



L'AVENIR DE L'INDUSTRIE EST-IL DANS LA CHIMIE ?

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	3
LES RÉACTIONS CHIMIQUES DANS L'INDUSTRIE	4
▪ LA CHIMIE CLICK RÉVOLUTIONNE LA BIOLOGIE	4
▪ LES BIORAFFINERIES ONT-ELLES UN AVENIR ?	6
▪ LES STEP PEUVENT-ELLES TRAITER LES MICROPOLLUANTS ?	8
▪ DE L'HYDROGÈNE LIQUIDE DANS L'ACIDE FORMIQUE	10
EN DIRECT DES LABOS	12
▪ 8 RÉACTIONS CHIMIQUES INCROYABLES	12
▪ LES RÉACTIONS CHIMIQUES À L'ORIGINE DE LA VIE (PEUT-ÊTRE)	14
POUR ALLER PLUS LOIN	16
▪ LA CHIMIE AU SERVICE DE L'IPAD ET DE L'IPHONE	16
▪ QUELQUES IDÉES FAUSSES SUR L'OSMOSE	18
▪ DES APPROCHES PRÉDICTIVES POURRAIENT SE SUBSTITUER AUX VRAIS TESTS DE SUBSTANCES CHIMIQUES	20

INTRODUCTION

Dans l'histoire de l'innovation industrielle, la chimie a souvent permis d'effectuer des sauts technologiques incroyables. Assez pour devenir le pilier de la recherche ?

LES RÉACTIONS CHIMIQUES DANS L'INDUSTRIE

LA CHIMIE CLICK RÉVOLUTIONNE LA BIOLOGIE



Présenté par Sharpless en 2001, la « click chemistry » consiste à clipper deux molécules l'une à l'autre, comme on ferme un bouton pression. Explications.

Toutefois, toutes les molécules ne peuvent pas être clipées à n'importe quelle autre. La réaction met en jeu un alcyne et un groupement à base d'azote. Depuis une dizaine d'années, la chimie click fait l'objet de nombreuses recherches. Si certaines visent principalement à maîtriser la réaction, beaucoup portent sur des nanoparticules d'or qui sont très utilisées dans le secteur médical. Le couplage entre des azotures et des alcynes fait partie des réactions chimiques dites bio-orthogonales, des réactions biocompatibles et d'une grande sélectivité. Voici 7 exemples d'applications de la chimie click.

Le CEA prépare des motifs chimiques

Les chercheurs du **CEA-Ibitec-S** ont développé une nouvelle application de la chimie click. Pour assembler deux

éléments, les chimistes dotent l'un d'entre eux d'un groupement hétérocyclique doublement chargé, aussi appelé sydnone, et le second d'un groupement alcyne. En présence d'un catalyseur, souvent du cuivre, ces deux motifs permettent de clipper les éléments l'un à l'autre. Les scientifiques ont découvert cette réaction suite à une analyse à base de criblage à haut débit de milliers de combinaisons possibles. Cette réaction peut se produire dans du sang humain par exemple, et donc s'appliquer à la chimie médicale aussi bien qu'aux biotechnologies.

Des nanoparticules d'or liquides-cristallines

Dans sa thèse soutenue en 2012, **Sylvain Mischler** de l'université de Neuchâtel explique comment la chimie click peut servir à synthétiser des nanoparticules d'or. Pour y parvenir des dendrons liquides-cristallins sont greffées aux nanoparticules d'or par cycloaddition 1,3-dipolaire. La réaction est catalysée par du cuivre. Cette approche permet de

greffer aux particules d'or des dendrons acétyléniques de première et deuxième génération, mais aussi des structures dendritiques contenant des fullerènes comme le méthanofullérodendron.

Assemblage et désassemblage de systèmes prodrogue

En 2011, l'**ANR** accepte de financer la mise au point d'un nouveau système de systèmes nanoparticulaires poreux capable de libérer de façon contrôlée un principe actif. Ce dernier est encapsulé et relâché par ouverture de nanovalves quand il est éclairé. Pour y arriver, les chercheurs misent sur la chimie click pour lier la drogue à une molécule porteuse puis la libérer rapidement sous l'effet de la lumière UV. D'où le nom de click-unclick.

Assemblage de nanoparticules magnétiques sur des surfaces fonctionnalisées

Autre thèse, autre financement ANR. Delphine Toulemon de l'**Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg** a réussi à clipper des nanoparticules magnétiques sur des surfaces fonctionnalisées par des molécules organiques. L'utilisation de radiations microondes permet d'accélérer la réaction tandis que le contrôle de la réaction click par électrochimie optimise la préparation de films multicouches de nanoparticules.

Fixer des nanoparticules d'or sur un substrat

Des scientifiques polonais ont utilisé la chimie click pour fixer des nanoparticules d'or sur un substrat de carbone vitreux. Ce faisant, les nanoparticules se retrouvent liées au substrat via des liaisons covalentes, plus robustes que les liaisons faibles existantes lorsque les nanoparticules sont simplement déposées. Les chercheurs de l'Institut de chimie physique de l'académie polonaise des sciences (Varsovie) ont réussi en ajoutant des acyles aux nanoparticules d'or et des azotures au substrat. La réaction utilise une catalyse électrochimique, ce qui optimise le temps de réaction par rapport à une catalyse chimique. Cette méthode pourrait servir à fabriquer des détecteurs de conservateurs par exemple. Les scientifiques polonais assurent pouvoir travailler avec d'autres types de substrats.

Synthèse d'agents bimodaux

Au **Laboratoire de synthèse et physicochimie de molécules d'intérêts biologique à Toulouse**, les scientifiques ont élaboré des complexes hétérobimétalliques pouvant servir pour l'imagerie bimodale. Grâce à la chimie click, ils ont notamment greffé une pince iminodiacétate tridente sur un complexe Re(I)-pyridine-triazote pyta bidente utilisable comme sonde bimodale fluorescente.

Et si on se passait du cuivre ?

Alors que la chimie click a tout pour séduire le monde du vivant, elle présente un point faible : sa cinétique est extrêmement faible, d'où le recours fréquent à un catalyseur, le **cuivre**. Sauf qu'un excès de cuivre peut présenter une certaine toxicité cellulaire. Pour s'en affranchir, les scientifiques du Laboratoire de marquage au carbone 14 du CEA ont eu l'idée d'intégrer le cuivre directement à l'un des deux éléments à clipper. Les chercheurs ont développé un réactif comprenant à la fois la fonction azoture et un complexant de cuivre. Plus besoin de rajouter le catalyseur tout en conservant une bonne cinétique en réalisant les réactions en quelques secondes.

Par Audrey Loubens

Et aussi dans lesressources documentaires :

- [Chimie verte](#)
- [Opérations unitaires : génie de la réaction chimique](#)
- [Bioprocédés](#)
- [Agroalimentaire](#)

26/04/2015

LES BIORAFFINERIES ONT-ELLES UN AVENIR ?

Avec l'arrivée des filières lignocellulosiques, le bioraffinage passe un cap et on parle de bioraffinerie de seconde génération. De quoi redonner du souffle à un secteur qui peine à s'imposer du fait de coûts de production trop élevés pour les marchés.

Faut-il miser sur le bioraffinage ? Alors que le marché des produits biosourcés devrait doubler dans 5 ans (d'après un rapport du LMI) et que le marché mondial des bioraffineries se prépare à afficher une croissance insolente de 8.93% par an jusqu'à 2018, on pourrait croire que tous les voyants sont au vert. Pourtant, les bioraffineries peinent à imposer leurs produits face à leurs homologues issus de la pétrochimie. En cause, une réalité économique impitoyable. « Même le procédé le plus « vert » possible ou biosourcé échouera à détrôner son équivalent pétrosourcé s'il n'est pas compétitif au niveau du prix » résume **Franck DUMEIGNIL**, Directeur de l'unité de catalyse et de chimie du solide de l'université de Lille 1 et coordinateur du projet européen **EuroBioRef**. Seuls les biosourcés à haute valeur ajoutée pourront espérer s'affranchir de cette contrainte.

En Europe, aux freins de nature économique vient s'ajouter la réglementation **REACH** qui impose de faire certifier toute nouvelle molécule. Les frais afférents aux divers tests requis sont rarement supportables par une PME. Mais la chimie verte peut compter sur un contexte favorable. Le besoin de remplacer des produits issus de la pétrochimie par des produits biosourcés aux mêmes propriétés est réel. Les directives européennes visent d'ailleurs à incorporer 10% de biocarburant d'ici à 2020 et l'industrie chimique française s'est engagée à utiliser 15% de matière première d'origine végétale dès 2017. Il serait possible de remplacer un tiers des hydrocarbures fossiles en transformant la biomasse. C'est là que l'arrivée de la filière lignocellulosique est déterminante. Alors que la bioraffinerie de 1ère génération était en concurrence directe avec l'alimentation

humaine et animale, celle de 2ème génération propose de convertir la lignocellulose, composée de lignine, d'**hémicellulose** et de **cellulose**.

« Autre difficulté, si les technologies existent, les sortir de l'intimité du laboratoire coûte extrêmement cher. La réalisation d'un démonstrateur nécessite le soutien d'un industriel solide car le risque est réel, et les aides publiques manquent » déplore-t-il. Les bioraffineries sont d'ailleurs plus nombreuses en Amérique du nord, aidées par des politiques de soutien. En 2010, l'Europe accepte de financer à hauteur de 23.5 millions le projet European multilevel integrated biorefinery design for sustainable biomass processing (EuroBioRef) dont le but est d'élaborer une nouvelle raffinerie intégrant l'ensemble des processus de transformation de la biomasse. Terminé en 2014, ce projet incluant 29 partenaires européens a permis de déposer 21 brevets. Les résultats ont permis d'optimiser les biotechnologies pour produire des molécules plateformes à partir de glycérol et d'hydrolysats de biomasse. Une usine pilote est sortie de terre en Norvège, capable de traiter 50kg de matière lignocellulosique sèche chaque heure.

L'un des principaux obstacles techniques que doit surmonter le bioraffinage réside dans la séparation. Culturellement, les différents utilisateurs préfèrent travailler avec un composé unique, aux propriétés bien définies plutôt qu'avec des mélanges. Or, par définition la biomasse est une matière première hétérogène, puisque variable en fonction des saisons, de la météo, de la sorte de plante... Néanmoins, concernant la production de biocarburants, le projet BioTfuel illustre bien l'évolution des mentalités. Ce projet de production de biocarburants de 2ème génération par la voie thermochimique a pour objectif de développer une chaîne de procédés dédiée à la production de biogazole et de biokérosène disponibles sur le marché dès 2020. Pour y arriver, **BioTfuel** mise sur le cotraitement, c'est-à-

dire le traitement d'une large gamme de ressources, biomasse et fossile en même temps. Le produit final est donc un mélange de carburant d'origine fossile et de biocarburant, dont la teneur sera variable. Cette flexibilité permet à la fois d'améliorer le rendement et d'abaisser les coûts de production. La technologie de gazéification appliquée aux matières fossiles devra être adaptée à l'injection de biomasse. Total, associé à ce projet, s'est aussi engagé dans Futurol, afin de développer un procédé de production d'éthanol par voie biologique à partir de différentes biomasses. Cette fois, les sucres sont extraits de la biomasse puis fermentés pour se transformer en éthanol. L'installation pilote est basée à **Pomacle-Bazancourt**. A terme, l'usine pourrait produire 500L d'éthanol chaque jour.

De son côté, l'**INRA** a développé un nouveau procédé de fractionnement de la biomasse ligno-cellulosique. Celle-ci étant particulièrement variée, la phase de prétraitement est souvent coûteuse, bien qu'elle soit un préalable essentiel aux étapes suivantes que sont l'hydrolyse enzymatique pour la production de sucres et la fermentation transformant les sucres en bio-éthanol. Les chercheurs de l'Inra proposent de réaliser tout d'abord une étape de broyage ultrafin, suivie d'une étape de séparation électrostatique. De la paille a ainsi pu être fractionnée en plusieurs parties enrichies en cellulose et en lignine-hémicellulose. Cette approche par voie sèche sans traitement chimique ni effluent a fait l'objet d'un brevet et s'applique au bois, aux sous-produits agricoles ou encore aux cultures ligno-cellulosiques.

Autre axe d'innovation, la catalyse hybride, censée combiner les atouts des catalyses chimiques et enzymatiques. REALCAT, plateforme intégrée appliquée au criblage haut débit de catalyseurs pour les bioraffineries hébergée à Centrale Lille, est dédiée au développement de catalyseurs pour les bioraffineries. « Les molécules issues de la biomasse sont plus réactives que celles issues de la pétrochimie. Loin d'être un avantage, ce comportement nécessite une attention particulière lors du process pour éviter qu'il ne s'emballe. » indique Franck Dumeignil.

Si aujourd'hui les produits issus du bioraffinages ne sont

pas compétitifs avec leurs homologues pétrosourcés, le besoin d'indépendance vis-à-vis du pétrole motive des investissements qui pourraient bien changer rapidement la donne.

Par Audrey Loubens

Et aussi dans les ressources documentaires :

- [Chimie verte](#)
- [Opérations unitaires : génie de la réaction chimique](#)
- [Bioprocédés](#)
- [Agroalimentaire](#)

27/04/2015

LES STEP PEUVENT-ELLES TRAITER LES MICROPOLLUANTS ?

Les stations d'épuration françaises (STEP) utilisent principalement le procédé de traitement par boues activées dans lequel des bactéries dégradent la matière organique, ce qui aboutit à la formation de boues. Elles doivent évoluer pour répondre aux nouvelles normes et aux nouvelles attentes de la population, notamment pour traiter les micropolluants.

« Jusqu'à présent, les **stations d'épuration** étaient conçues pour traiter les matières en suspension, le carbone, l'azote, le phosphore. Il y a désormais d'autres aspects qualité qui définissent la qualité d'un cours d'eau, notamment sur les micropolluants », prévient **Samuel Martin**, Responsable du département R&D Assainissement et Environnement au **CIRSEE-Suez Environnement**. La Directive Cadre sur l'Eau européenne a redéfini les critères de qualité des cours d'eau pour plusieurs substances. « On n'est plus au niveau de paramètres globaux comme la DBO, les matières en suspension ou l'azote total, mais on est au niveau des molécules elle-même, à des concentrations assez faibles, de ng/L au µg/L ».

Pour les stations les plus répandues, les résultats du projet **AMPERES** (2006-2009), porté par Irstea en collaboration avec Suez Environnement et l'Université de Bordeaux, par financement de l'Onema, montrent qu'environ 85 % des substances quantifiées en entrée de station sont éliminées à plus de 70 % au cours du processus. Mais un certain nombre de substances sont éliminées à moins de 30 %. Il s'agit de pesticides polaires (glyphosate, AMPA, diuron) et de quelques produits pharmaceutiques. Au final, environ 15 % des substances prioritaires sélectionnées au niveau européen, 30 % des molécules organiques et 90 % des substances pharmaceutiques quantifiées dans les eaux brutes se retrouvent en sortie des procédés biologiques à des concentrations supérieures à 0,1 µg/L.

Armistiq : améliorer l'élimination des micropolluants

Le projet **ARMISTIQ** (2010-2013), porté par les mêmes partenaires que le projet AMPERES, montre qu'il est possible d'améliorer l'élimination des différentes familles de micropolluants en sortie de stations d'épuration en adaptant le procédé classique de boues activées et en ajoutant des traitements complémentaires.

La réalisation de simulations numériques a permis de montrer que cela est possible en augmentant la concentration des boues ou la durée d'aération dans les bassins. Cette amélioration des performances n'est néanmoins pas efficace pour un grand nombre de polluants présents en sortie de station d'épuration.

Le projet s'est donc aussi intéressé à l'optimisation de la dégradation des micropolluants par l'utilisation seule ou en combinaison de traitements complémentaires : l'ozonation, l'oxydation avancée (combinaisons UV/H₂O₂, O₃/UV, O₃/H₂O₂) et le traitement par charbon actif.

: Efficacité des 3 traitements complémentaires testés pour l'élimination de différentes familles de micropolluants. Représentation du rendement d'élimination entre la sortie de traitement secondaire et la sortie du traitement complémentaire testé : R<30 % (rouge), 30 %<R<70 % (orange), 70 %<R<90 % (vert clair), R>90v% (vert foncé)

« L'ozone, combiné ou pas à peroxyde d'hydrogène, est efficace pour une grande majorité de substances. C'est le cas aussi pour le charbon actif, avec quelques différences sur certaines molécules », assure Samuel Martin. Une bonne nouvelle est à noter : si le projet AMPERES a montré que les médicaments étaient présents à plus de 90 % à des concentrations supérieures à 1 µg/L en sortie de station, les 3 traitements complémentaires testés ici les

éliminent à plus de 70 %.

L'ozone combiné au peroxyde d'hydrogène présente les meilleurs rendements, mais c'est aussi la solution la plus chère. Pour les grosses collectivités, l'ozone semble être le meilleur rapport performances/coût. Pour ces dernières, l'installation de ce procédé conduirait à une augmentation du prix de l'eau de deux centimes d'euros par m³, soit une facture additionnelle d'environ 2 € HT par habitant et par an, contre 20 € HT par habitant et par an pour le procédé peroxyde/UV.

En France, la politique s'oriente vers la réduction de la pollution à la source. Mais cela n'est pas toujours suffisant. « Si l'on veut appliquer ces solutions sur les stations actuelles, techniquement, ce n'est pas trop compliqué. On peut installer une étape de traitement tertiaire s'il y a de la place sur le site et si le traitement en amont est de qualité suffisante », assure Samuel Martin. Le choix d'investissement revient aux collectivités qui doivent arbitrer entre prix de l'eau et diminution de la pollution des cours d'eau

De nouveaux projets pour mieux traiter les micropolluants

Le projet Armistiq s'est également intéressé à l'évolution des micropolluants accumulés dans les boues, suite au séchage ou à la méthanisation. Quel que soit le procédé testé, les micropolluants sont peu affectés par les procédés actuellement utilisés. Le nouveau projet RISO-PRO (2013-2015), financé par l'Onema et coordonné par l'Inra étudie donc leur devenir après épandage.

Une question demeure : après dégradation des micropolluants par les procédés avancés, les sous-produits sont-ils toxiques pour le milieu récepteur ? Qu'en est-il de la toxicité des micropolluants non éliminés ? C'est l'enjeu du projet EchiBioTEB (2011-2014) dont les conclusions seront prochainement communiquées par Irstea.

Le projet Micropolis (2014-2017) a été lancé à Sophia Antipolis avec Irstea, l'Agence de l'eau et d'autres partenaires en écotoxicologie. Sur le site existant, l'objectif est d'évaluer les performances de traitement par ozonation et trai-

tement biologique complémentaire, l'impact sur le milieu et l'énergie consommée. L'idée est également de coupler des outils chimiques et écotoxicologiques (avec des gammes) pour évaluer la toxicité en sortie de station.

Le site SIPIBEL, site pilote de Belcombe, a pour objectif de réaliser l'étude de la caractérisation, de la traitabilité et des impacts des effluents hospitaliers en station d'épuration urbaine. Deux projets y sont menés : le projet Interreg franco-suisse IRMISE Arve aval (2013 -> juin 2015) qui porte sur l'impact des rejets de micropolluants (dont des résidus de médicaments) issus de STEP sur l'aval du bassin versant de l'Arve et la nappe du genevois et le projet RILACT (nov. 2014 -> mai 2018), portant sur les risques et leviers d'action relatifs aux rejets de médicaments, détergents et biocides dans les effluents hospitaliers et urbains.

Avec le **SIAAP**, Suez Environnement teste enfin un procédé d'oxydation catalytique pour aller plus loin dans la dégradation des micropolluants tout en réduisant la dose d'ozone utilisée.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

Et aussi dans les ressources documentaires :

- [Chimie verte](#)
- [Opérations unitaires : génie de la réaction chimique](#)
- [Bioprocédés](#)
- [Agroalimentaire](#)

27/04/2015

DE L'HYDROGÈNE LIQUIDE DANS L'ACIDE FORMIQUE

L'hydrogène devrait jouer un rôle important dans le futur de l'énergie. Mais son utilisation à haute pression à température ambiante pose encore quelques problèmes de sécurité, de logistique et de rentabilité. La solution pourrait être de le stocker sous forme d'acide formique, liquide à température et pression ambiantes.

L'hydrogène peut être utilisé comme carburant grâce aux piles à combustibles et pourrait servir à stocker l'excédent de production renouvelable, comme le solaire ou l'éolien. Mais extrêmement inflammable, il doit être stocké dans d'encombrants conteneurs pressurisés. Pour surmonter cet obstacle, les équipes de Gábor Laurency de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), ainsi que celles du Leibniz-Institut für Katalyse ont trouvé une solution originale : transformer l'hydrogène en acide formique.

De l'hydrogène (H₂) associé à du CO₂ peut être transformé en acide formique (HCOOH) par électro-réduction grâce à un catalyseur. Ce procédé de catalyse peut être basé sur le fer – un métal facilement disponible et peu coûteux, en comparaison des métaux « nobles » comme le platine ou le ruthénium. L'avantage principal est que l'acide formique, ainsi obtenu est très peu inflammable et liquide à température ambiante. L'hydrogène peut alors être stocké facilement et en toute sécurité sous cette forme. La réaction inverse est également possible : par le biais d'une catalyse, l'acide formique retourne à l'état de CO₂ et d'hydrogène, lequel peut ensuite être transformé en énergie électrique. Ici, pas besoin de haute pression, la réaction se fait à pression ambiante ! Un autre avantage de cette réaction par rapport au stockage conventionnel est que le procédé permet de stocker presque le double d'énergie à volume égal. En effet, un litre d'acide formique contient plus de 53 grammes d'hydrogène, contre à peine 28 grammes pour un même volume d'hydrogène pur pressurisé à 350 bars.

La synthèse de l'acide formique par hydrogénation du CO₂ se fait généralement en milieu basique, en présence d'amines ou de sels tampons, et produit des sels de formiate. L'originalité des travaux de Gábor Laurency est de faire cette réaction en milieu acide, sans obtention de sous-produits. Cette synthèse se fait en une seule étape, contrairement aux procédés conventionnels qui en comportent plusieurs pour purifier l'acide formique obtenu.

Cette catalyse ouvre des portes nouvelles pour l'avenir de l'hydrogène, bien que la production industrielle ne soit visiblement pas pour tout de suite. « Les travaux de Gábor Laurency se poursuivent afin d'optimiser plusieurs maillons de la chaîne CO₂ – hydrogène – acide formique – énergie », prévient Emmanuel Barraud, communiquant de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne. « Concernant l'utilisation de l'acide formique comme réserve énergétique, les travaux en cours actuellement visent à la réalisation d'ici la fin de cette année d'un prototype de générateur autonome de 1kW ». Deux sociétés ont déjà acheté une licence pour développer cette technologie : Granit (Suisse) et Tekion (Canada).

Stocker les énergies renouvelables

Le courant obtenu grâce à des énergies renouvelables peut produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. Demain, cet hydrogène pourra être transformé et stocké sous forme d'acide formique, avant d'être retransformé sous sa forme initiale pour produire de l'électricité. La simplicité et la sécurité du procédé permettrait d'utiliser une pile d'acide formique à l'échelle domestique, pour stocker la production excédentaire de panneaux solaires ou de petites éoliennes.

Des voitures carburant à l'acide formique

La première voiture à hydrogène commercialisée par Toyota stocke l'hydrogène grâce à un réservoir pressurisé à

700 bars. Ce réservoir coûte très cher, rendant la voiture difficilement accessible au citoyen lambda. Mais demain, les voitures pourraient rouler à l'acide formique, grâce à un stockage plus compact. « Techniquement, c'est tout à fait faisable. D'ailleurs, de grands constructeurs nous ont contactés en 2008, quand le baril du pétrole a atteint des sommets. A mon sens, le seul obstacle est économique », confie Gábor Laurency.

Une autre application possible de ce procédé est d'utiliser le CO₂ atmosphérique, responsable de l'effet de serre, pour synthétiser de nombreux produits chimiques.

Par **Matthieu Combe**, journaliste scientifique

27/04/2015

EN DIRECT DES LABOS

8 RÉACTIONS CHIMIQUES INCROYABLES

La chimie offre parfois des réactions spectaculaires. Changements d'état, catalyses, formation de nouvelles substances... tour d'horizon de ces réactions fascinantes.

Le césium explose dans l'eau

Extrêmement réactif, le **césium** explose au contact de l'eau. Il s'agit d'un **métal alcalin** : dissous dans l'eau, il produit une solution d'hydroxyde de césium et entraîne un dégagement de chaleur et d'hydrogène qui explose au contact de l'oxygène dissous. La solution devient alors basique (pH > 7). Pour sublimer l'expérience, les auteurs ont rajouté de la phénolphthaléine dans l'eau, un indicateur de pH qui devient rose dans des solutions basiques.

Le sodium crée une explosion dans l'eau

Le césium n'est pas le seul métal alcalin à exploser au contact de l'eau. Vous avez sûrement déjà fait cette expérience en cours de chimie : au contact de l'eau, un petit bout de **sodium** s'enflamme. Mais des étudiants ont tenté une expérience plus conséquente : en jetant un bloc de sodium dans un lac, l'explosion ne se fait pas longtemps attendre. Au contact de l'eau, le sodium (Na) décompose les molécules d'eau (H₂O) et libère du dihydrogène (H₂), des ions hydroxyde (OH⁻) et des ions sodium (Na²⁺). Cette réaction engendre un grand dégagement de chaleur. Combiné à l'oxygène, le dihydrogène libéré s'enflamme rapidement et crée une explosion. Mieux vaut donc éviter de faire cette expérience dans un lac naturel...

Voir la vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=NTFBXJ3Zd_4

Le sucre se carbonise en présence d'eau

Lorsque l'on mélange du **sucre** (saccharose) avec de l'**acide sulfurique concentré** (H₂SO₄), le sucre se déshydrate et se carbonise. Il est donc transformé en carbone et en eau. La réaction de dissolution est la suivante : C₁₂H₂₂O₁₁ -> 12 C + 11 (H₂O). On assiste à une forte augmentation de température (due à la dissolution exothermique de l'acide dans l'eau) qui vaporise une partie de l'eau. La transformation est impressionnante et semble donner naissance à un serpent noir qui sort du bécher, d'où son surnom de «Black Snake Experiment».

Voir la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=bJBPhqQxs8>

Créer un serpent du pharaon

Cette expérience est encore plus impressionnante. En enflammant une poudre blanche de **thiocyanate de mercure** Hg(SCN)₂, vous obtenez une grande masse de cendres enroulées ressemblant à des serpents. Ces cendres grandissent peu à peu au milieu d'une petite flamme bleue qui entretient la combustion. Cette expérience dégage des vapeurs toxiques de mercure et ne doit donc pas être testée chez soi.

Voir la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=yN9pioJWTK0>

Plonger sa main dans l'azote liquide !

On vous l'a appris : plongez un corps dans l'**azote liquide** et il en ressortira cassant comme du verre ! Mais le youtubeur NurdRage a décidé de ne pas se limiter à ces mises

en garde. Dans cette vidéo, il plonge sa main dans l'azote liquide et la retire rapidement. Bien que rafraîchie, celle-ci reste entièrement opérationnelle. Cela s'explique par l'effet dit de «Leidenfrost». La surface de la main, ayant une différence de température de plus de 200°C par rapport à l'azote liquide, entraîne l'évaporation instantanée de l'azote. Le gaz ainsi libéré forme une barrière isolante temporaire suffisante pour éviter que sa main ne se transforme en un gigantesque glaçon. Mais attention, cet effet n'est que très limité : laisser la main plus longtemps vous assurerait de la perdre ! **A ne pas tester** non plus.

tation des protéines (albumines) présentes dans le lait et entraîne le colorant avec elles. Résultat : le cola devient « café-crème », puis laisse place à un liquide doré et un précipité brunâtre.

Et aussi dans les ressources documentaires :

- [Chimie verte](#)
- [Opérations unitaires : génie de la réaction chimique](#)
- [Bioprocédés](#)
- [Agroalimentaire](#)

27/04/2015

La chimie sublimée

Beautiful chemistry dévoile la beauté des réactions chimiques. Grâce à des équipements innovants et filmé en caméra ultra-haute définition, découvrez des réactions chimiques vues au plus près : déplacement de métal, précipitation, cristallisation, changement de couleur, formation et dégagements de bulles, dégagement de fumée... Plus de vidéos : <http://beautifulchemistry.net/>

Le zeste d'orange dissout les ballons de baudruche

Avez-vous déjà manipulé un ballon en mangeant une orange ? Si tel est le cas, vous avez peut-être déjà fait cette douloureuse expérience. Le **limonène** contenu dans le zeste du fruit dissout sur le champ le caoutchouc, entraînant son explosion immédiate.

[Zeste d'orange vs Ballons de baudruche](#) par BuzzVid

Le lait précipite le Coca-cola

La réaction explosive entre le **coca-cola** et un menthos est bien connue. Mais avez-vous déjà pensé à mélanger le célèbre breuvage avec du **lait** ? En quelques heures, l'acide phosphorique du Coca-Cola provoque la précipi-

LES RÉACTIONS CHIMIQUES À L'ORIGINE DE LA VIE (PEUT-ÊTRE)

3,8 milliards d'années après la naissance du vivant, les chercheurs tentent encore de percer le secret de la naissance du vivant. À quel moment et dans quelles conditions, certaines réactions chimiques ont-elles pu contribuer à la complexification des cellules, jusqu'à créer des structures pérennes à l'origine des premiers organismes vivants ?

Aujourd'hui, au travers de récentes découvertes, quelques hypothèses permettent peut-être de comprendre l'apparition de la vie. En voici deux : de la goutte d'eau agissant comme un accélérateur de réactions aux molécules venues de l'espace qui pourraient être à l'origine des briques du vivant.

La goutte d'eau, le terreau de la vie ?

Des chercheurs du laboratoire de l'**université de Strasbourg**, experts en microfluidique, « *la science et la technologie des systèmes qui manipulent des petits volumes de fluides* », se sont aperçus lors d'une étude sur la production de molécules qu'une goutte d'eau agissait comme un accélérateur de réactions chimiques, quelles qu'elles soient.

Dans le cas présent, l'équipe menée par le professeur **Andrew Griffiths** a introduit deux micro-molécules dans des micro-gouttes : de l'amine ainsi que de l'aldéhyde, connues pour leur réaction fluorescente. Ce qui s'est produit ensuite a beaucoup étonné les chercheurs. En effet, les gouttelettes se sont mises à briller intensément, et de façon anormale, montrant que l'expérience était un succès et allait même au-delà de toutes espérances. Des imines fluorescentes, des composés organiques, ont ainsi été obtenus... En quantité 45 fois plus importante que ne laissait l'entendre les pronostics.

C'est en cherchant à découvrir pourquoi une telle réaction avait eu lieu, que les scientifiques ont considéré plus

sérieusement l'architecture de la goutte d'eau ainsi que les phénomènes ayant cours à l'intérieur. Il s'est révélé que les molécules se sont retrouvées collées à la paroi des gouttes d'eau sous l'action de la tension superficielle, « *un phénomène d'augmentation de l'énergie à la surface d'un fluide et qui en augmente localement la cohésion* », engendrant une coalescence. Les molécules n'ont pu réagir comme elles le font en temps normal. Leurs déplacements en ont été limités, favorisant les interactions.

Comme l'explique **Jean-Christophe Baret**, l'un des membres de l'équipe de recherche, « *dans une goutte, les molécules sont naturellement attirées vers les parois et vont momentanément s'y accrocher* ». La gouttelette s'est donc révélé être un terreau propice aux réactions chimiques, agissant comme un site de Dating, c'est-à-dire en facilitant la mise en relation des molécules ; ou plutôt, en augmentant les chances pour que celles-ci "se retrouvent dans la même pièce" et établissent des liaisons.

Les chercheurs ont conclu que la goutte d'eau favorisait la complexification des molécules. Et, bien que cette étude ne suffise pas à donner une explication à l'émergence des premières molécules organiques complexes, elle offre tout de même une hypothèse séduisante sur l'origine du vivant. Les exobiologistes ont décroché peut-être la timbale.

Les briques du vivant viendraient-elles d'ailleurs ?

Des chercheurs de l'**Institut d'astrophysique spatiale** (IAS) de l'université Paris Sud en collaboration avec l'Institut de chimie de Nice de l'université de Nice-Sophia Antipolis ont voulu savoir ce qui arrivait lorsque l'on soumettait de la glace présente dans un nuage de gaz interstellaire aux UV émis par les étoiles environnantes (même lointaines). Ils ont ainsi refroidi un mélange d'eau, de méthanol et d'ammoniaque, trois composants dont on a déjà trouvé des traces au sein de ces nuages de gaz, puis ils l'ont astreint

à un rayonnement UV pendant une période allant d'une semaine à un mois.

Les échantillons de glace exposés sont ensuite passés par le laboratoire de Nice pour y être analysés par l'équipe de Uwe Meierhenrich. Là, deux petites molécules organiques ont été détecté : le glycolaldéhyde et le glycéraldéhyde ; des sucres élémentaires, composés d'atomes de carbone. Or, ces deux molécules sont des constituants de structures plus complexes telles que les acides nucléiques. On les retrouve dans l'acide ribonucléique (ARN), « *une molécule biologique présente chez pratiquement tous les êtres vivants* ».

L'expérience leur a donc permis de comprendre et de donner une explication plausible aux mécanismes chimiques à l'origine de la création de certaines molécules pouvant, par association, produire des « *molécules organiques simples comme les acides aminés* ». Dans le cas présent, du glycolaldéhyde et du glycéraldéhyde ; des composants des briques du vivant.

Sachant que les astronomes ont déjà perçu du glycolaldéhyde dans l'espace, l'hypothèse est donc la suivante. Les molécules créées dans l'espace ont fort bien pu voyager à dos d'astéroïde jusqu'à la Terre, où elles se seraient multipliées, développées et complexifiées par différents processus chimiques jusqu'à devenir organiques et former les premières briques du vivant. Étant donné le nombre impressionnant de micro météorites qui bombardent chaque jour la Terre, et tenant compte du fait qu'il était 1 000 fois plus élevé il y a de ça 4 milliards d'année, celles-ci ont très bien pu servir de vaisseaux aux molécules responsables des briques du vivant.

Et cela pose bien sûr une autre question... Si à l'intérieur des nuages de gaz interstellaire peuvent se produire des réactions chimiques capables d'engendrer des molécules, y compris des acides aminés, pourquoi la vie ne se serait-elle pas développée sur une autre planète ? Une étude récente a d'ailleurs montré que le nombre de planète habitable, c'est-à-dire cumulant ces trois qualités : de l'eau, de l'atmosphère et du carbone, se comptait en milliards.

Ce n'est qu'un scénario mais cela laisse songeur.

Par Sébastien Tribot

Et aussi dans les ressources documentaires :

- [Chimie verte](#)
- [Opérations unitaires : génie de la réaction chimique](#)
- [Bioprocédés](#)
- [Agroalimentaire](#)

27/04/2015

POUR ALLER PLUS LOIN

LA CHIMIE AU SERVICE DE L'IPAD ET DE L'IPHONE

On ne le sait pas toujours mais dans l'ombre les chimistes travaillent d'arrache-pied pour rendre nos iPad et iPhones toujours plus performants. Dans cette course à l'innovation, les éléments chimiques se révèlent indispensables.

À chaque nouvelle sortie, ces outils modernes désormais bien ancrés dans notre quotidien sont disséqués et révèlent toujours une liste de composants de haute technologie.

Ce sont les véritables stars de nos mobiles. Il est vrai que leur constitution est bien souvent impressionnante...

Écran dernier cri, processeur, configuration, type de mémoire, rien n'est laissé au hasard. Évidemment, cela fait le bonheur des fournisseurs.

Pourtant, c'est bien grâce au travail des chimistes que nos smartphones et nos tablettes sont autant à la pointe. Les chimistes sont les architectes, les petites mains invisibles qui confèrent à ces interfaces tout leur génie et leur réussite.

Face aux attentes toujours plus exigeantes des constructeurs, ils doivent relever des défis complexes. Leur tâche n'est pas aisée. Parmi les problématiques à résoudre, ils ont le devoir de soulager un peu nos poches du poids de ces appareils, de les rendre plus robustes et bien sûr plus performants.

Entre les différents constructeurs, principalement Samsung et Apple, une course furieuse pour l'amélioration de ces produits fait rage. Une concurrence acharnée qui pousse les chimistes à réagir en permanence, à innover afin de trouver des solutions. Alors ils planchent sur les **polymères**, les molécules gazeuses et toute sorte de substances chimiques.

Voici un petit listing de ces substances chimiques qui composent les objets numériques nomades.

Tout d'abord le PVDF, un polymère fluoré fabriqué par Arkema utile à l'élaboration d'un film plastique censé vibrer par contact tactile. Ce que l'on appelle l'électronique haptique, où la science du toucher, fait partie de ces technologies qui ont bouleversé la pratique des téléphones intelligents. Arkema s'occupe en plus de la fabrication de **nanotubes de carbone**, composants d'additifs supposés allonger la durée de vie des batteries.

La société Solvay produit quant à elle du Polyamide haute température, un polymère particulier, capable de se substituer au métal présent dans les coques de téléphones. Elle est également en charge de la conception d'un polymère fluoré dont l'usage final est toutefois différent de celui d'Arkema. Il s'agit de polyfluorure de vinylidène dont le but est de renforcer la densité énergétique des **batteries lithium ion** contenu dans les téléphones portables.

Autre acteur important, BASF le leader mondial de l'industrie chimique, prépare et fournit du fer carbonylé, une poudre métallique aux propriétés électromagnétiques supérieures.

Cette poudre sert à réduire les pertes d'énergie et maîtriser l'intensité du courant dans les circuits, une fois intégrée dans des bobines. BASF toujours, en collaboration avec Ineos, met au point des polymères styréniques. La coentreprise réalise toute une gamme de polymères rigides destinée aux coques des smartphones. Les avantages des polymères styréniques sont nombreux : légèreté, rigidité, facilité de recyclage...

Et à quoi ressembleraient les écrans de ces objets numériques sans le fluor gazeux produit par l'entreprise Air Liquide ?

Ces gaz fluorés de haute pureté, présents entre le film plastique et l'écran LCD, permettent par leur action à nos écrans LCD de rester propre. Il ne s'agit pas de la seule

mission d'Air Liquide. En effet, elle met aussi au service des fabricants des gaz précurseurs dans le but de réduire les dimensions des transistors.

Pour information, les polymères sont couramment utilisés par les chimistes dans le secteur industriel, notamment la plasturgie ou la thermoplastique en raison de leurs propriétés élastiques naturelles. Composé de macromolécules, le polymère est généralement organique. Il s'agit d'un élément particulièrement important constituant de nombreux objets de notre quotidien.

Le rôle des chimistes n'a pas fini de s'intensifier et l'avenir des technologies numériques semble être entre leurs mains. Dans ce contexte, impossible de ne pas songer à l'électronique organique. Une technologie naissante mais très prometteuse et dont l'innovation la plus significative serait de transformer nos tablettes et nos smartphones en « papier électronique ».

Par Sébastien Tribot, journaliste scientifique

23/04/2013

QUELQUES IDÉES FAUSSES SUR L'OSMOSE

Deux professeurs américains nous invitent à repenser le phénomène d'osmose, mettant le doigt sur certaines erreurs habituellement véhiculées à longueur de publications, et qui ont la dent dure.

Las de lire ou d'entendre des inepties sur le phénomène – pourtant bien maîtrisé - d'osmose, Eric M. Kramer et David R. Myers, respectivement professeurs de physique et de chimie au *Bard College at Simon's Rock*, dans le Massachusetts, ont décidé d'aborder le sujet à travers certaines idées fausses habituellement véhiculées à longueur de papiers, dans un article publié ce mois-ci dans la revue scientifique à comité de lecture *Trends in Plant Science*. Selon eux, la notion d'osmose serait une notion plutôt bien assimilée en physique et en biophysique, alors qu'elle ne serait le plus souvent comprise que d'une manière simplifiée – voire erronée – en biologie et en chimie.

Le mal à la racine

« Toute une série d'erreurs surprenantes continuent d'apparaître à longueur d'articles de presse, papier ou en ligne, ainsi que dans les manuels scolaires » se lamente Eric Kramer. « Les idées fausses sur l'osmose sont particulièrement communes dans le matériel éducatif destiné aux étudiants en chimie et biologie. Une fois apprises et assimilées, ces erreurs influencent le raisonnement des spécialistes tout au long de leur carrière » ajoute-t-il.

L'osmose est un phénomène de diffusion de la matière (généralement des molécules de **solvants**) à travers une membrane semi-perméable, séparant deux substances dont les concentrations en produits dissous sont différentes. Le déplacement du solvant à travers cette membrane est provoqué par la différence de pression osmotique, elle-même engendrée par la différence de concentration des deux substances.

Effrayante entropie

Les travaux de Josiah Willard Gibbs, physico-chimiste américain du XIXe siècle, sur l'application de la **thermodynamique** à l'osmose (publiés en 1897), ont incité de nombreux scientifiques à publier pendant plus d'un demi-siècle leurs propres explications concernant les interactions solvant-soluté. Un manuel a même été publié en 1951, offrant aux physiciens une explication à la fois exacte, complète et documentée des travaux de Gibbs, alors que les apprentis chimistes et biologistes restèrent à la traîne. Selon Eric Kramer, la notion d'entropie thermodynamique, « relativement effrayante pour le commun des mortels » pourrait bien être l'une des raisons de ce décalage.

Sachet de sucre

Pour illustrer son propos, Kramer fait appel à l'expérience du sachet de sucre, un classique des premières leçons – approximatives – sur le phénomène d'osmose : une fois le sachet dans l'eau, l'eau se précipite dans le sachet.

- « La première erreur serait de limiter le phénomène d'osmose aux liquides » explique-t-il, « alors que cela fonctionne très bien pour les gaz » ;
- « Une autre erreur voudrait que l'osmose nécessite une force d'attraction, [...] le sucre ne tire pas l'eau vers lui. Cela ne fait pas partie de l'explication » ;
- « Croire que l'osmose se fait toujours dans le même sens du gradient de concentration serait également une erreur. Lorsque que l'on dissout quelque chose dans l'eau, l'eau ne devient pas nécessairement plus diluée. En fonction de la substance, sa concentration peut en fait augmenter » ;
- « Penser que, comme pour la diffusion, il puisse s'agir d'un processus spontané serait une autre idée fausse », termine-t-il.

Par Moonzur Rahman

Découvrez les formations Techniques de l'Ingénieur :

- Formation [Chimie du végétal : comment l'intégrer dans ses applications](#)
- Formation sur la [physico-chimie pour la prévention du risque chimique](#)

15/08/2013

DES APPROCHES PRÉDICTIVES POURRAIENT SE SUBSTITUER AUX VRAIS TESTS DE SUBSTANCES CHIMIQUES

En 2018, le Reach impose l'évaluation des substances pré-enregistrées. Le projet Predimol pourrait bien aider les professionnels en proposant une évaluation reposant uniquement sur de la modélisation.

La **caractérisation complète des substances physico-chimique est coûteuse et chronophage**. Et si les méthodes prédictives étaient une alternative crédible aux tests en laboratoire ? C'est la conclusion du projet PREDIMOL rendue officielle début juillet par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Ce projet dont l'acronyme signifie Prédiction des propriétés physico-chimiques des produits par modélisation moléculaire a été mené entre 2010 et 2014.

Financé par l'Agence nationale de la recherche, labellisé par le pôle de compétitivité Axelera et piloté par l'Ineris, Predimol s'est intéressé à la pertinence de la modélisation moléculaire dans l'obtention de données physico-chimiques. Les tests réels peuvent-ils être évités ? Oui, répond Predimol. Des méthodes prédictives peuvent servir à définir des propriétés physico-chimiques.

Plus particulièrement, deux approches sont mises en avant. Il s'agit de la Quantitative structure-property relationship (QSPR) et des méthodes de simulation moléculaires (dynamique moléculaire et Monte-Carlo). La QSPR serait pertinente pour l'analyse des propriétés dangereuses tandis que la simulation moléculaire est plus adaptée à l'évaluation des propriétés d'équilibre et des propriétés de transport.

Pour en arriver à ces résultats, les différents partenaires du projet Predimol, IFP Energies Nouvelles, Chimie Paris-Tech, le Laboratoire de Chimie Physique de Paris XI, Materials Design et Arkema, ont travaillé sur les peroxydes organiques et les amines.

Predimol a permis de valider des modèles développés pour la détermination de certaines propriétés comme la densité relative, les propriétés explosives ou encore le point d'ébullition. Une réussite qui pourrait bien rebattre les cartes du Reach en proposant aux professionnels une alternative moins coûteuse pour l'évaluation des propriétés des nombreuses substances pré-enregistrées.

« Ces [...] modèles répondent aux critères de validation de l'OCDE et, dans une démarche d'acceptabilité réglementaire, ils vont être proposés à la QSAR Tool Box et à la base de données du Joint Research Centre (JRC) de la Commission européenne » se félicite l'Ineris.

Par Audrey Loubens

Et aussi dans les ressources documentaires :

- **Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique**

19/08/2014