde atteignent un stade de développement durable à la fois sur les plans environnemental et social. La chimie développe des interfaces avec la physique, la biologie, la santé, le génie des procédés, et aujourd'hui aussi avec la « science des données » en plein essor. Les objets d'étude de la chimie couvrent toutes les échelles entre les molécules et les matériaux, les plus avancés étant souvent inspirés de la Nature et pouvant présenter une structuration hiérarchique multi-échelles.

Chimie moléculaire ou la synthèse de « briques élémentaires »

Centrale de la discipline, la chimie de synthèse permet l'ajustement précis des structures et propriétés électroniques de systèmes moléculaires discrets ou étendus. L'élaboration et l'étude des molécules isolées ou de leur assemblage sont ainsi au cœur de la biologie moléculaire, des matériaux moléculaires, de l'électronique moléculaire et des polymères. Ses applications sont nombreuses et couvrent des domaines aussi vastes que l'environnement, l'énergie, la santé et la chimie industrielle. L'ingénierie des molécules et leur assemblage supramoléculaire nécessitent une approche combinant la physicochimie analytique pour les caractériser, et la chimie théorique, elle-même en pleine évolution et fortement sollicitée pour interpréter les relations structure-propriétés, grâce aux outils de modélisation classiques et quantiques mais aussi par l'émergence d'approches d'intelligence artificielle comme l'apprentissage machine encouragé par la massification des données.

Dans le domaine de la chimie macromoléculaire, les évolutions récentes concernent l'accroissement du contrôle des architectures des polymères et l'introduction d'unités stimulables *via* l'extension des réactions de polymérisation contrôlée, radicalaire, ionique ou par ouverture de cycle, ou la post-modification, à des monomères dits difficiles, et grâce à l'introduction d'approches bio-inspirées pour obtenir des polymères dits « de précision ». Les matériaux polymères de types élastomères thermoplastiques, réseaux adaptatifs

covalents et vitrimères constituent aujourd'hui un domaine intense de recherche porteur d'innovations.

La chimie de coordination et la chimie organométallique jouent également un rôle crucial dans le développement de nouvelles réactions chimiques, la conception de catalyseurs efficaces, sélectifs et « écologiquement et économiquement responsables » ainsi que la compréhension des mécanismes réactionnels, comme par exemple, l'activation de liaisons C-H, C-C et l'activation de petites molécules (CO₂, N₂...).

Associant des molécules par des interactions faibles ou fortes, les matériaux moléculaires covalents ou de coordination – *Covalent Organic Framework* ou *Metal-Organic Framework* – sont décrits par l'approche *bottom-up* et par la chimie supramoléculaire. Il est ainsi possible d'élaborer des objets multifonctionnels qui peuvent être commutables ou mettre en œuvre au moins deux propriétés tels que les systèmes magnéto-optiques ou ceux de la mécano-chimie. Le défi actuel réside dans la transition vers une chimie plus verte, moins coûteuse, moins toxique et biosourcée.

Chimie des matériaux : des applications toujours plus variées dans l'énergie, le transport et la santé

L'avancée des connaissances en chimie des matériaux vise à synthétiser de nouveaux matériaux structuraux ou avancés en direction d'une économie circulaire, qui par l'amélioration du recyclage en boucle fermée et l'écoconception respecte mieux les ressources et l'environnement, jouant ainsi un rôle majeur dans l'atteinte des ODD cités plus haut.

Bien que les concepts de la chimie verte soient bien établis, la complexité des problèmes et des technologies industrielles rend les besoins en matériaux avancés et dits « de fonction » de plus en plus prégnants. Les besoins en santé, les nécessités énergétiques et la protection de l'environnement obligent aujourd'hui à l'innovation afin d'améliorer les procédés de production des biens, le stockage de l'énergie, mais aussi le développement de matériaux biosourcés, tout en s'assurant de l'innocuité des produits sur le marché, ce qui nécessite de concevoir des matériaux *safe by design* et n'entraînant pas non plus de pollution du milieu naturel, forçant à réfléchir aux usages mais aussi à tout le cycle de vie.

Chimie physique : analyse et caractérisation des « transformations de la matière »

Par l'étude théorique et expérimentale les mécanismes mis en jeu par les molécules et les matériaux, la chimie physique couvre aussi bien la thermodynamique que la cinétique, la chimie quantique, la spectroscopie, la photochimie, l'électrochimie, la radiochimie, et les sciences analytiques, ces dernières visant à repousser les limites de l'insondable.

Des solutions innovantes sont proposées, dans lesquelles les principes physiques de détection sont poussés aux limites. Ainsi en est-il de l'utilisation de nanomatériaux dans des biocapteurs électrochimiques ou d'agents de polarisation en RMN, avec pour objectif d'exalter significativement le signal.

De même le couplage, en ligne ou séquentiel, de plusieurs techniques telles que la chromatographie bidimensionnelle,

la mobilité ionique et la spectrométrie de masse permet d'augmenter la résolution de l'analyse. Des approches ciblées ou non ciblées s'appuient sur des balayages à très haute résolution ou sur des approches multidimensionnelles, multi-techniques ou multi-omiques, générant un grand volume de données. Se posent alors les questions de leur stockage et de leur partage. Les acteurs de la recherche en chimie analytique sont en attente d'un format de fichier de données universel, simplifiant la comparaison inter-laboratoires, et généralisant les approches multimodales, combinant plusieurs techniques analytiques.

Parmi les pistes explorées, la miniaturisation des systèmes analytiques, la microfluidique et la chimie en flux ouvrent la voie vers l'analyse de faibles volumes d'échantillons, une faible perturbation des procédés lors des analyses en ligne ainsi qu'une faible consommation de réactifs chers, polluants ou dangereux.

Infrastructures nationales et plateformes locales

Afin de travailler « aux frontières de la connaissance » en chimie, un atout des laboratoires académiques français est la mise en place d'infrastructures nationales multidisciplinaires en réseau telles que la fédération de recherche Infranalytics qui regroupe et mutualise des instruments d'exception de spectroscopies RMN, RPE et FT-ICR-MS, au service de la communauté scientifique académique et industrielle. Si ces grandes infrastructures et réseaux nationaux sont des forces pour la visibilité de la chimie française, il est primordial pour les laboratoires de retrouver des sources de financement pour l'entretien et la jouvence des équipements du quotidien.

Quelles réponses de la chimie aux enjeux sociaux ?

Souvent perçue à tort par le grand public comme un danger et une source de pollution, la chimie offre des solutions aux grands enjeux sur la transition écologique et les crises (climatique, sanitaire...) auxquelles la société est confrontée

La nécessité absolue de sortir de l'ère des ressources fossiles pose des questions sur le futur même de la pétrochimie. L'utilisation du CO₂ comme brique élémentaire de molécules pourrait être une solution, comme pour la synthèse d'actifs pharmaceutiques ou de matériaux. Dans cette optique, les chimistes des laboratoires travaillent déjà depuis des années à trouver des ressources alternatives pour synthétiser les molécules et matériaux nécessaires à la vie courante et la santé des populations, mais aussi pour faire baisser les émissions des bâtiments et des transports, grâce aux matériaux composites alliant la légèreté et les performances, auxquelles s'ajoute aujourd'hui l'allègement des émissions de CO₂ telles qu'évaluées par les analyses de cycles de vie.

En matière d'énergie, la chimie fournit de nouveaux vecteurs (hydrogène, biocarburants) mais aussi des améliorations de la production et du stockage de l'électricité : batteries et piles à combustible, électrolyse ou photocatalyse pour l'hydrogène...

Des chimistes sont impliqués dans les énergies alternatives : photovoltaïque, mais aussi nouvelles voies comme les piles basées sur un gradient de concentrations ioniques. D'autres travaillent sur des produits de substitution aux substances qui

posent des problèmes environnementaux comme les per- et poly-fluoroalcanes (PFAS), ou les polyuréthanes qu'ils cherchent à produire sans les toxiques isocyanates (NIPU).

Chimie à l'interface avec la biologie et la santé

La chimie joue un rôle essentiel dans de nombreux aspects de la recherche en biologie et santé. Ainsi la chimie théorique, la biochimie structurale et la chémobiologie, qui – d'après www.gdr.chemobiologie.cnrs.fr – vise à « concevoir et élaborer des outils moléculaires afin de sonder ou moduler un processus biologique », jouent des rôles essentiels dans la compréhension des interactions moléculaires et des mécanismes impliqués dans les systèmes biologiques. Dans le développement des médicaments, la chimie pharmaceutique contribue à la découverte de nouveaux principes actifs grâce à la conception de ligands de cibles biologiques assistée par ordinateur, la chimie combinatoire et d'autres approches thérapeutiques innovantes.

Si la chimie hétérocyclique n'a plus une place prépondérante dans ce domaine, c'est au profit d'une chimie de molécules plus grosses et plus complexes, en particulier celle des peptides, protéines et acides nucléiques. Comprendre la relation structure-fonctions de ces biomacromolécules et étudier leurs interactions au sein des organismes vivants est essentiel pour le développement de thérapies ciblées.

Une autre stratégie vise à augmenter la biodisponibilité des molécules actives en les encapsulant dans des nanovecteurs à bases lipidiques ou polymères, décorés par des entités chimiques ou biologiques pour un ciblage cellulaire et le suivi par imagerie médicale. Ainsi la chimie continue-t-elle de jouer un rôle crucial dans l'amélioration de la santé humaine, en contribuant à la compréhension des mécanismes biologiques des maladies, à la découverte de nouveaux principes actifs et au développement de technologies innovantes de diagnostic et de thérapie en vue de traitements personnalisés.

Chimie en flux à haut débit, données et intelligence artificielle

Au cœur des transitions et des tensions sur les ressources, les enjeux de durabilité, d'allègement et de recyclabilité lors de la synthèse de nouveaux matériaux ou molécules, poussent à accélérer la découverte de systèmes performants tout en diminuant l'apport de constituants toxiques ou critiques. Face à ces défis, l'IA offre une approche efficace et des outils visant à explorer les combinaisons infinies de synthons durables, circulaires et à faible impact environnemental, pour aboutir à la génération de matériaux multifonctionnels optimisés. Amenées à être accélérées grâce aux outils de l'IA, ces études permettent d'imaginer les molécules et matériaux répondant aux grandes transitions sociétales, qui soient *safe by design*, aux propriétés modulables et « sur mesure ». Afin de prédire par le calcul de tels nouveaux matériaux et molécules, l'un des enjeux cruciaux est de déployer des bases de données spécifiques aux matériaux architecturés, multi-échelles et aux assemblages supramoléculaires, ainsi que les outils basés sur l'IA requis pour leur exploitation. S'il est nécessaire pour atteindre ces objectifs de créer les bases de données ouvertes construites par les chercheurs académiques, les données

deviennent un enjeu et il est essentiel qu'une réflexion soit menée au niveau du CNRS sur leur accessibilité, afin qu'elles ne soient pas accaparées par des intérêts privés mais qu'elles servent à partager des connaissances au service de la société.

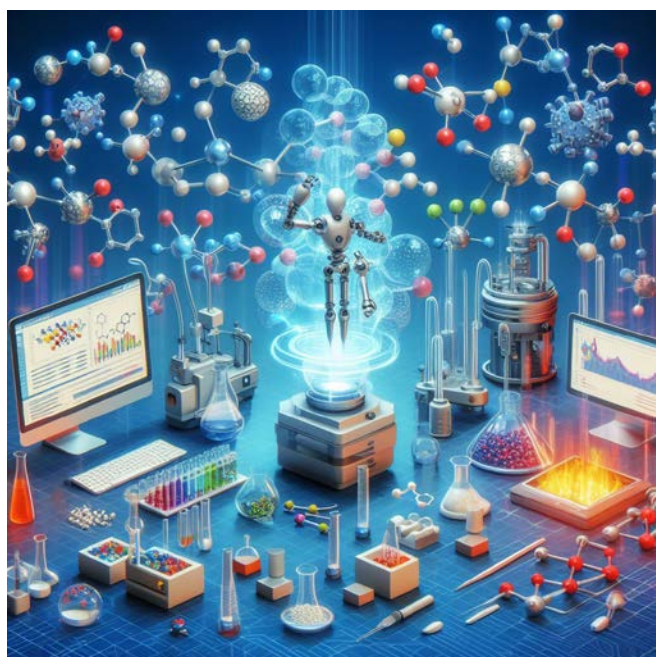


Image créée avec l'IA de Microsoft Image Creator

Chimie des matériaux en conditions extrêmes

Le besoin de repousser leurs limites de fonctionnement, fait de l'étude du comportement des matériaux en conditions extrêmes, au-delà des limites conventionnelles, un passage obligé pour leur développement futur. Ainsi l'étude de ces matériaux à des pressions ou températures extrêmes, sous irradiation ou des réactifs hautement corrosifs ou oxydants, du comportement sous sollicitations thermiques, chimiques, mécaniques, électriques... de plus en plus souvent couplées, est un enjeu majeur pour les industries de la chimie, de l'énergie, des transports, du nucléaire, de l'espace, de la transformation des matériaux ou de la valorisation des déchets qui combinent des métaux, alliages, ciments, verres, céramiques, carbones, composites pour donner une valeur ajoutée à leurs produits.

« Science Ouverte » et évolution des pratiques de publications des chimistes

Le CSI constate que les chimistes se sont bien appropriés les nouvelles formes de publications scientifiques, notamment le dépôt des versions d'auteurs ou *preprints* des productions scientifiques sur des archives ouvertes comme ChemRxiv et HAL-CNRS. La direction des données ouvertes de la recherche du CNRS (DDOR) a observé depuis 2018 une augmentation globale des frais de publication ou *Article Processing Charges* au CNRS et en particulier + 58 % en chimie. C'est pourquoi depuis 2022, le CNRS encourage ses scientifiques à ne plus payer pour être publiés. En 2020, 73,5% des publications en chimie sont en accès ouvert et 26,2% dans une revue sous abonnement. Le CNRS – mais aussi le CSI dans sa recommandation du 21 mai 2019 – mettent en garde contre les revues hybrides induisant un double paiement. La mise en place d'une chargée de mission sur le thème a notamment

abouti à l'élaboration – en collaboration avec le CSI – d'une fiche synthétique intitulée « Publier un article en Chimie dans un monde de Science Ouverte » donnant des recommandations aux chercheurs : choisir sa revue au regard d'indicateurs de qualité, favoriser la biblio-diversité, éviter les revues prédatrices et rester vigilant vis-à-vis des « méga-revues » c'est-à-dire celles qui n'ont pas de discipline définie.

Formation des nouvelles générations de chimistes

La thèse est une étape clé dans la formation des futurs chercheurs et le devenir de l'innovation industrielle du pays. Il a paru important au CSI d'étudier cette question à travers deux sessions plénières et la création d'un groupe de travail dédié afin d'analyser la formation des docteurs en chimie et leur devenir, d'évaluer l'impact de la pandémie, et estimer l'insertion professionnelle des docteurs chimistes. Comme très peu d'études nationales ne considèrent que les docteurs en chimie, le groupe de travail s'est basé sur des rapports de la situation au début 2020 des docteurs diplômés en 2019, 2017 et 2015 de Toulouse, et fin 2019 des docteurs 2016 de Lyon. Différentes statistiques ont été réunies : 46,1% des docteurs diplômés en chimie sont des femmes, et 30% de nationalité étrangère. L'âge moyen des docteurs à de leur soutenance s'élève à 30,8 ans. La durée médiane de la thèse en chimie est de 3,1 ans et la moyenne de 3,2 ans. 10,1% des répondants ont réalisé leur thèse en cotutelle et 30% ont réalisé une mobilité internationale durant leur doctorat. 57% des docteurs sont en emploi 1 an après leur diplôme, 81% après 3 ans et 92% après 5 ans. Plus d'un docteur chimiste sur deux en emploi travaille dans le secteur public 1 an après leur diplôme. Ce pourcentage chute à 46%, 3 ans après la thèse et à 40,5%, 5 ans après ; l'autre partie est employée par le secteur privé. Une petite partie des répondants (4%) ont créé leur entreprise. Les docteurs en chimie travaillent principalement dans le domaine de l'enseignement et de la recherche. Le salaire médian des docteurs en emploi est de 2126€ après un an, 2333€ après trois ans et 2459€ cinq ans après la thèse. Par rapport aux autres disciplines, on observe en chimie une excellente parité et des situations d'emploi relativement similaires entre les hommes et les femmes. 80% des femmes ayant un diplôme de doctorat ont un emploi à 3 ans. Si le doctorat constitue un rempart contre le chômage, l'accès à l'emploi stable peut être long et le niveau de rémunération modéré. Cela peut le relier au manque de postes dans la recherche publique pour les jeunes docteurs qui envisagent une carrière académique et doivent enchaîner des contrats postdoctoraux. Bien que les textes relatifs à la formation doctorale aient été révisés afin de garantir aux doctorants une formation de très haut niveau allée à une reconnaissance internationale de leur diplôme, le doctorat n'est encore pas toujours synonyme d'accès facilité à l'emploi.

La science chimique dans un monde incertain

Depuis l'époque des grands précurseurs, la chimie française a toujours tenu son rang dans le concours des nations. Dans sa recommandation du 28 janvier 2020, le CSI a cependant alerté sur la baisse inquiétante des dotations financières dites « récurrentes » des laboratoires de l'INC.

Comme son nom l'indique, la Loi de Programmation de la Recherche (LPR) a apporté une programmation budgétaire pluriannuelle, mais concerne essentiellement des mesures de revalorisation des carrières et une revalorisation du doctorat. Concernant le financement de la recherche, force est de constater un fonctionnement des laboratoires toujours plus dépendant du succès à des appels à projets (AAP) nationaux mais aussi européens comme ceux des programmes du *European Research Council*.

La chimie face aux crises internationales

Durant la pandémie de 2020, les laboratoires de l'INC n'ont absolument pas démerité, avec plusieurs unités fortement engagées dans la recherche de solutions rapides et efficaces à des questions pratiques cruciales : lavage et recyclage des masques FFP2 mais aussi développement de peptides antiviraux pour application sous forme de spray nasal, participation au développement du vaccin cubain. Plusieurs équipes de chimistes ont obtenu des financements de l'appel "Flash COVID-19" de l'ANR et se sont également regroupées au sein du consortium Gavo, financé par le ministère, pour stimuler le développement de molécules susceptibles de bloquer la réplication des virus à ARN. Néanmoins, la crise sanitaire a montré les insuffisances du système industriel français, en particulier dans la production de principes actifs de médicaments de base, et la nécessité de relocaliser cette production en France ou en Europe, mais aussi d'encourager les partenariats de recherche entre l'industrie pharmaceutique et les laboratoires académiques.

Les récents changements géostratégiques mondiaux placent la recherche en chimie en première ligne pour faire face aux défis de *sourcing* de matières premières ou de molécules produites ailleurs, voire à des relocalisations nécessaires de productions dans des domaines comme la défense, le spatial, la pharma, etc. Pour les deux premiers, qui relèvent de domaines régaliens, les partenariats existants avec l'Agence de l'Innovation de Défense et le Centre National d'Études Spatiales pourraient être renforcés. Face au contexte géopolitique actuel, un questionnement sur la place de la recherche en chimie et les interactions avec l'ensemble du monde semble nécessaire. La remise en cause de l'ordre mondial, les guerres ou le terrorisme sont autant d'éléments qui doivent conduire à repenser le positionnement des activités de recherche et les collaborations. Comme d'autres instituts du CNRS, l'INC a accueilli de nombreux chercheurs réfugiés dans le cadre du programme PAUSE mis en place par le Collège de France, avec des moyens du Ministère de la Recherche, de l'Enseignement Supérieur et de l'Innovation.

Intégrité : quelles particularités en Chimie ?

Dans le contexte des bouleversements en cours qui changent les conditions d'exercer le métier de chimiste académique, les questions d'intégrité scientifiques sont devenues prégnantes dans la recherche, et des cas récents ont concerné aussi des laboratoires de chimie, incluant des manipulations de données. Une « zone grise » de mauvaises pratiques recouvre l'embellissement des résultats, la signature d'une publication sans justification réelle, les références d'un travail absentes

ou erronées, la dissimulation des conflits d'intérêt dans l'évaluation de travaux scientifiques ou le non-respect de la propriété intellectuelle. Dans le cadre de la procédure mise en place en 2018 au CNRS, lorsqu'une fraude est suspectée, tout membre d'un laboratoire peut faire un signalement. S'en suit généralement une enquête qui peut conduire à une procédure disciplinaire envers les protagonistes incriminés. Le nombre croissant de signalements est possiblement lié à l'évolution des conditions d'exercice de la recherche. Le poids des indicateurs bibliométriques, la compétition exacerbée entre équipes concurrentes pour publier ou obtenir des financements avant les autres, la mise en avant systématique de l'excellence... sont autant de moteurs pouvant pousser des chercheurs à la fraude. Une sensibilité de la communauté des chimistes à l'intégrité scientifique est donc indispensable.

Horizon à court et moyen termes de l'institut : de l'INC à « CNRS-Chimie »

Malgré son statut d'organisme national de recherche, le CNRS ne dispose que de crédits limités pour financer la recherche. Ses instituts et en particulier l'INC ont décidé de consacrer une partie de la dotation d'état sous forme d'appels à projets. Dans ce domaine l'INC a été particulièrement proactif, en introduisant dès 2018 l'AAP Emergence@INC et son volet Emergence@International visant à permettre à des chimistes de faire une tournée internationale. Ces deux AAP s'adressent aux chercheurs et enseignants-chercheurs – durant 5 à 10 ans après leur recrutement sur leur poste – qui souhaitent développer un projet novateur par rapport à l'état de l'art et vise à encourager la prise de risque en finançant un contrat de chercheur postdoctoral. Dans la même veine, l'opération Ambassadeurs@INC finance l'accueil de chercheurs étrangers pendant un court séjour dans plusieurs laboratoires de l'INC. Enfin pour promouvoir l'interdisciplinarité, l'INC et la Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires du CNRS ont lancé en 2023 un AAP Itinérance@INC qui vise à accueillir durablement des chercheurs d'autres instituts dans ses laboratoires et y développer des projets interdisciplinaires. Même s'ils témoignent du volontarisme de l'institut à exercer avec ses moyens propres une politique scientifique, ces AAP restent de portée modérée, en comparaison notamment à de nouveaux AAP parus récemment, et dans lesquels le CNRS s'est fortement engagé, risquant d'induire d'importants changements à court terme de l'organisation de la recherche au sein des laboratoires de l'INC.

Les programmes et équipements prioritaires de recherche... nouveau mode de pilotage au CNRS ?

Nouvellement introduits, les PEPR sont des financements basés sur emprunts d'État (dans le cas du plan de relance « France 2030 »), qui ont introduit de nouveaux modes de pilotage de la recherche. A la différence des « laboratoires d'excellence » créés en 2009 qui se sont terminés en 2023, les PEPR sont des programmes nationaux pilotés par les ONR comme le CNRS, et dont les financements sont gérés par l'ANR. Ils sont de deux natures : les PEPR des stratégies nationales et les PEPR exploratoires. La première catégorie de PEPR est présentée comme une stratégie d'investissement dirigée en vue d'accélérer des filières critiques. Ainsi, dix PEPR

des stratégies nationales ont été lancés en septembre 2021 pour un total de 702 M€, deux de ces PEPR relevant de l'INC :

Le PEPR Hydrogène décarboné co-piloté par le CNRS et le CEA.

Travaux destinés à accompagner le déploiement des systèmes hydrogène à travers des analyses de cycle de vie, des études technico-socio-économiques et des aspects de sécurité.

Le PEPR Recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux recyclés piloté par le CNRS.

Centré sur cinq matériaux du quotidien – les plastiques, les matériaux composites, les textiles, les métaux stratégiques et les papiers et cartons – il vise à relever les défis écologiques, économiques et technologiques nécessaires à la transition vers une économie circulaire, compétitive et vertueuse.

Les PEPR exploratoires visent quant à eux des secteurs encore émergents avec des travaux de recherche dont les domaines d'applications relèvent encore d'hypothèses de travail. A la différence des PEPR des stratégies nationales issus d'une décision gouvernementale, les PEPR exploratoires alimentent des AAP gérés par l'ANR et orientés sur des priorités. Quatre premiers PEPR exploratoires ont été retenus en septembre 2021 dont un pour l'INC comme institut principal :

Dispositifs intégrés pour l'accélération du déploiement de matériaux émergents. Co-piloté par le CNRS et le CEA, DIADEM vise à accélérer la conception et l'arrivée sur le marché de matériaux plus performants et plus durables, notamment grâce à l'intelligence artificielle.

Lors de la vague 2 en 2022, treize PEPR ont été lauréats dont le programme « Lumière et Matière » co-piloté par le CNRS et le CEA qui vise à étudier, comprendre et développer la lumière comme moyen d'explorer et de contrôler des systèmes physico-chimiques et biologiques, afin de favoriser l'émergence de « technologies vertes », de systèmes de protection, la compréhension et le contrôle de systèmes physico-chimiques et biologiques, aux échelles ultimes d'espace et de temps. Il existe également des PEPR de stratégie d'accélération dont l'objectif est de booster la recherche et l'innovation sur des sujets prioritaires pour la France, en termes d'emploi, d'activité ou de souveraineté. Parmi ceux-ci, deux autres PEPR concernent les chimistes. Le PEPR SPLEEN copiloté par le CNRS et l'Institut français du pétrole et énergies nouvelles (IFPEN) vise à mettre en œuvre des actions de recherche permettant de rendre les procédés industriels moins émetteurs de gaz à effet de serre *via* des vecteurs énergétiques décarbonés, de favoriser les procédés de stockage, de séparation et de conversion du CO₂ en molécules d'intérêt. Le PEPR TASE, copiloté par le CNRS et le CEA, a quant à lui pour objectif de lever les verrous technologiques pour développer des réseaux d'énergie flexibles et résilients ainsi que des cellules photovoltaïques à haut rendement et à impact environnemental minimisé. De stratégie nationale, d'accélération ou exploratoires, les PEPR constituent un outil de pilotage de la recherche par les applications aval. Par leur dotation financière importante, ils constituent un risque d'amplifier les inégalités entre équipes et laboratoires inclus dans un PEPR et les autres. Le CSI regrette la procédure fortement *top-down* qui a prévalu au

montage de ces programmes, en l'absence d'une expression collective des personnels de la recherche sur la définition des thématiques de recherche prioritaires. Le CSI s'interroge si le développement actuel des PEPR comme moyen privilégié de financement de la recherche publique, et des « projets de rupture » amenés semble-t-il à prendre leur suite, ne risque pas à terme d'induire la stagnation du budget national dédié aux ONR, et d'assécher le financement récurrent des laboratoires et le renouvellement des postes d'agents CNRS titulaires, les tâches des PEPR étant confiées principalement à de jeunes chercheurs post-doctorants contractuels.

De l'importance des instances du Comité National de la Recherche Scientifique, et notamment du CSI

La mission majeure du Conseil Scientifique d'Institut de l'INC est de conseiller et d'assister par ses recommandations la direction de l'institut de chimie du CNRS. Par sa collégialité et la diversité de ses membres, le CSI offre une vaste expertise scientifique en chimie et constitue une force de propositions sur la politique scientifique de l'INC. A la fin de sa mandature, l'actuel CSI de l'INC s'est interrogé sur son rôle effectif et son apport concret pour la direction. Ces interrogations portent sur le mode de fonctionnement actuel, sur les moyens financiers alloués par le Secrétariat Général du Comité National, sur les disponibilités contraintes de la direction de l'INC, ou encore sur le type de sollicitations du CSI dans le cadre d'une programmation pluriannuelle. Pour maximiser son efficacité, le CSI propose la mise en place de quatre sessions de deux jours, comme le CSI de l'institut CNRS nucléaire et particules, dont au moins une séance publique accessible à tous les membres des laboratoires de l'INC par visioconférence. Le CSI suggère aussi sa plus grande implication dans la préparation des différents appels à projets programmes Emergence@INC et Ambassadeurs@INC, les relations de l'INC avec la MITI, le montage des « projets de rupture » qui succéderont aux PEPR, ainsi que le choix des thématiques des chaires de professeurs juniors.

En tentant d'établir l'état de l'art et la frontière actuelle des différentes sous-disciplines et des objets de recherche de la chimie, ce rapport de prospective a dégagé de grandes thématiques qui peuvent structurer les recherches dans les années à venir. On peut citer notamment la massification des données permises par les approches et méthodes à haut débit, comme la chimie en flux et leur traitement automatisée avec les outils de l'IA. Depuis toujours, la chimie a prouvé qu'elle pouvait s'adapter aux demandes de la société et répondre rapidement aux grandes questions telles que celles de ce début de siècle. Quelle que soit la finalité appliquée des recherches en chimie, le CNRS doit préserver les compétences disciplinaires, en synthèse des architectures moléculaires, en chimie analytique, en science des matériaux et en génie des procédés. Représentant la communauté des chercheurs et personnels d'accompagnement de la recherche des laboratoires de l'INC, le CSI s'est fait l'écho, au moyen de ses recommandations émises au cours du mandat, des inquiétudes des acteurs de la recherche quant aux évolutions récentes de leur travail. On peut citer la recommandation sur la baisse des budgets annuels des laboratoires de l'INC en

janvier 2020 ou celle en juillet 2023 sur le livre blanc du Conseil scientifique du CNRS sur les entraves administratives, incluant les nouvelles applications de gestion des missions.

Lieu de dialogue collégial et ouvert entre ses membres, mais aussi avec la direction, le CSI est preneur d'une lettre de mission annuelle comportant les questions que la direction de l'INC souhaite qu'il examine, avec des dates limites pour rendre ses travaux, et un retour sur l'utilisation et la prise en compte de ceux-ci. Outre le rapport de prospective qui fournit une vision globale des avancées et du futur de la chimie, il est important que le CSI puisse s'autosaisir de sujets importants non traités par les autres instances ni par la direction. Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut citer comme sujets de travaux futures : poursuivre l'analyse de l'interdisciplinarité et interroger des carrefours émergents de rencontre comme chimie et droit, chimie et économie, chimie et philosophie, réfléchir sur la chimie et le genre et bien sûr, promouvoir la réflexion sur le lien entre la chimie et la gestion durable des ressources en effectuant la cartographie des pratiques actuelles et des recherches des laboratoires dans ce domaine.

A l'issue de la réflexion menée par les membres du CSI, il apparaît essentiel que cette instance prenne toute sa place dans la politique scientifique de l'institut : Le CSI doit s'inscrire plus clairement dans une démarche de conseils et de propositions auprès de la direction de l'institut de chimie.

CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT DE CHIMIE (CSI INC) – MANDATURE 2019-2023

Lavinia BALAN (membre du bureau) ; Marylène BERTRAND-URBANIAK ; Roberta BONGIOVANNI ; Catherine DEBIEMME-CHOUVY ; Marie-Hélène DELVILLE ; Anne DOLBECQ-BASTIN ; Sylvie FOUCAUD ; Marion GIROD ; Ali ABOU-HASSAN ; Dominique HARAKAT (membre du bureau) ; Christophe INNOCENT (secrétaire scientifique) ; Emmanuel LACOTE ; Eric LEROY ; Philippe LESOT (membre du bureau) ; François MAUREL ; Claude NIEBEL ; Jean-Pierre PEREIRA RAMOS ; Claude PIGUET ; Alain RIVES ; Jean-Yves SALPIN ; Olivier SANDRE (président) ; Vincent SCHANEN ; Lorenzo STIEVANO ; Patricia VICENDO

Références

- ¹ [Fiche Science Ouverte INC 2023 VF-1.pdf \(cnrs-orleans.fr\)](#)
- ² Recommandations du CSI de l'Institut de Chimie (INC) www.cnrs.fr/comitenational/csi/reco/inc.htm
- ³ M. Jaoul-Grammare, S. Macaire, [Étudier le devenir professionnel des docteurs. Groupe de travail sur l'enseignement supérieur](#), Céreq Echanges, n° 2, décembre 2016
- ⁴ O. Wolber, P. Zedam [Devenir des docteurs trois ans après : les indicateurs par discipline](#), Note d'information SIES, n° 17.10
- ⁵ S. Pommier, M. Talby, M. Auffray-Seguette, M. Dalaut, H. Eijsberg, P. Elshawish, H. Muller, [Le doctorat en France Regards croisés sur la formation doctorale](#)
- ⁶ www.education.gouv.fr/reperes-et-references-statistiques-2022-326939
- ⁷ Baudry M., [« Projections des effectifs dans l'enseignement supérieur pour les rentrées de 2022 à 2031 »](#), Note d'information SIES, n° 23.04, avril 2023

⁸ [Éthique, déontologie, intégrité scientifique et lancement d'alerte | CNRS](#)

⁹ [Qui est auteur d'une publication ? Les quatre conditions / Définir les auteurs d'une publication scientifique | CIRAD](#)