

Recueil des résumés

lundi 3 Octobre 2022

2022

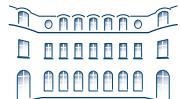
Sources de carbone

pour les grands intermédiaires de la chimie organique :

NOUVELLES APPROCHES

[https://actions.maisondelachimie.com/
colloque/sources-de-carbone](https://actions.maisondelachimie.com/colloque/sources-de-carbone)

Maison de la Chimie
28 rue Saint-Dominique 75007 PARIS



Fondation de la Maison de la Chimie



Conception graphique : CB DERFRETIN | Photo : © Climeworks 2022 / Adobe Stock : © Enrique del Barrio – © Martin Barraud/KOTO – © Tawanboonnak | le 12/07/22

Sources de carbone

pour les grands intermédiaires de la chimie organique :

NOUVELLES APPROCHES

lundi 3 Octobre 2022

Maison de la Chimie – 28 rue Saint-Dominique 75007 PARIS

Sommaire

Pages

Présentation / Comité d'Organisation
Programme

02
03

Résumés des Conférences

(selon ordre du programme)

Conférence Introductive

Luc WOLFF

04

Panorama de la pétrochimie : tendances marché - matières premières, procédés de transformation et produits - nouvelles orientations.

1^{re} Session Le changement de matière première : des fossiles vers de nouvelles sources.

François JÉRÔME

05

La biomasse : source de matière première pour l'industrie chimique.

Sarah CHOUVENC - Bénédicte COUFFIGNAL

06

Le recyclage chimique au service d'une plus grande circularité des plastiques ? (Projet RECORD).

Les déchets plastiques : défis et opportunités de ces nouvelles voies de recyclage.

2^e Session Nouveaux procédés de production de grands intermédiaires.

Jean-Luc DUBOIS

07

Les acrylates (Acrylonitrile et Acides (Méth)acryliques).

Angélique CHANAL

08

Les alcools : molécules plateformes par excellence ?

Arnold MIGUS

09

Les biocarburants, exemple d'un grand intermédiaire issu de la biomasse : espoirs et vicissitudes.

Conférence de Clôture

Xavier MONTAGNE

10

La Chimie dans les grands programmes de France 2030.

Présentation

La Chimie Organique est, par définition, la **chimie du carbone** et s'appuie pour la synthèse de ses **grands intermédiaires** (monomères, alcools, acides organiques et quelques autres) sur les sources les plus économiques, le pétrole et le gaz naturel.

Par extension, la synthèse de l'ammoniac, un autre grand intermédiaire à l'interface entre la chimie organique et la chimie minérale, est basée sur le gaz naturel comme source d'hydrogène et rejette le carbone.

Une Chimie Organique « décarbonée » devra trouver sa matière première majoritairement en dehors de ces sources fossiles pour rester neutre en carbone. Trois sources font l'objet de grands programmes de R&D : la biomasse, le CO₂ et le recyclage des produits en fin de vie.

Ce Colloque a pour objectif de présenter les **Défis** associés aux problèmes à la fois **techniques, sociaux et économiques**.

Comité d'Organisation

Jean Claude BERNIER • Université de Strasbourg

Pascale BRIDOU BUFFET • Fondation internationale de la Maison de la Chimie

Jean-Luc DUBOIS • ARKEMA

Édouard FREUND • Fondation internationale de la Maison de la Chimie

Olivier GREINER • TotalEnergies

Daniel JASSERAND • UNAFIC

Marc J. LEDOUX • DRCE Émérite du CNRS

Patrice MÉHEUX • SFGP

Mehran MOSTAFAVI • Université Paris-Saclay/Directeur Adjoint Scientifique INC/CNRS

Cathie VIX • TotalEnergies

Programme

09h45 Accueil - Introduction

Marc J. LEDOUX • DRCE Émérite du CNRS, animateur du colloque

Conférence Introductive

10h00 Panorama de la pétrochimie : tendances marché - matières premières, procédés de transformation et produits - nouvelles orientations.

Luc WOLFF • Directeur de la Ligne de Produit Pétrochimie - Axens

1^{re} Session Le changement de matière première : des fossiles vers de nouvelles sources.

10h45 La biomasse : source de matière première pour l'industrie chimique.

François JÉRÔME • Directeur de Recherche CNRS - IC2MP Poitiers

11h15 Voies partant du CO₂ : CO₂ fatal et capture à partir de l'air.

Philip LLEWELLYN • CCUS R&D Program Manager - TotalEnergies

11h45 Le recyclage chimique au service d'une plus grande circularité des plastiques ? (Projet RECORD). Les déchets plastiques : défis et opportunités de ces nouvelles voies de recyclage.

Sarah CHOUVENC • Manager - Deloitte France et **Bénédicte COUFFIGNAL** • Directrice - Association RECORD

12h15 *Discussions/débat*

12h45 *Déjeuner*

2^e Session Nouveaux procédés de production de grands intermédiaires.

14h00 Les acrylates (Acrylonitrile et Acides (Méth)acryliques).

Jean-Luc DUBOIS • Directeur Scientifique - Arkema

14h30 Les alcools : molécules plateformes par excellence ?

Angélique CHANAL • Responsable du programme R&D biofuels - TotalEnergies

15h00 Les biocarburants, exemple d'un grand intermédiaire issu de la biomasse : espoirs et vicissitudes.

Arnold MIGUS • Ancien Directeur Général du CNRS, Conseiller maître honoraire à la Cour des comptes

15h30 *Discussions/débat*

16h00 La Chimie dans les grands programmes de France 2030.

Xavier MONTAGNE • Adjoint au Directeur Scientifique du secteur Energie, Développement Durable, Chimie et Procédés, MESR-DGRI

16h45 Fin du Colloque

Conférence Introductive

Panorama de la pétrochimie : tendances marché - matières premières, procédés de transformation et produits - nouvelles orientations.

Luc WOLFF

Axens • Technology & Technical Support Business Division • Petrochemistry Product Line

Nous vivons dans un monde où la pétrochimie occupe une place de premier plan. Cette industrie permet de produire un ensemble de molécules qui entrent dans la fabrication d'une multitude de produits et matériaux que nous utilisons tous les jours, et qui sont devenus indispensables à notre société moderne dans les domaines aussi divers que l'habitat, la mobilité, les moyens de communication, ou encore l'alimentation.

Seuls sept produits chimiques primaires (grands intermédiaires) - ammoniac, méthanol et les HVCs (High Value Chemicals) incluant éthylène, propylène, benzène, toluène et xylènes mélangés - sont nécessaires à l'essentiel de l'industrie chimique [1]. Si la synthèse d'ammoniac est très majoritairement tirée par la production d'engrais, celle du méthanol et des HVCs est directement corrélée à la consommation de plastiques, fibres synthétiques et caoutchouc, et dans une moindre mesure d'une myriade d'autre produits chimiques. Même si les synthèses de l'ammoniac et du méthanol font appel à des voies différentes, le point commun est la nécessité d'hydrogène produit à partir du procédé de vaporeformage. Quant aux HVCs, ils sont en grande majorité issus de trois principaux procédés que sont le Steam Cracking, le FCC et le Reforming. Ces procédés sont de plus en plus intégrés dans des méga-complexes Crude-to-Chemicals dont l'objectif est la maximisation des rendements en produits chimiques relativement aux produits carburants.

Les projections marché tendent à montrer que, quel que soit le scénario de développement à horizon 2050, la production des grands intermédiaires est appelée à croître à mesure que l'économie mondiale continue de se développer. Leur fabrication, ainsi que celle de leurs dérivés, va donc continuer à absorber une part croissante du pétrole et gaz dans le monde. Etant donné qu'une part importante de cette matière première est utilisée en tant que charge et ne subit pas de combustion, la pétrochimie est à la fois le premier consommateur industriel d'énergie mais seulement le troisième émetteur de CO₂, derrière les industries du ciment et de la sidérurgie [1]. Ceci étant, les émissions de la pétrochimie sont amenées à augmenter de même que sa consommation d'énergie, si bien que cette industrie, comme toutes les autres, se doit de relever les défis de la transition en maximisant ses efforts pour réduire la consommation de matière première d'origine fossile, la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ mais également d'autres polluants.

Dans cette présentation, nous dresserons le panorama de cette industrie à date, quelles tendances marché se dessinent et nous donnerons un aperçu de solutions que les industriels opérateurs, les fournisseurs de technologies et produits, et les organismes institutionnels peuvent mettre en œuvre pour dessiner un scénario durable à l'horizon 2050 et au-delà.

[1]: AIE, *The Future of Petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilisers*, 2018.

Mots Clés : Pétrochimie, Marché, Charges, Procédés, HVCs.

1^{re} Session Le changement de matière première : des fossiles vers de nouvelles sources.

(par ordre du programme)

Produits chimiques de spécialité à partir de biomasse lignocellulosique.

François JÉRÔME

Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers • Université de Poitiers-CNRS • Poitiers

Avec l'augmentation exponentielle de la population sur terre et les problèmes environnementaux associés, notre société doit repenser son mode de développement vers un système plus durable. En produisant l'essentiel des produits et carburants nécessaires à notre développement, la chimie se retrouve face une équation complexe : *Comment produire toujours plus et mieux à partir de moins* ?^[1] Dans ce contexte, l'utilisation de la biomasse, incluant les déchets, en tant que matière première pour l'industrie chimique est devenue un axe de recherche majeur afin de contribuer à la « défossilisation » de notre industrie. Si la production d'énergie à partir de biomasse reste globalement limitée en raison, entre autres, de problèmes d'approvisionnement et de transport, la biomasse est en outre une matière première stratégique pour fabriquer différents produits chimiques de spécialité, pour lesquels les tonnages mis en jeu sont beaucoup plus faibles que dans le domaine de l'énergie.

Les sucres constituent une famille de molécules présente en très grande quantité dans les gisements de biomasse lignocellulosique. Si de nombreux travaux ont montré qu'il était possible de produire une myriade de composés d'intérêt à partir des sucres, le nombre d'exemple atteignant l'échelle industrielle reste limité, notamment en raison des coûts de production peu compétitifs par rapport à ceux de la filière petrosourcée. La principale difficulté rencontrée est le contrôle de la sélectivité des réactions, souvent impactée par la dégradation rapide des sucres à des températures supérieures à 120°C, conduisant également à un empoisonnement rapide des catalyseurs.

L'électrification progressive de notre société ouvre désormais de nouvelles pistes de recherches, notamment pour activer et convertir les sucres issus de résidus de biomasse à plus basses températures via l'utilisation par exemple de champs électriques, d'ondes sonores, mécaniques, etc... Dans cette présentation, nous illustrerons comment le couplage de la catalyse à des technologies « physiques » permet non seulement l'activation et la conversion des sucres (polysaccharides compris) à basse température mais également d'obtenir des produits chimiques difficilement accessibles par les voies traditionnelles de la chimie.

[1] P. Marion, B. Bernela, A. Piccirilli, B. Estrine, N. Patouillard, J. Guilbot F. Jérôme, *Green Chem.*, 2017, 19, 4973-4989

Mots Clés : Chimie biosourcée, Biomasse, Technologies, Sucres.

Le recyclage chimique au service d'une plus grande circularité des plastiques ? (Projet RECORD).

Les déchets plastiques : défis et opportunités de ces nouvelles voies de recyclage.

Erwan HARSCOËT^a, Bénédicte COUFFIGNAL^{b,*}, Sarah CHOUVENC^c,
Anne-Claire FAUGERAS^d, Federica AMMENTI^e

^{a, c, d, e} Deloitte France • ^b Association RECORD

Les technologies de recyclage chimique et physico-chimique sont particulièrement prometteuses lorsque le recyclage mécanique n'est pas apte à satisfaire les besoins du marché.

Dans la mesure où ces procédés pourraient être au service d'une plus grande circularité des plastiques, l'intérêt autour des technologies de recyclage chimique et physico-chimique est revenu sur le devant de la scène lors de la dernière décennie. En effet, le paysage actuel des activités de recyclage peut se diviser entre le recyclage mécanique, robuste et tolérant mais qui présente certaines limites en ce qui concerne la qualité des recyclats, et le recyclage chimique et physico-chimique qui permettrait de prendre en charge des déchets difficilement recyclables à ce jour et de produire des matériaux de plus grande pureté.

De nombreux développeurs de technologie ont annoncé des investissements dans de futures usines de recyclage chimique qui devraient être opérationnelles dans les cinq prochaines années. Ces projets sont souvent soutenus par un large panel d'acteurs de la chaîne de valeur. Le potentiel de ces technologies à atteindre l'échelle commerciale reste cependant à prouver, car une grande partie d'entre elles sont actuellement à l'échelle pilote/démonstration.

Le développement de ces technologies peut être affecté par de multiples incertitudes liées, entre autres, à leurs performances technique et économique ainsi qu'à la structuration des chaînes de valeur.

La rentabilité économique des technologies de recyclage chimique et physico-chimique reste encore à prouver dans la mesure où la plupart de ces procédés sont encore en développement. La viabilité économique d'une usine est déterminée par plusieurs critères tels que la capacité à respecter les spécifications des intrants, les coûts des étapes additionnelles (préparation du gisement, purification des produits), les coûts d'investissements associés à la construction de l'usine, etc. Actuellement, peu de données publiques sont disponibles.

D'autres incertitudes subsistent en ce qui concerne le devenir de certaines substances héritées contenues dans des plastiques recyclés chimiquement comme l'ECHA l'a mentionné dans son rapport publié en août 2021.

La chaîne de valeur doit également être structurée afin de permettre le développement des technologies de recyclage chimique et physico-chimique, et ce, de l'approvisionnement en gisement à la fabrication et la vente des produits finaux.

Références : RECORD, *Chemical and physico-chemical recycling of plastic waste*, 2021, 176 pages, n°21-0919/1A.

Mots Clés : Recyclage chimique et physico-chimique, Plastiques, Déchets, Technologies disruptives.

2^e Session

Nouveaux procédés de production de grands intermédiaires.

(par ordre du programme)

Les acrylates (Acrylonitrile et Acides (Méth)Acryliques).

Jean-Luc DUBOIS

ARKEMA France • Colombes

De nombreuses voies de synthèse pour l'acrylonitrile, les acides acrylique et méthacrylique ainsi que leurs esters ont été explorées. Le cas des méthacryliques est particulièrement intéressant puisqu'à l'heure actuelle 3 voies de synthèse radicalement différentes coexistent : une voie partant d'acétone, une voie partant d'isobutène (répandue en Asie), ainsi qu'une voie partant d'éthylène. De plus, le recyclage du PolyMethylMethAcrylate (PMMA) par pyrolyse redonne le monomère avec un très bon rendement. Cette voie a ainsi un impact environnemental bien plus faible que les voies de synthèse du monomère vierge. D'autres voies de synthèse des méthacryliques à partir de ressources renouvelables ou fossiles ont été explorées, mais n'ont pas encore été industrialisées.

La synthèse de l'acrylonitrile par ammoxydation du propylène est la voie qui domine actuellement. Cependant, à la suite d'un important effort de recherche dans les années 1990-2005, une voie utilisant le propane a pu être industrialisée. Par la suite, les recherches se sont tournées vers des voies pouvant utiliser des ressources renouvelables (sucre, glycérin...). La taille d'une unité industrielle de capacité mondiale d'acrylonitrile est cependant bien plus élevée que la disponibilité locale en biomasse, ce qui nécessite d'identifier les marchés où le produit permet de résoudre d'autres problèmes. C'est particulièrement pertinent dans le cas des produits dangereux et réglementés comme l'acrylonitrile, où une production sur site permet d'éviter le transport et le stockage de quantités importantes.

L'acide acrylique est essentiellement produit par oxydation sélective du propylène en 2 étapes. D'autres voies de synthèse ont été utilisées dans le passé comme l'hydroxycarbonylation de l'acétylène ou l'hydrolyse de l'acrylonitrile. L'oxydation directe du propane a aussi fait l'objet de nombreuses recherches avec différentes technologies de réacteurs dont le lit fluidisé circulant. Ces 20 dernières années, ce sont les voies utilisant des ressources renouvelables qui ont mobilisé l'attention, que ce soit en partant de glycérin par une voie purement chimique, et en passant par l'acroléine comme intermédiaire commun avec la voie partant du propylène, ou par des voies fermentaires passant par les acides lactiques, 3-hydroxypropionique, le Poly-3-hydroxypropionique, et quelques autres qui seront abordées.

Les différentes voies de synthèse développées et leur degré de maturité illustrent la créativité dans le domaine, mais aussi les nombreux freins à la mise en œuvre de ces voies alternatives.

Mots Clés : Acrylonitrile, Acide Acrylique, Acide Méthacrylique, Ressources Renouvelables, Recyclage.

Les alcools : molécules plateformes par excellence ?

Angélique CHANAL

TotalEnergies • Centre de Recherches de Solaize

La production de molécules durables à faible impact carbone est aujourd’hui une cible pour l’ensemble des acteurs du monde de l’Énergie, mais aussi de la Chimie, et les défis sont encore nombreux. Un des principaux défis réside dans la quantité de matières premières renouvelables disponibles pour substituer les solutions fossiles. En effet, les réglementations, mais également les clients intermédiaires ou finaux, veillent à ce que les matières utilisées ne rentrent pas en compétition avec d’autres usages et en particulier alimentaire. Il nous faut donc produire en large quantité mais de façon de plus en plus circulaire c'est-à-dire sur la base de déchets qu’ils soient organiques, plastiques voir même minéral comme le CO₂.

Il ne faut donc pas déployer une mais de nombreuses solutions technologiques pour valoriser ces déchets. Cependant pour favoriser les déploiements industriels et gérer au mieux les problématiques de logistique associées, il est crucial de pouvoir passer par des molécules plateformes.

Dans ce contexte les alcools pouvant être produits à partir de biomasse, de CO₂, voir même de rejets industriels ou déchets plastiques, semblent pouvoir jouer un rôle prépondérant dans le développement des solutions bas carbone de demain, que ce soit sur le marché des carburants routiers, maritimes ou aériens que des polymères. Cette intervention balayera le Potentiel et les Défis associés à l’utilisation des alcools comme molécule plateforme, qu’ils soient techniques, économiques ou sociétaux.

Mots Clés : Alcools, Intermédiaires, Énergies, Polymères.

Les biocarburants, exemple d'un grand intermédiaire issu de la biomasse : espoirs et vicissitudes.

Arnold MIGUS

Conseiller maître honoraire à la Cour des comptes • Ancien Directeur général du CNRS

L'auteur de cette intervention s'est intéressé à la problématique des biocarburants en rapportant une des premières évaluations de politique publique à la Cour des comptes sur précisément ce sujet [1]. Sa revisite par la Cour une décennie plus tard [2] a été d'un grand secours pour sa mise à jour. Généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile, les biocarburants sont des carburants de substitution obtenus à partir de la biomasse (matière première d'origine végétale, animale ou issue de déchets). La filière biocarburant essence comprend l'éthanol et son dérivé l'ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther) ainsi que les bio-essences de synthèse. Celle des biocarburants gazole (ou biodiesel) comprend différents produits fabriqués à partir d'huiles issues de plantes oléagineuses, de graisses animales ou d'huiles usagées.

Le sujet sera abordé sous l'angle des différentes politiques publiques nationales et européennes auxquelles les biocarburants ont successivement répondu. Depuis une trentaine d'années, ces politiques d'abord énergétique, puis agricole et plus récemment environnementale se sont concrétisées par des objectifs d'incorporation croissante, appuyés par des instruments fiscaux très puissants. Or, en termes d'émission de CO₂, les analyses de cycle de vie (ACV) initialement favorables des biocarburants dits de « première génération », c'est-à-dire ceux en concurrence avec les productions à des fins alimentaires qui constituent la presque totalité des incorporations, sont remis en cause à partir du concept de « changement d'affectation des sols indirect » (CASI).

Beaucoup de ressources ont été investies depuis une quinzaine d'années dans les biocarburants de « deuxième génération » issus majoritairement de la transformation de la lignocellulose contenue dans les résidus agricoles (paille) et forestiers (bois) dont il est estimé qu'ils réduisent les émissions de 90%. La technologie a fonctionné mais la mise en œuvre s'est avérée très difficile dans les faits (problèmes des matières solides, de leur transport, stockage et inadaptation à l'industrie chimique, coût élevé des enzymes), conduisant à un échec économique. Cette filière continue toutefois à se développer à partir d'hydrotraitements des huiles, dans la niche des biocarburants aéronautiques durables, levier stratégique pour un secteur qui dispose de peu d'alternatives énergétiques [3].

Enfin, la nouvelle politique publique conduisant à l'interdiction en Europe à partir de 2035 de la vente de véhicules neufs à moteur essence ou diesel ouvre dorénavant une période d'incertitude et de remise en cause de cette filière industrielle.

[1] Cour des comptes, « La politique d'aide aux biocarburants », *La Documentation française*, 267 pages, janvier 2012 (disponible sur le site : www.ccomptes.fr)

[2] Cour des comptes, « La politique de développement des biocarburants », 20 décembre 2021, rapport sur le site de la Cour

[3] R.F. Service, « Can biofuels really fly? », *Science*, 24 June 2022, vol376, pp.1394-1397

Mot clé : Biocarburants, Éthanol, Biogazole, CO₂.

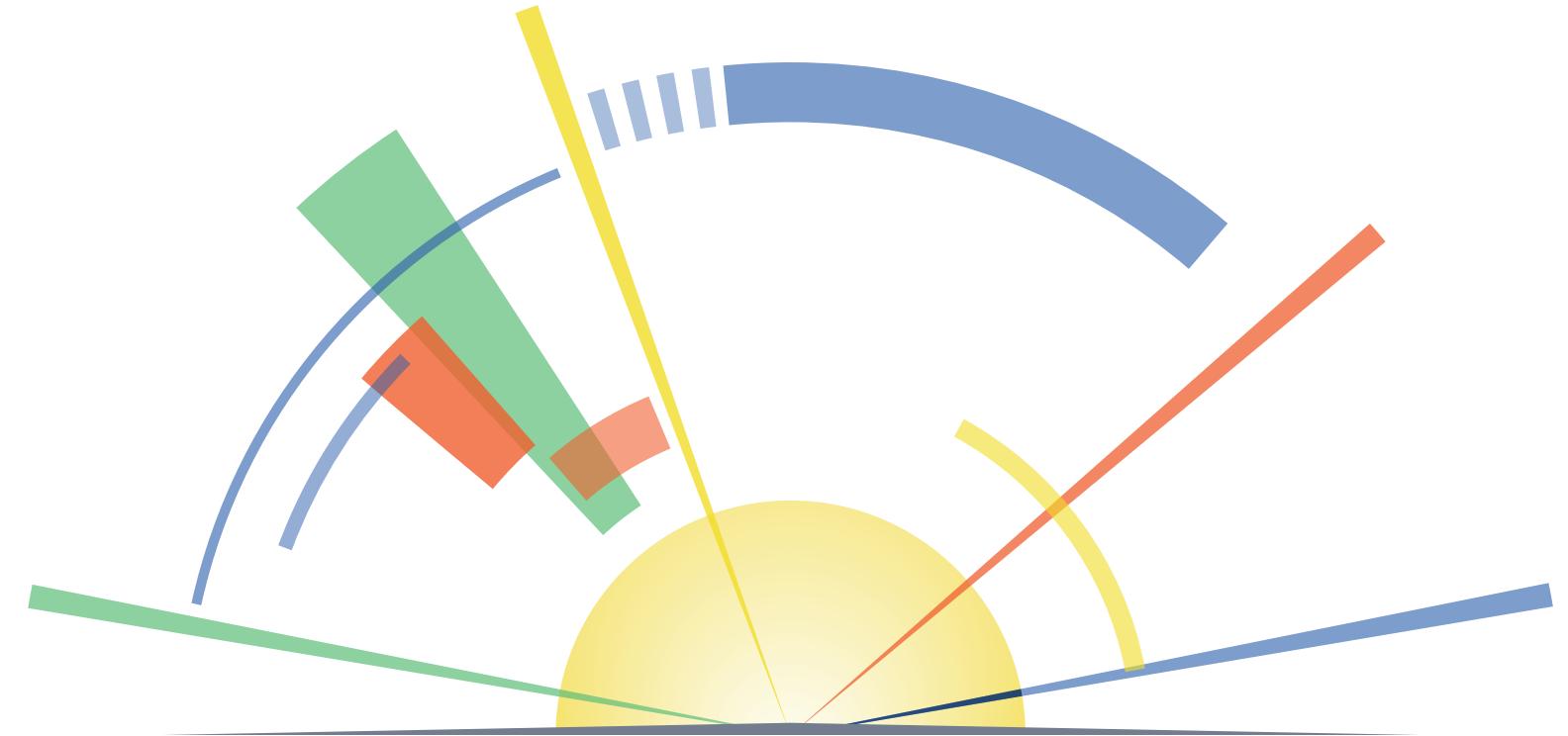
Conférence de Conclusion

La Chimie dans les grands programmes de France 2030.

XAVIER MONTAGNE - Frédéric RAVEL

MESR-DGRI

Le monde de demain va devoir relever un très grand nombre de défis qu'ils soient écologiques, démographiques, économiques, technologiques, industriels ou sociaux. Face à cette situation dans ce monde en perpétuelle évolution, France 2030 offre dès à présent des moyens exceptionnels pour s'adapter et pour anticiper les grandes révolutions contemporaines qui sont à l'œuvre pour redonner sa souveraineté à la France. Dans ce cadre, 10 objectifs sociétaux sont fixés pour mieux produire, mieux vivre et mieux comprendre notre monde. Favoriser l'émergence de petits réacteurs nucléaires modulaires d'ici 2035, devenir le leader de l'hydrogène décarboné et des ENR à l'horizon 2030, décarboner l'industrie, produire en France près de 2 millions de véhicules électriques et hybrides chaque année à l'horizon 2030, produire en France d'ici 2030 le premier avion bas carbone, produire au minimum 20 biomédicaments contre les cancers et le maladies chronique sont quelques exemples des objectifs ciblés. Tous ces défis mobiliseront de nombreux chercheurs et industriels pour permettre l'innovation. Si l'on approche la question par champ disciplinaire, la chimie sera l'un des contributeurs majeurs pour relever ces défis et France 2030 au travers de ses stratégies nationales d'accélération, de ses PEPR (Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche), contribuera à disposer d'une recherche en chimie au meilleur niveau et d'une industrie chimique forte. La présentation s'attachera à faire un état des lieux des actions et programmes soutenus dans France2030 dans le domaine de la chimie (chimie biosourcée, chimie séparative, matériaux, ...).




Fondation de la Maison de la Chimie

Maison de la Chimie
28 rue Saint-Dominique
75007 PARIS