

Alain KRIEF (1), Henning HOPF (2), Goverdhan MEHTA (3) and Stephen A. MATLIN (4)

(1) Directeur Exécutif, International Organization for Chemical Sciences in Development, 61 rue de Bruxelles, B-5000 Namur (Belgique), alain.krief@unamur.be

(2) Institute of Organic Chemistry, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig D-38106 (Germany)

(3) School of Chemistry, University of Hyderabad, Hyderabad 500046 (India)

(4) Institute of Global Health Innovation, Imperial College London, London SW7 2AZ, (UK)

Repositionnement des sciences chimiques en vue de créer un avenir durable



Alain KRIEF



Henning HOPF



Goverdhan MEHTA



Stephen A. MATLIN

Sommaire

Les sciences chimiques sont confrontées au 21^{ème} siècle à des défis majeurs dans un monde en constante évolution et hautement concurrentiel. Ces défis impactent aussi bien la réorganisation de l'enseignement et de la recherche que la contribution à la solution de problèmes liés à un monde en pleine mutation. Les sciences chimiques se doivent impérativement d'améliorer leur image et leur réputation souvent ternies par des comportements irresponsables.

Un groupe de scientifiques associés à « l'Organisation Internationale des Sciences Chimiques pour le développement » (IOCD) a médité et s'est exprimé à ce sujet, au cours des quatre dernières années, et a publié à de nombreuses occasions ses réflexions. Nous vous en présentons une compilation qui souligne l'importance du développement durable dans lequel les sciences chimiques devraient jouer un rôle prédominant.

Nous pensons cependant que les sciences chimiques devraient tout d'abord se repositionner selon le concept de « One World Chemistry », que nous détaillerons dans la suite de cet exposé, qui implique implicitement la « pensée systémique ». Cette notion prend en compte le fait que les parties constitutives d'un système (ici la chimie) interagissent, que celui-ci évolue au fil du temps, et qu'il interagit avec d'autres systèmes dans un contexte

bien plus vaste et plus complexe que le contexte original. Notre groupe a pris conscience de la nécessité pour les chimistes d'entreprendre, au niveau national et international, des réformes profondes pour changer leur mentalité et réorienter leurs pratiques et ce personnellement ou collectivement par le biais des associations professionnelles de chimie. Ils devront adopter la « pensée systémique » dans toutes leurs actions, combattre les « contre-vérités » qui délibérément véhiculent de fausses informations, réformer l'édition scientifique dont les comportements sont préjudiciables à la carrière des scientifiques et au progrès de la science ; et défendre et promouvoir la chimie par la promotion de l'équité, la diversité et l'inclusion.

1. Introduction

La chimie est essentielle pour la compréhension de la structure de la matière et l'étude des processus impliqués dans sa transformation. Ceux qui en usent de près ou de loin en sont conscients mais la perception est bien différente dans le public, chez les politiciens, les bailleurs de fonds scientifiques et les médias où la chimie n'est souvent pas appréciée à sa juste valeur.

Pendant plus de deux siècles, la chimie a contribué d'une manière exceptionnelle à la promotion des connaissances scientifiques et à la création de produits originaux qui ont permis le développement d'industries prospères, qui ont contribué à l'amélioration de la santé et des modes de vie [1]. Pourtant, on a pu noter, au cours des dernières décennies, une désaffectation des étudiants pour cette discipline et un manque de considération pour la chimie et pour les chimistes lié par exemple aux déversements sauvages de produits toxiques dans l'environnement par certains industriels, à des explosions dans des usines et des entrepôts, ou à l'utilisation de substances chimiques comme pesticides suspectées d'être, à tort ou à raison, toxiques pour l'environnement ainsi que celle des gaz de combat, d'explosifs, ou de drogues.

L'Organisation Internationale des Sciences Chimiques pour le Développement (IOCD) a été fondée par l'UNESCO en 1981 et enregistrée en Belgique en tant qu'organisation non gouvernementale de type international. Elle a eu comme objectif initial de promouvoir, grâce aux sciences chimiques, le développement des pays à revenu faible ou moyen et les compétences des individus et des institutions en particulier au travers de l'éducation et de la recherche.

Depuis 2014, un groupe de quatre scientifiques affiliés à l'IOCD, formalisé sous le nom de « Chemists for Sustainability » (C4S, Chimistes pour le développement durable, Figure 1), s'est réuni périodiquement, et occasionnellement en présence d'invités, pour réfléchir et discuter de

cette problématique. En ont découlé une vingtaine d'articles s'adressant à un large éventail de chercheurs, éducateurs et administrateurs, publiés en Anglais mais aussi en Allemand et en Japonais, dans des revues de chimie ou de science, des magazines et des journaux ainsi que la création d'un site Web.

Nous avons été amenés à conclure que la chimie devait être repensée et réformée pour conserver son attrait, continuer à être créative et productive, et prête à affronter les défis du 21^{ème} siècle et à les résoudre. Cette revue résume l'état de nos réflexions à ce jour.

2. Repositionnement de la chimie pour relever les défis du 21^{ème} siècle

Dans ses premières publications, le groupe C4S [2, 3] a montré que la chimie a joué, au cours des deux siècles précédents, un rôle clé dans la lutte contre les maladies, la résolution de problèmes énergétiques et les découvertes qui ont été à la base de nouvelles disciplines et de nouvelles industries. Cependant, il a également reconnu que, pour répondre aux exigences futures, cette science mature doit repousser les frontières actuelles. Ceci nécessite (1) un effort important auprès du public et des décideurs politiques pour leur montrer le rôle clé que la chimie joue dans tous les aspects de la vie et restaurer leur confiance afin d'instaurer un soutien à long terme et (2) que les chimistes reconnaissent leur responsabilité dans les dommages causés intentionnellement ou non par certains procédés chimiques, par certains produits



Figure 1. Réunion du groupe d'action de l'IOCD 'chimistes pour le développement durable' à Hyderabad en 2017 (de gauche à droite : Alain Krief, Henning Hopf, Stephen Matlin, Goverdhan Mehta)

chimiques et par les déchets qu'ils ont rejeté dans l'environnement.

Nous avons ainsi identifié plusieurs thèmes qui sont repris dans les paragraphes suivants. Parmi ceux-ci, la réforme de l'enseignement de la chimie à tous les niveaux nous est apparue comme étant la première priorité. Elle devrait permettre de mieux faire comprendre la chimie, de la rendre plus proche des problèmes contemporains, des préoccupations journalières de nos concitoyens et d'inspirer les futures générations de chimistes comme l'a proposé en 2016 un membre du groupe C4S lors de sa présentation intitulée « l'éducation en chimie comme agent de progrès dans le monde » à la Gordon conférence, un des principaux forums des enseignants en chimie [4].

Nous avons aussi observé que de nombreuses associations nationales et internationales dont les activités sont liées à la chimie nécessitent des réformes radicales pour permettre la valorisation et la formation professionnelle de leurs membres ainsi que la promotion de la chimie auprès de leur public. Pour ce faire il faudrait faire fi de nombreuses traditions et favoriser l'émergence de chimistes susceptibles de promouvoir des réformes et d'en dessiner les grandes lignes. Celles-ci devraient impliquer les industriels, partenaires à part entière de la communauté, qui devraient, si ce n'est pas déjà le cas, adopter sans réserve un comportement éthique impliquant une gestion correcte des produits chimiques et une innovation responsable ainsi qu'une communication claire et transparente vis-à-vis des consommateurs et d'une société profondément préoccupée par les risques. Ces réformes pourraient être relayées par les universitaires pour présenter les réalisations récentes et expliquer les enjeux scientifiques et leur l'impact sur la science dans les contextes locaux.

3. Rôle de la Chimie dans le développement durable

Notre planète fait actuellement face à un nombre sans cesse croissant de défis. La majorité d'entre eux ont été repris dans les « Objectifs de Développement Durable » (ODD) adoptés lors d'un sommet des Nations Unies en septembre 2015 dans le cadre du Programme des Nations Unies pour le développement durable et devraient être atteints en 2030 [5]. Ces objectifs

diffèrent de ceux du programme précédent intitulé « Objectif du Millénaire pour le Développement » (OMD) [6] qui étaient principalement focalisés sur l'aide des pays les plus riches aux pays les plus pauvres, mais sont inclus dans les versions suivantes (OMD et après 2015) [7] avec la restriction « partagée par tous les pays en fonction de leurs aptitudes ».

Le groupe C4S a pris conscience que la chimie est susceptible de jouer un rôle important pour réaliser l'ambitieux programme de l'ONU pour le développement durable, en développant les processus, les produits et les mécanismes requis pour atteindre les objectifs du ODD. Cependant, pour le faire de manière optimale, la chimie doit opérer des changements drastiques dans ses priorités, ses approches et ses pratiques [8,9] en particulier dans les domaines de l'éducation et de la recherche. Par exemple, l'industrie chimique devrait adopter les principes de la chimie verte, des règles et des pratiques éthiques et s'impliquer dans l'innovation et dans la gestion responsable des produits qu'elle génère [10].

En conséquence la chimie devrait être repensée et se positionner non seulement comme défenseur du développement durable, mais aussi comme son leader. Ceci devrait permettre d'éviter ou tout au moins de minimiser les problèmes et les crises qui se font jour à l'échelle mondiale et devrait être source d'inspiration ce qui favoriserait des recherches encore insoupçonnées, et donnerait de la chimie une image de science éthique, différente de l'actuelle, et digne d'intérêt et d'estime de la part de la société.

4. La chimie pour « Un-Seul-Monde » et « Approche Systémique »

Le groupe C4S a rassemblé sous le concept « One-World Chemistry » (OWC ; Chimie pour Un-Seul-Monde) l'ensemble des réformes nécessaires pour faire de la chimie une « science durable » ce qui inclut une connotation de service à la société où les problèmes de santé humaine et animale ainsi que l'environnement sont intimement liés [11-15]. Il faut dès lors être conscient du fait que les systèmes chimiques interagissent avec de nombreux autres systèmes, y compris les systèmes physiques, biologiques et écologiques de la planète

et que la solution **à de nombreux problèmes**, tant fondamentaux qu'appliqués, implique des approches interdisciplinaires qui dépassent les frontières de la discipline. Cette approche globalisée connue sous le nom « d'approche systémique » [16] s'applique à des systèmes trop complexes pour pouvoir être abordés de façon réductionniste.

En conséquence la chimie devrait être pratiquée non seulement de manière éthique et durable mais aussi systémique en tenant compte de l'impact que pourraient avoir ses produits et ses sous-produits non seulement à court mais aussi à plus long terme. Dans ce contexte, une étroite collaboration entre les universitaires et les industriels sur une approche systémique des problèmes devrait grandement dynamiser la productivité de l'industrie chimique.

Nous avons souligné à plusieurs occasions l'importance de décloisonner la chimie et de favoriser des recherches et une éducation transdisciplinaires. La chimie en tant que science fondamentale a dans le passé évolué dans son propre cadre et les recherches dans le domaine ont non seulement permis de développer la connaissance mais ont aussi contribué à l'évolution des applications technologiques dont ont profité les industries chimiques, biotechnologiques et celles impliquée dans les matériaux. Mais de nos jours, au XXI^{ème} siècle, dans le contexte d'un monde changeant et globalisé, il est primordial en sciences d'encourager les interactions entre les disciplines, en particulier le numérique, pour favoriser le dialogue, promouvoir chacun des domaines et permettre ce faisant de s'attaquer à des problèmes complexes.

Ces collaborations peuvent prendre plusieurs formes: elles peuvent être multidisciplinaires (réunir des connaissances et des approches différentes pour résoudre d'une manière collaborative et originale certaines étapes d'un problème touchant à de nombreux domaines); interdisciplinaires (développer l'expertise à la frontières entre la chimie et d'autres disciplines et en transférant les méthodes d'une discipline à l'autre); ou transdisciplinaires (au-delà de l'interdisciplinarité - qui implique toujours l'autonomie des sujets qui collaborent - afin de créer une symbiose, entre la chimie et d'autres disciplines, propice à une approche globalisée pour la solution de problèmes complexes). Cette approche devrait conduire à la création de nouvelles connaissances hors des domaines habituels. Le passage de la recherche

disciplinaire à la recherche transdisciplinaire implique [17] la transition d'approches compartimentées, correctives, résolvant les problèmes au cas par cas vers des approches systémiques et globales susceptibles de prévoir et prévenir les crises.

Un système est un ensemble d'éléments interconnectés qui est organisé de manière cohérente afin d'atteindre une fonction ou un but [18]. Une définition de la pensée systémique, adaptée de la « Waters Foundation » [19], est qu'elle utilise des stratégies qui développent la compréhension des composantes interdépendantes dans les systèmes dynamiques. Une autre façon d'exprimer cela est que la pensée systémique consiste à voir et à comprendre les systèmes comme des ensembles plutôt que comme une collection de parties. Alors que peu d'attention avait jusqu'ici été accordée à la pensée systémique dans le domaine de la chimie, elle a été un facteur important dans le développement d'autres disciplines scientifiques et technologiques, y compris la biologie et l'ingénierie [20, 21]. Pour la chimie, cette approche aurait non seulement l'avantage d'améliorer l'apprentissage en favorisant une vision plus large qui devrait encourager aussi bien l'apprentissage basé sur l'expérience qu'une réflexion pertinente, mais aussi d'expliquer comment et pourquoi le système chimique interagit non seulement avec les systèmes physiques, biologiques et environnementaux dans lesquels il se trouve intimement associé mais aussi avec les systèmes humains (comme par exemple les systèmes économiques, politiques, réglementaires et sociaux) dans lesquels la chimie est pratiquée et ses procédés et produits utilisés.

5. Approche systémique et éducation en chimie

L'utilisation d'une approche systémique dans l'enseignement de la chimie devrait être hautement bénéfique car elle devrait le décloisonner et permettre à l'apprenant d'appréhender la discipline d'une façon plus globale comme un système qui interagit avec le monde et l'impacte.

Nous avons milité en faveur d'une « éducation systémique » en chimie et avons initié une réflexion tendant à la réaliser effectivement. Dans le cadre d'une collaboration étroite avec le Professeur Peter Mahaffy [22], nous avons modélisé une approche (Figure

2) qui place l'apprenant au centre d'un système, en interaction avec trois nœuds qui différencient les processus qui s'appliquent, sans distinction de discipline à l'ensemble des apprenants, de ceux qui ne concernent que l'enseignement de la chimie et les défis qui lui sont associés, et de ceux qui impliquent les systèmes liés au monde qui incluent les systèmes sociétaux et environnementaux en accord avec les objectifs de développement durable proposés par l'ONU ou les impératifs liés aux « limites planétaires » (qu'il ne faudrait pas dépasser pour que l'humanité puisse se développer dans un écosystème sûr) [23]. Ces derniers comprennent la chimie verte, l'éducation à la durabilité, et utilisent des outils tels que l'analyse du cycle de vie (ACV) qui mesure l'empreinte d'un système sur l'environnement [24, 25, 26]. L'IOCD collabore actuellement avec l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC) dans un projet visant à développer des objectifs d'apprentissage et des stratégies pour infuser la pensée systémique dans l'enseignement de la chimie, en appliquant les principes décrits ci-dessus [27].

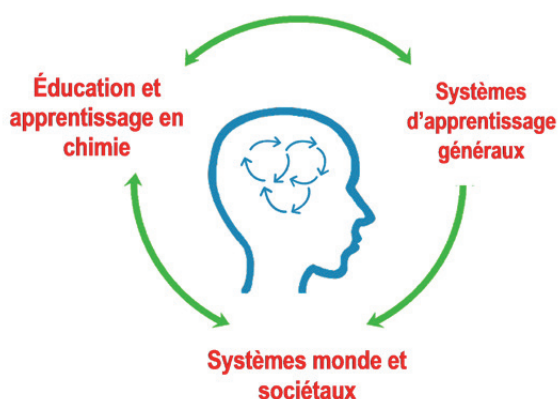


Figure 2. Modélisation de l'approche systémique dans le domaine de l'éducation en chimie

6. Réformer le rôle des organisations de chimie

Les organisations de chimie, qui représentent les intérêts de la discipline et de la profession, devraient jouer un rôle proactif de premier plan dans le repositionnement de la chimie. Ceci implique des réformes tant des organismes nationaux (par exemple les sociétés chimiques) qu'internationaux (par exemple l'IUPAC) [28, 29].

Il existe au niveau national plus de 250 organisations de chimie dans le monde, dont environ le quart

sont des sociétés nationales de chimie. Elles ont traditionnellement joué de multiples rôles, y compris en tant que sociétés savantes, organes de la profession et protectrices des intérêts des professionnels et du public. Dans un environnement changeant, ces organismes n'ont pas tous répondu efficacement aux défis émergents tels que la durabilité, la nécessité de développer des collaborations interdisciplinaires ou la promotion active d'un comportement éthique, impliquant l'intégrité ou l'équité de la recherche, la diversité et l'inclusion.

Un des problèmes majeurs pour ces organisations qui représentent la chimie au niveau national et pour celles dont les activités se concentrent sur une sous-discipline ou une technique particulière, est lié à leur financement qu'elles tirent souvent de la publication de revues savantes. Leur pérennité et les défis auxquels elles sont confrontées, tant pour représenter la discipline que pour la promouvoir sont dès lors menacés par les profonds changements qui touchent actuellement le monde de l'édition et qui sont influencés par l'évolution rapide des technologies de la communication (voir ci-dessous la section sur l'édition scientifique). Le groupe C4S a dès lors préconisé que plusieurs de ces sociétés recentrent leurs priorités en favorisant le service à leurs membres, à la discipline et à la société en lieu et place de celles liées à l'édition.

Au niveau international, les organisations de chimie se sont souvent développées soit sur le modèle de fédérations rassemblant au niveau régional ou mondial les sociétés chimiques nationales, les associations industrielles, ainsi que des organismes dont l'intérêt implique un domaine, une technique, un procédé ou une classe de substances chimiques spécifiques ; soit comme vecteurs visant à faciliter le réseautage ou la promotion d'objectifs particuliers. L'IUPAC (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée) en est un exemple. Formellement fondée en 1919, l'IUPAC rassemble parmi ses membres de nombreuses sociétés chimiques nationales et offre des opportunités de réseautage mondial grâce à ses nombreuses activités. Au fil des années, un certain nombre de ces organisations ont connu une stagnation ou une baisse de leurs effectifs et de leurs moyens financiers dans un environnement de plus en plus concurrentiel car elles possèdent des structures et une gouvernance archaïques, s'impliquent dans des projets obsolètes

qui ne répondent plus aux finalités actuelles et n'ont pu ou n'ont pas saisi l'occasion de se réformer.

Dans une de nos récentes publications [28], nous avons proposé une stratégie originale, impliquant une liste d'options qui devrait permettre à ces organisations de se repositionner pour assurer les intérêts de leurs adhérents et leur propre viabilité. Ce menu propose d'actualiser la vision, les objectifs, la stratégie et les perspectives de ces organisations, de développer une vision internationale pertinente, impliquant entre autres, une diffusion de l'information dans une langue accessible à la communauté internationale ; la promotion d'une vision moderne de la formation en chimie dans leurs écoles et leurs universités et une information pertinente du public qui implique tant le contenu que son mode de présentation et de diffusion ; un engagement total pour une publication scientifique qui soit véritablement libre d'accès ; le développement de modèles et de stratégies instaurant, restaurant et dynamisant l'interface académie / industrie ; un positionnement suggestif et pourquoi pas agressif pour promouvoir non seulement les sciences chimiques mais aussi la Science auprès du public, de l'industrie et des politiciens, qui devrait permettre d'accéder à un financement adéquat. Enfin, il nous semble important que ces institutions se soumettent périodiquement à des évaluations externes indépendantes pour assurer une bonne gouvernance, booster leur efficacité et les pousser à atteindre les objectifs proposés.

7. Chimie et santé

La chimie, en particulier la chimie organique de synthèse et la chimie analytique, a joué un rôle important dans l'amélioration de la santé, du bien-être et de l'espérance de vie au cours des deux derniers siècles [30]. Cependant, les besoins actuels sont bien plus importants, car nous connaissons au niveau planétaire un nombre élevé de maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes, une résistance généralisée aux agents antimicrobiens, un nombre sans cesse croissant de maladies non transmissibles qui ont pour origine une série de phénomènes nouveaux dont la surpopulation, l'émergence de sociétés vieillissantes, l'urbanisation, la pollution de l'environnement et le changement climatique.

Considérant l'imbrication des systèmes d'éducation, de recherche, de développement commercial et de réglementation dans lesquels les contributions de la chimie ont un impact sur la santé, le groupe C4S a identifié un certain nombre de fractures qui empêchent une contribution optimale des sciences chimiques dans le domaine de la santé [31]. Nous préconisons dès lors : (1) la re-contextualisation de l'interface chimie / santé par la création et la reconnaissance d'un nouveau domaine « Sciences Chimiques et Santé », qui devrait consolider l'enseignement et la recherche dans le domaine et créer un groupe transdisciplinaire capable d'entreprendre des recherches transversales et systémiques impliquant des problèmes multidimensionnels complexes, (2) le renforcement de l'éducation transdisciplinaire, la recherche et l'innovation dans les pays souhaitant développer leur industrie pharmaceutique, et (3) l'adoption d'une réglementation intégrée des produits pharmaceutiques, des aliments et de l'environnement.

8. Défense et promotion de la chimie

Le groupe C4S a souligné la nécessité d'attirer de nouveaux « leaders » qui contribueraient à conduire les réformes nécessaires dans la discipline, à assurer l'adéquation des sciences chimiques aux défis contemporains et à attirer un soutien appréciable en reconnaissance de la contribution des sciences chimiques au progrès à l'échelle mondiale [32]. Nous avons fait valoir qu'il fallait pour ce faire définir en premier lieu, de manière claire, les objectifs susceptibles de résoudre les problèmes sociétaux, tels que ceux édictés dans le programme cadre de l'OWC et le faire en adoptant un comportement éthique.

La réponse à la question où sont les « leaders » ? est que chacun doit devenir un « leader » : chimistes à titre individuel, départements de chimie dans les universités et les collèges, sociétés savantes, groupes de défense de l'environnement, agences gouvernementales et industries. Ils doivent agir aussi bien individuellement que collectivement par le biais d'initiatives coordonnées. Cette responsabilité partagée devrait favoriser l'émergence d'ardents défenseurs de la chimie utilisant de nouveaux modèles de communication qui devraient avoir un impact encore plus important auprès du public.

9. La science à l'ère de la « contre-vérité »

On a vu émerger au cours des dernières années, non seulement en chimie, mais aussi dans l'ensemble des domaines scientifiques et bien au-delà, un phénomène connu sous le vocable de « contre-vérité » [33].

Ceci n'est pas nouveau et au cours de l'histoire les exemples de déni de faits prouvés scientifiquement sont pléthore mais le phénomène s'est fortement accentué au cours de ces dernières décennies. On a constaté la diffusion délibérée de mensonges, une désinformation et une propagande mensongère délibérée, y compris sur des faits et des interprétations prouvées scientifiquement.

C'est entre autres le cas des dénis (a) du rôle positif de la vaccination pour prévenir des maladies graves et mortelles, (b) des conséquences sur la santé de modes de vie particuliers, (c) de la pollution de l'environnement et du changement climatique (d), de questions sociétales impliquant l'économie et la politique. Il en a résulté une distorsion des comportements, des positions politiques, des choix de vote et des modes de vie, avec des impacts aux niveaux individuel, communautaire, national et même mondial.

Nous avons attiré l'attention sur la nécessité pour les scientifiques, y compris les chimistes, de s'opposer activement à la « contre-vérité », en luttant contre ses effets insidieux, en dénonçant activement les mensonges, en présentant objectivement les faits authentiques d'une manière compréhensible au public, aux politiciens, aux décideurs, et en adoptant et promouvant la pratique de « l'esprit scientifique » [34, 35, 36]. Ce terme a été inventé par Nehru [37] en 1946 pour décrire un mode de vie qui rejette la pensée antiscience, et implique l'utilisation d'un processus logique de réflexion et d'action tant individuel que social et l'application de la « méthode scientifique » en y intégrant non seulement les notions de questionnement, d'expérimentation, d'argumentation, d'analyse et de communication mais aussi des éléments d'équité, d'égalité et de démocratie.

Il nous paraît urgent que les scientifiques et les institutions scientifiques développent des stratégies et déploient des moyens permettant de dévoiler au public, aux politiciens et aux médias l'importance

et les implications des découvertes scientifiques en particulier celles ayant un impact sur la société et sur l'environnement. Il faut qu'ils mettent en exergue, à cette occasion, les principes de la méthode scientifique et en particulier sa rigueur basée sur des faits et des théories testées et validées. À plus long terme, il faudrait développer leur esprit critique afin qu'ils utilisent ces préceptes pour appréhender et identifier les « contre-vérités » et les tactiques favorisant leur diffusion. Dans ce contexte les scientifiques devraient appliquer à la lettre les codes de bonne conduite et s'interdire toute diffusion de données falsifiées ou même exagérées et de dénoncer vigoureusement toute tentative tendant à le faire.

10. Publications scientifiques

Nous avons analysé le système d'édition scientifique dans le domaine des sciences chimiques [38] et y avons décelé un malaise profond, dommageable non seulement pour la science mais aussi pour la carrière de nombreux chercheurs. Il entache la réputation du monde de l'édition scientifique en particulier son honnêteté et son éthique et en avons identifié les raisons.

Cet état de fait résulte de la conjonction entre l'objectif primaire de la publication scientifique qui est de diffuser, le plus largement, les résultats des recherches et les théories, souvent après examen critique, et ce faisant de contribuer au développement des connaissances et celui de l'utiliser, au travers d'indicateurs quantitatifs pour évaluer les auteurs, influencer leur nomination, leur promotion, le financement de leurs projets et les distinguer pour l'attribution de prix. Ceci crée des conflits d'intérêts tant pour les auteurs que les éditeurs, et conduit à un comportement malsain, contraire à l'éthique, ou malhonnête.

Pour contrer cet état de fait, nous avons suggéré qu'il ne fallait pas rechercher des solutions partielles et qu'il était opportun d'inventer un nouveau système qui éviterait les dérives décrites ci-dessus et servirait tant les intérêts de la science que ceux des chercheurs et de la société. Il devrait de plus garantir les mêmes chances à tous les chercheurs – quelle que soit leur renommée scientifique, la localisation de leur institut ou leur sexe

– de publier leurs résultats, d'en tirer parti, de permettre à tous les scientifiques d'accéder gratuitement à tous les travaux publiés par les autres auteurs et de leur garantir ainsi qu'au public et aux autorités de tutelle, la véracité et fiabilité des résultats publiés.

Les grandes lignes du plan que nous proposons sont divulguées ci-dessous. Il implique trois systèmes intimement imbriqués.

- Le système financier est le nœud du problème. Il faudrait dès lors (a) identifier le ou les payeurs ainsi que le montant des sommes dont ils devraient s'acquitter pour permettre un accès gratuit aux publications à tous les lecteurs sans discrimination (b) restreindre les bénéfices outrageux engrangés par de nombreuses maisons d'édition.

L'avènement du modèle de « Libre Accès » (Open Access) en ligne, aux revues scientifiques et ses nombreuses variantes comme l'auto-archivage (Voie Verte) ou le modèle auteur-payeur (Voie Or) ont favorisé la multiplication de journaux prédateurs [39] qui ont un effet déplorable sur les chercheurs et la recherche. Il est dès lors impératif de proposer des solutions qui minimisent les coûts, seraient bénéfiques financièrement aux utilisateurs et diminueraient l'attrait du gain propice à l'apparition de journaux prédateurs.

Une solution évidente serait de (a) favoriser les formats électroniques en excluant les versions papier et (b) réformer la gestion coûteuse des systèmes d'évaluation. Dans ce contexte nous appelons les bailleurs de fonds scientifiques, les fondations scientifiques, les Universités, l'industrie et les politiciens d'œuvrer de concert pour exiger que les résultats des recherches qu'ils subsidient soient libres d'accès, comme ils se sont déjà engagés à le faire et pour proposer un processus pérenne qui rende leur décision effective. Dans ce contexte on peut citer la création de nombreux sites d'auto-archivage en particulier un site centralisé, à vocation nationale (HAL) [40] créé par le CNRS (Centre nationale de la Recherche Scientifique) en France au début des années 2000. La plupart des institutions de recherche françaises ont adhéré au projet HAL en 2006 et se sont engagées à participer au développement de cette archive en signant un « protocole d'accord » (actuellement 1.531.627 ressources dont 515.529 pleins textes). HAL contient à ce jour 79707 documents dont 56148 articles). Presque au même moment, en 2005,

l'Ifremer, un organisme de recherche français, a mis en place une archive institutionnelle (Archimer) [41]. Un article sur l'auto-archivage en France est apparu en 2008 [42]. Plus récemment l'Union européenne a créé une nouvelle plateforme [43] dont le développement pourrait être prometteur.

- Système de revue par les pairs : Il est de plus en plus évident que le système traditionnel d'évaluation par les pairs des articles soumis pour publication ne fonctionne plus efficacement vu le nombre sans cesse croissant d'articles introduits dans le système. Il s'avère aussi de moins en moins fiable car on recense de plus en plus de cas où les examinateurs ont été incapables de détecter des données truquées.

Il y a aussi un manque de confiance croissant dû à la non-transparence du processus et au caractère aléatoire des décisions.

De nouveaux modèles d'évaluation ont été proposés dont certains ont été testés avec succès. Entre autres le « commentaire ouvert aux pairs » qui permet à tout un chacun impliqué dans le domaine d'associer, sans restriction de temps, son avis à une ou plusieurs publications mises en ligne par un journal. Ce système très récemment implémenté aurait entre autres avantages celui de la transparence, du contrôle continu de la véracité des résultats et de permettre l'accès aux lecteurs à ces informations. Ces modèles et pratiques qui impliquent entre autres des « réseaux sociaux » méritent d'être testés sur une plus longue période. Dans d'autres cas comme celui de « HAL » décrit ci-dessus seul le dépôt sur le site du document est acté et le système d'évaluation n'existe pas [40].

Il est évident que l'avènement du Web, de l'accès en ligne aux articles, et dans certains cas de l'accès gratuit a ébranlé le domaine de l'édition. Bien que des solutions aient été proposées, aucun système universel qui satisfasse à toutes les exigences n'a à ce jour été trouvé pour se substituer à l'ancien. De toute manière, et quel que soit le nouveau système qui émergera, Il faudra qu'il permette de traquer les scientifiques qui déforment ou falsifient délibérément des données. Il serait souhaitable qu'ils encourrent de fortes pénalités, rigoureusement appliquées et rendues systématiquement publiques et

qu'éventuellement ils ne puissent plus exercer et soient interdits de financement.

- L'évaluation de la recherche et des chercheurs : Les pratiques actuelles en matière d'évaluation de la valeur scientifique d'un chercheur mettent un accent excessif sur de nombreux paramètres impliquant les publications. Entre autres le taux de citation des articles et la renommée des revues dans lesquelles ils apparaissent [44]. Ces mesures sont celles qui impactent actuellement le plus négativement les systèmes de publication scientifique car elles sont souvent utilisées de façon inappropriée pour évaluer la notoriété des auteurs et jouent un rôle prépondérant dans leur promotion et sur leur carrière professionnelle. Elles sont utilisées d'une manière aveugle, même par les experts, et se substituent aux jugements qualitatifs sur la valeur du contenu des publications, de leur originalité et de l'impact que les résultats pourraient avoir sur la discipline. La Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche (DORA) souligne que les bailleurs de fonds et les institutions devraient reconnaître que « le contenu scientifique d'un article est beaucoup plus important que les paramètres de publication ou la nature de la revue dans laquelle il est publié » et que les maisons d'édition devraient réduire drastiquement l'importance accordée à la valeur du facteur d'impact qui n'est en réalité qu'un outil promotionnel de leurs revues [45]. Nous pensons qu'il est plus que jamais nécessaire de supprimer l'utilisation de toutes les métriques de publication pour les évaluations des auteurs et en particulier du « facteur d'impact » même comme indicateur de la qualité des revues. Les institutions académiques, les agences de financement de la recherche et les organismes représentatifs des professionnels de recherche devraient s'engager à générer un « DORA 2 » et à promouvoir fortement son application au niveau mondial.

11. Les Sciences Chimiques : l'égalité des genres, la diversité et l'inclusion

De nombreux individus et groupes dans le monde souffrent de préjugés, d'exclusion, de malveillance et

parfois même de violences physiques en contradiction avec la Déclaration Universelle des Droits de l'Homme inscrite dans la chartre des Nations Unies [46]. En conséquence, les campagnes en faveur de l'équité, la diversité et l'inclusion (EDI) ont pris de l'ampleur dans le monde ces dernières années et ont touché de nombreux domaines. La communauté scientifique se doit de s'engager très activement dans l'EDI - non seulement pour se défaire des mauvaises pratiques, et en particulier celles reprises ci-dessus mais aussi pour profiter de l'opportunité de côtoyer des personnes d'origines différentes, ayant des antécédents disparates, et de partager leurs expériences. Ceci devrait contribuer à maximiser l'innovation et la créativité en science [47,48] et à renforcer les capacités de la science à s'attaquer aux problèmes mondiaux, à aider à atteindre les ODD et contribuer à créer « un avenir partagé » dans un monde fracturé [49].

Nous avons avec le Professeur Vivian Yam de l'Université de Hong Kong (HKU) [50], envisagé de combattre les formes conscientes ou inconscientes de discrimination dans les sciences et d'inciter les chimistes à jouer un rôle militant contre les préjugés en (1) devenant un modèle de bonne pratique (2) développant des compétences fonctionnelles par la formation à la compétence culturelle (relations interculturelles) en (3) promouvant les comportements qui contribuent au mieux à améliorer l'égalité, la diversité et l'inclusion [51,52].

Conclusion

Nous avons été amenés au cours de cet exposé à détailler la nature des changements et des réformes que les chimistes devaient rapidement initier pour rendre à leur science le dynamisme et la place qu'elle occupait jusqu'à la fin de la première moitié du 20^{ème} siècle et pour réactualiser son image auprès du public et des médias. Nous avons constaté à cette occasion que l'éducation jouait sans conteste un rôle prépondérant et qu'il fallait prôner des enseignements transdisciplinaires, valorisant la pensée systémique où la chimie serait perçue comme une science pérenne, au service de la société. La mise en pratique du concept d'approche systémique aux milieux scientifiques et sociétaux dans lesquels les sciences chimiques

sont impliquées nous ont conduits à proposer des réformes drastiques dans l'éducation, la recherche et la pratique de la chimie en général mais aussi dans les domaines tels que la chimie et la santé, l'édition scientifique et la recherche de l'équité, de la diversité et de l'inclusion.

Nous avons souligné que la réalisation de ces réformes nécessite des efforts de l'ensemble des acteurs impliqués de près ou de loin dans les sciences chimiques, y compris les éducateurs, les chercheurs, les organismes professionnels et les associations aux niveaux national et international. Pour ce faire Il sera nécessaire de s'attaquer à des situations difficiles et aux droits acquis. Ce sera le prix à payer pour restaurer la confiance et le soutien aux sciences chimiques d'un public qui devrait être assuré de son éthique, de la maîtrise de ses procédés de production et de la valeur de ses produits.

Informations sur les auteurs

Henning Hopf possède la nationalité allemande. Il a été Président de la Gesellschaft Deutscher Chemiker (Société Chimique Allemande), et Professeur de chimie organique aux Universités de Würzburg puis à celle de Braunschweig (TUB), où il est actuellement Professeur Émérite. Il est membre de l'Assemblée Générale de l'IOCD.

Alain Krief possède la double nationalité française et tunisienne. Il a été Président de la Société Royale de Chimie, en Belgique, et Professeur de chimie organique à l'Université de Namur où il est actuellement Professeur Émérite. Il est Professeur visiteur au centre de Recherche Hussain Ebrahim Jamal Research Institute of Chemistry, de l'Université de Karachi, Karachi, Pakistan. Il est depuis 2010 Directeur Exécutif de l'IOCD.

Goverdhan Mehta possède la nationalité indienne. Il a été Président de l'Indian National Science Academy, Directeur de l'Indian Institute of Science de Bangalor et, Fondateur, Vice-Chancellor et Professeur à l'Université d'Hyderabad, où il est University Distinguished Professor and Dr. Kallam Anji Reddy Chair in the School of Chemistry. Il est membre de l'Assemblée Générale de l'IOCD.

Stephen Matlin possède la nationalité britannique et a été Professeur de chimie biologique à la City University à Londres et à l'Université de Warwick au Royaume-Uni ainsi que Directeur Exécutif du Global Forum for Health Research à Genève. Il est présentement Professeur visiteur à l'Institute of Global Health Innovation à Imperial College London and Senior Fellow in the Global Health Centre at the Graduate Institute à Genève. Il est membre de l'Assemblée Générale de l'IOCD et son Directeur du Développement Stratégique.

Remerciements

Les auteurs remercient l'IOCD pour l'intérêt porté à ce projet. Nous avons aussi apprécié le soutien financier de : la Gesellschaft Deutscher Chemiker (Allemagne), la Royal Society of Chemistry (Royaume Uni), Syngenta (Suisse) et l'hospitalité de l'Université de Hyderabad et de l'Indian Institute of Chemical Technology (CSIR, Hyderabad) (Inde) et de son Directeur le Professeur S. Chandrasekhar.

Références

- [1] S. A. Matlin, B. M. Abegaz, *The Chemical Element: Chemistry's Contribution to Our Global Future*, J. Garcia-Martinez, E. Serrano-Torregrosa (eds), Wiley-VCH, Weinheim, 2011, Chapitre 1, 1-70. Accessible à : www.forjaweb.com/thechemicalelement/content/3527328807_c01.pdf.
- [2] S. A. Matlin, G. Mehta, H. Hopf, *Science*, 2015, 347, 1179.
- [3] S. A. Matlin, G. Mehta, H. Hopf, A. Krief, *Atlas of Science*, 27 janvier 2016. Accessible à : <http://atlasofscience.org/repositioning-chemistry-for-the-21st-century/>.
- [4] S. A. Matlin, *The Contribution of the Chemical Sciences to Global Progress: Achievements, Prospects and Challenges*. Document présenté à la Gordon Research Conference on *Chemistry Education Research & Practice: Chemistry Education as an Agent in Global Progress*. Bates College, Lewiston ME, USA, 21-26 juin 2015, 11 pp. Accessible à : www.iocd.org/v2_PDF/ChemContribGlobalProgress2015Matlin.pdf.
- [5] UN, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Résolution adoptée par l'Assemblée Générale le 25 septembre 2015. New York: UN document A/70/L.1. Accessible à : www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- [6] <http://www.un.org/french/millenaire/>
- [7] <http://www.un.org/fr/millenniumgoals/bkgd.shtml>
- [8] S. A. Matlin, G. Mehta, H. Hopf, A. Krief, *Nature Chem.*, 2015, 7, 941-943.
- [9] H. Hopf, A. Krief, S. A. Matlin, G. Mehta, *Nachrichten aus der Chemie*, 2016, 64, 547-548.

- [10] J. Stilgoe, R. Owen, P. Macnaghten, *Research Policy* 2013, 42(9), 1568-1580. Accessible à : <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>.
- [11] S. A. Matlin, G. Mehta, H. Hopf, A. Krief, *Nature Chem.*, 2016, 8, 393-6.
- [12] Site web : 'One-world' chemistry. Accessible à : www.oneworldchemistry.org.
- [13] H. Hopf, S. A. Matlin, A. Krief, G. Mehta, *Nachrichten aus der Chemie* 2016, 64, 1190-1191.
- [14] H. Hopf, S. A. Matlin, A. Krief, G. Mehta, *Die Rolle der chemischen Wissenschaften im 21. Jahrhundert - one-world chemistry*. T.K. Lindhorst, H.-J. Quadbeck-Seeger, Gesellschaft Deutscher Chemiker, Unendliche Weiten: Kreuz und quer durchs Chemie-Universum. Weinheim: Wiley-VCH 2017, 183-188. Accessible à : www.wiley-vch.de/en?option=com_eshop&view=product&isbn=3-527-34203-6.
- [15] H. Hopf, G. Mehta, A. Krief, S. A. Matlin, *Chem. Soc. Japan: Chemistry and Chemical Industry*, 2017, 10, 873-875. Version anglaise accessible à : www.chemistry.or.jp/opinion/ronsetsu1710-2e.pdf; et 2017, 10, 876-878. Version japonaise accessible à : www.chemistry.or.jp/opinion/ronsetsu1710-2j.pdf.
- [16] G. Donnadieu, D. Durand, D. Neel, E. Nunez, *Saint-Paul Association Française de Science des Systèmes*. Accessible à : <http://www.afsctet.asso.fr/SystemicApproach.pdf>.
- [17] U. Zoller, *Envir. Sci. and Pollution Res.*, 2000, 7, 63-5. Accessible à : www.ildesal.org/il/pdf/Professors/Uri_Zoller/5.pdf.
- [18] L. Von Bertalanffy, *General systems theory: foundations, development, application*, New York : George Braziller, 1968, 306pp. Accessible à : https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf
- [19] *Systems thinking : Definitions*, Waters Foundation 2017. Accessible à : <http://watersfoundation.org/systems-thinking/definitions/>
- [20] K. Boersma, A. J. Waarlo, K. Klaassen, *J. Biol. Educ.*, 2011, 45, 190-197, DOI:10.1080/00219266.2011.627139.
- [21] D. Fordyce, *Eur. J. Engineering Educ.*, 1988, 13, 283-292; publié en ligne 26 Apr 2007, <https://doi.org/10.1080/03043798808939427>.
- [22] Peter Mahaffy, The King's University Center for Visualization in Science, Edmonton, Canada.
- [23] Accessible à : https://fr.wikipedia.org/wiki/Limites_planétaires
- [24] S. A. Matlin, P. G. Mahaffy, *One-World Chemistry: Implications for Education ; International Organization for Chemical Sciences in Development*, septembre 2017, 6pp. Accessible à : http://www.iocd.org/v2_PDF/OWC-ImplicationsChemEd2017-2wcc-p.pdf
- [25] P. G. Mahaffy, A. Krief, H. Hopf, G. Mehta, S. A. Matlin, *Reorienting chemistry education through systems thinking*, *Nature Reviews Chemistry*, 2018, 2, 1-3, doi:10.1038/s41570.018.0126.
- [26] Accessible à : http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC48157/ilcd_handbook-general_guide_for_lca-detailed_guidance_12march2010_isbn_fin.pdf
- [27] *Learning Objectives and Strategies for Infusing Systems Thinking into (Post)-Secondary General Chemistry Education*, International Union for Pure and Applied Chemistry, projet numéro : 2017-010-1-050, initié le 1^{er} Mai 2017. Accessible à : https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2017-010-1-050.
- [28] G. Mehta, A. Krief, H. Hopf, S. A. Matlin, *Chemical societies must adapt – here's how to do it*, *Chemistry World* 2016. Accessible à : www.chemistryworld.com/opinion/chemical-societies-must-adapt-heres-how-to-do-it/1017387.article.
- [29] S. A. Matlin, A. Krief, H. Hopf, G. Mehta, *Chemistry International*, 2017, 39, 15-19, doi: 10.1515/ci-2017-0105.
- [30] S. A. Matlin, *Globalization and development: The critical role of pharmaceutical and biomedical analysis*, International Organization for Chemical Sciences in Development, 2011. Accessible à : www.iocd.org/v2_PDF/Matlin23PBA-Keynote2011p.pdf.
- [31] S. A. Matlin, G. Mehta, A. Krief, H. Hopf, *ACS Omega*, 2017, 6819-6821, doi: 10.1021/acsomega.7b01463.
- [32] S. A. Matlin, G. Mehta, H. Hopf, A. Krief, *Chem & Eng News*, 2017, 95(6), 20-21. Accessible à : <http://cen.acs.org/articles/95/i6/Perspectives-Championing-chemistry.html?h=-1270860936>.
- [33] R. Keyes. *The Post-Truth Era: Dishonesty and Deception in Contemporary Life*, St. Martin's Press, New York, 2004. Accessible à : <https://ralphkeyes.com/book/the-post-truth-era/>
- [34] S. A. Matlin, H. Hopf, A. Krief, G. Mehta, *Why Scientists Are Marching*, Project Syndicate, 17 April 2017. Accessible à : www.project-syndicate.org/commentary/scientists-march-against-post-truth-policy-by-stephen-matlin-et-al-2017-04.
- [35] A. Krief, H. Hopf, G. Mehta, S. A. Matlin, *Current Science*, 2017, 112, 2173-2174. Accessible à : www.currentscience.ac.in/php/cissue.php.
- [36] H. Hopf, A. Krief, G. Mehta, S. A. Matlin, *Nachrichten aus der Chemie*, 2017, 65, 659-661, doi: 10.1002/nadc.20174064437.
- [37] J. Nehru, *The Discovery of India*, John Day, New York, 1946, p. 512.
- [38] S. A. Matlin, G. Mehta, A. Krief, H. Hopf, *Beilstein Magazine*, 2017, 3, No. 9, doi:10.3762/bmag.9.
- [39] J. Beall, *Nature News*, 2012, 489, issue 7415, p. 179.
- [40] Accessible à : <http://hal.archives-ouvertes.fr/>
- [41] Accessible à : <http://www.ifremer.fr/docelec>
- [42] H. Bosc, Liinc em Revista, v.4, n.2, septembre 2008, Rio de Janeiro, p. 196-217. Accessible à : <http://revista.ibict.br/liinc/article/view/3174/2839>
- [43] *Open Science : Implementation Roadmap for the European Open Science Cloud*, European Commission Directorate for Research and Innovation 2018. Accessible à : <https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm>.
- [44] Accessible à : https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_des_revues_scientifiques.
- [45] San Francisco Declaration on Research Assessment, 2012. Accessible à : <https://sfidora.org/>
- [46] Universal Declaration of Human Rights, *United Nations*, New York 1948.
- [47] N. Bumpus, *Moving toward inclusion*, Science, 7 décembre 2015. Accessible à : www.sciencemag.org/careers/2015/12/moving-toward-inclusion.
- [48] F. Guterl, *Diversity in Science : Why It Is Essential for Excellence*, *Scientific American*, 1 octobre 2014. Accessible à : www.scientificamerican.com/article/diversity-in-science-why-it-is-essential-for-excellence/.
- [49] *World Economic Forum 2018 to call for strengthening cooperation in a fractured world*, *World Economic Forum*, Cologne, 16 octobre 2017. Accessible à : www.weforum.org/press/2017/09/world-economic-forum-2018-to-call-for-strengthening-cooperation-in-a-fractured-world/.
- [50] V. W. W. Yam, Chemistry Department, University of Hong Kong. Accessible à : <http://web.hku.hk/~wyyam/yam/homepage/>.
- [51] S. A. Matlin, V. W. W. Yam, H. Hopf, A. Krief, G. Mehta, *Tackling Science's Gender-Parity Problem*, mis en ligne par *Project Syndicate*, 9 février 2018 : Cet article a été diffusé mondialement dans les journaux. Accessible à : <https://www.project-syndicate.org/commentary/steps-toward-science-gender-parity-by-stephen-matlin-et-al-2018-02>.
- [52] G. Mehta, V. W. W. Yam, A. Krief, H. Hopf, S. A. Matlin, *The chemical sciences and equality, diversity and inclusion*, 2018, soumis.