

Exposition des Sciences 2011

Dossier pédagogique
Ressources et nouveaux
matériaux

LES MATHÉMATIQUES EN ARCHITECTURE

Le nombre d'or

Le nombre d'or, noté ϕ en mémoire de l'architecte grec Phildas, découle de la proposition d'extrême et de moyenne raison d'Euclide. Cette proposition géométrique montre que si l'on sectionne un segment en deux segments de longueurs différentes de la manière suivante:

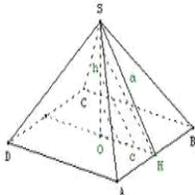


alors, le rapport du segment « $a+b$ » sur le segment « a » est égal au rapport du segment « a » sur le segment « b ».

Quelques petits calculs nous amènent à une équation du second degré :

La recherche de la racine positive nous donne le nombre 1,618003... correspondant à la valeur du nombre d'or.

Il existe plusieurs applications du nombre d'or. Dans notre exposé, nous nous intéresserons à la pyramide de Khéops et au Modulor. Malheureusement, de nos jours, certaines personnes mettent ce nombre à toutes les sauces et des mythes se créent autour de celui-ci.



La pyramide de Khéops fut bâtie comme les autres pyramides de Gizeh en l'honneur des rois égyptiens il y a 4500 ans. La hauteur de cette pyramide vaut 148,2m et le côté de la base carrée 232,8m que l'on divise par 2 afin d'appliquer le théorème de Pythagore. Ce dernier nous donne la longueur de l'hypothénuse, à savoir 188,44m. Le rapport de celle-ci sur le petit côté du triangle rectangle vaut ϕ . La pyramide de Khéops possède certaines propriétés mathématiques pour des raisons astronomiques.

Le Modulor est une échelle basée sur le nombre d'or qui suit la progression de la suite de Fibonacci. Le Corbusier est l'architecte qui a conçu le Modulor. Son but était de déterminer les dimensions de l'environnement mobilier où l'homme se sent bien. Il construit sa grille sur base d'un homme de 1m83 levant le bras et adapte le mobilier aux différentes parties du corps humain.

Les fractales en architecture

Apparues au dix-neuvième siècle, les fractales ne furent théorisées rigoureusement que dans les années 1970 par Benoît Mandelbrot, un mathématicien franco-américain né à Varsovie en 1924 et décédé en 2010 à Cambridge dans le Massachusetts. Dans sa théorie de la rugosité, le mot "fractale" désigne un objet invariant (ou presque) par changement d'échelle: Quelle que soit l'échelle d'observation, la structure a un aspect similaire. Intuitivement, on peut voir une fractale comme une transformation récursive d'un objet en plusieurs copies de lui-même plus petites.

On distingue trois types de fractales: Premièrement, il y a les systèmes de fonctions itérées qui ont une règle de remplacement géométrique fixe comme le triangle de Sierpinski. Ensuite, il y a celles définies par une relation de récurrence en chaque point de l'espace considéré. Enfin, il existe des fractales dites aléatoires qui sont générées par des processus stochastiques: Le choix de l'action à faire pour répliquer l'objet suit une loi de probabilité donnée.

Le triangle canonique de Sierpinski se construit en procédant par l'algorithme suivant:

1. Tracer un triangle équilatéral.
2. Tracer les 3 segments qui joignent deux à deux les milieux des côtés du triangle, ce qui délimite 4 nouveaux triangles.
3. Enlever le petit triangle central.
4. Recommencer à la deuxième étape avec chacun des triangles obtenus.

En outre, on retrouve les fractales en architecture notamment dans la géométrie de certains villages africains comme celui de Ba-ïla en Zambie. Les cases du village sont disposées d'une manière pouvant être qualifiée de fractale. Les maisons forment la limite du village, laissant un espace inoccupé par des habitations en son centre,

à l'exception de la maison du chef du village. Les autres maisons qui forment les limites du village sont disposées en fonction de l'importance sociale des habitants. Les habitants les moins considérés sont laissés près de l'entrée, tandis que les notables ont une place plus centrale dans le village, près de la maison du chef.

The Gateway Arch de Saint Louis



Depuis la nuit des temps, les mathématiques et l'architecture sont deux disciplines complémentaires et indissociables dans l'art de bâtir. D'ailleurs, dans le temps, les architectes étaient des mathématiciens. Nous allons vous présenter dans cette section deux monuments qui mettent en évidence la dualité entre les mathématiques et l'architecture : The Gateway Arch et La Géode.

The Gateway Arch ou Gateway to the West est une arche qui représente l'épicentre du Jefferson National Expansion Memorial à Saint Louis, dans le Missouri. Avec ses 192 mètres de hauteur, c'est l'un des plus grands monuments architecturaux construits par l'homme. Sa forme géométrique n'est pas une parabole mais une chaînette. Les équations géométriques qui permirent de modéliser sa structure furent mises au point par l'ingénieur germano-américain Hannskarl Bandel. Les équations sont les suivantes: $y = A (\cosh Cx/L - 1) \Leftrightarrow x = L/C \cosh^{-1} (1 + y/A)$ où $A = f_c (Q_b / Q_t - 1)^{-1} = 68,7672$ et $C = \cosh^{-1} (Q_b / Q_t) = 3,0022$.

La Géode



La Géode est un théâtre au parc de la Villette situé dans la cité des sciences et de l'industrie à Paris. Il s'agit d'une sphère de 36 mètres de diamètre, constituée de 6433 triangles en acier. Ce monument est inspiré d'une forme géométrique du même nom qui est un polyèdre non régulier convexe inscrit dans une sphère.

La Sagrada Familia

L'Expiatori de la Sagrada Familia, qui habille le paysage urbain de Barcelone depuis la fin du dix-septième siècle, relève du travail exemplaire de l'architecte Gaudi qui, grâce à ses études avancées en mathématiques, en physique et en géométrie, développa un système géométrique très complet afin de réaliser des œuvres de la sorte. Cette véritable attraction touristique qu'est la Sagrada Familia fut construite et achevée grâce à une combinaison de surfaces telles que des hyperboloïdes de révolution, des paraboloides hyperboliques et des hélicoïdes. Cela fut rendu possible grâce à la fabrication de modèles en plâtre utilisés dans le façonnement des différentes structures de l'église. Il existe des méthodes de travail que Gaudi employa pour utiliser ces modèles de plâtre telles que la couture numérique définie comme étant le travail autour d'une armature virtuelle dans laquelle les figures associées s'agencent entre elles et le modelage numérique défini comme étant la soustraction booléenne d'une surface dans le but d'obtenir le résultat inverse de notre outil de travail de départ. Par exemple, on pouvait obtenir un hyperboloïde concave en supprimant le gabarit d'un hyperboloïde convexe.

Au fil des années, Gaudi développa une technique précise utilisant la géométrie pour mettre sur pied ses projets d'architecture. En anglais, on appelle cette technique *the Gaudinian geometry*. Les grandes lignes de cette technique de géométrie se résument par l'utilisation d'une sélection de courbes sinusoïdales et de spirales, l'inclinaison des colonnes, l'usage d'isométries comme les translations et les rotations, l'emploi de similarités et de proportions et la présence de structures rectilignes et de transformations héliocoïdales. La géométrie est donc présente dans l'entièreté de la construction de Gaudi, que ce soit la géométrie 2D présente dans la

forme des colonnes ou la géométrie 3D présente dans la structure des escaliers ou du plafond de la cathédrale.

Questions pour les élèves

Quelle est la valeur exacte du nombre d'or? $(1+\sqrt{5})/2$

Qu'est-ce que le Modulor? Par qui a-t-il été inventé? C'est une silhouette humaine standardisée servant à concevoir la structure et la taille des unités d'habitation. Il a été inventé par Le Corbusier.

Citez un exemple de fractale. Réponse: Le triangle de Sierpinski, le flocon de Koch...

Qu'est-ce que la Géode? Où se situe-t-elle? Réponse: C'est un théâtre situé dans la cité des sciences et de l'industrie à Paris.

Quelle forme géométrique en 3 dimensions est représentée par les escaliers en colimaçon de la Sagrada Familia?
Réponse: Un hélicoïde

La tragédie des biens communs

Ou pourquoi personne ne veut sauver la planète

Antoine Dewilde

Nils Fagerburg

Harold Waterkeyn

En 1968, G. Hardin publia un article, “La Tragédie des biens communs”, qui arrive à une conclusion intéressante : la mise en commun d’un bien (sans aucun système qui régule l’accès à ce bien) mène inévitablement à la destruction de celui-ci. Pour justifier cela, Hardin utilise certains aspects de la théorie des jeux, et en particulier une catégorie de jeux intitulée “public goods games”.

En partant de cet article, le but de notre stand est d’illustrer cette idée en se basant sur divers problèmes de gestion des ressources (par exemple, le problème de surpêche ou le développement durable). Pour cela, notre présentation se déroule en deux temps :

1. D’abord, nous introduisons les principes de base de la théorie des jeux nécessaires à la compréhension du problème.
2. Ensuite, pour illustrer notre présentation, nous proposons aux visiteurs quelques simulations informatisées reprenant certaines situations problématiques.

Nous proposons aux visiteurs les simulations suivantes :

Fish and Ships Un modèle illustrant le problème de surpêche. Plusieurs pêcheurs peuvent se partager un océan rempli de poissons, chaque pêcheur agissant selon une certaine stratégie (que le visiteur peut éventuellement choisir). Nous observerons les effets des différentes stratégies sur le nombre de poissons restants, le revenu des pêcheurs et le comportement des autres pêcheurs par exemple. De plus, on peut observer l’effet des droits de propriété en donnant à chaque agent son propre stock de poissons.

Save the Earth Une formalisation du problème de développement durable. Nous proposons au visiteur de jouer en collaboration avec 5 intelligences artificielles pour atteindre un certain objectif, avec le risque de tout perdre si l’objectif n’est pas atteint. Ensuite, nous analysons le comportement du joueur et le comparons à celui des autres visiteurs du Printemps des Sciences, ainsi qu’au comportement “idéal” qu’il aurait fallu adopter, ou encore aux prédictions théoriques.

Dove-Hawk Game Le Hawk and Dove game, également appelé Chicken game est un modèle de conflit dans la théorie des jeux. Dans la simulation présentée, ce jeu a été revisité sous forme de simulation de dynamique d’une population composée de deux animaux, des faucons et des colombes. Chacun d’eux se bat pour avoir de la nourriture afin de survivre et de pouvoir se reproduire. La simulation présentée permet de se rendre compte quelle race d’oiseau à l’avantage sur l’autre et dans quelles circonstances.

Silicium intelligent : le puzzle du *Tetravex*

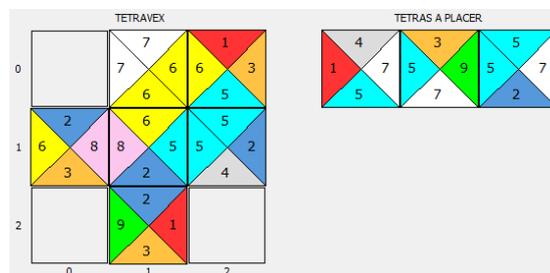
HEB - ESI

Printemps des Sciences 2011

Microprocesseur et silicium Le cerveau de l'ordinateur est son microprocesseur. Le constituant chimique principal de ce dernier est le silicium. Cet élément chimique est choisi pour ses propriétés électriques et la capacité à y réaliser des gravures très fines. La combinaison de ces deux caractéristiques explique la prépondérance du silicium dans la composition des circuits intégrés électroniques, et donc des microprocesseurs.

Le microprocesseur est capable de réaliser énormément d'opérations arithmétiques en très peu de temps. Cela n'est cependant pas suffisant pour le rendre intelligent. À cette fin, il faut user d'algorithmes et de techniques de programmation.

Tetravex Nous nous sommes penchés sur le problème de la résolution d'un puzzle mathématique appelé *Tetravex*, ainsi que sur la réalisation d'une application à interface graphique pour y jouer. Plutôt que d'expliquer les règles du jeu, voici un extrait de capture d'écran pour expliciter le problème, sachant que les tuiles qui apparaissent dans la pioche à droite doivent être placées sur le plateau de jeu à gauche.



Backtracking L'algorithme utilisé pour aider à la résolution du puzzle s'appelle *backtracking* (retour sur trace). Il utilise la notion de récursivité. Il s'agit d'explorer tous les chemins vers une solution en permettant de revenir en arrière et d'explorer de nouvelles voies si un parcours s'avère se terminer en cul de

sac. La possibilité de revenir sur trace nécessite de respecter rigoureusement un ordre bien précis lors de la recherche d'une solution. Cela implique d'ordonner d'une part les emplacements du plateau, d'autre part les tuiles de la pioche.

Partant d'un plateau partiellement rempli, on cherche la première tuile de la pioche qui peut être placée sur le premier emplacement libre, on la place, puis on passe à l'emplacement suivant et on recherche la première tuile de la nouvelle pioche qui peut y être déposée. Soit on arrive à directement placer toutes les tuiles : l'ordre de la pioche était initialement le bon ! Soit on arrive à un blocage : impossible de trouver dans la pioche une tuile pour un emplacement donné. Dans ce cas, il faut revenir sur ses pas : replacer dans la pioche, à sa place, la dernière tuile posée sur le plateau lors de la recherche d'une solution et chercher, dans la suite de la pioche, une tuile qui convient pour cette position. Si on en trouve une, on passe à l'emplacement suivant etc. Si on n'en trouve pas, on revient à nouveau sur ses pas en ôtant à nouveau une tuile du plateau et en en recherchant une autre qui convient dans la pioche etc. Au final, deux cas de figure se présentent :

- on doit revenir sur ses pas jusqu'à la situation du plateau de départ et toutes les tuiles de la pioche ont été testées en vain : il n'y a pas de solution partant de cette configuration du plateau ;
- on aboutit à une solution en remplissant le plateau : une solution existe. Notez bien qu'elle n'est peut-être pas unique, c'est juste la première étant donné les ordres de parcours du plateau et de la pioche.

Interface graphique La dernière étape de la conception du programme consiste à lui donner un habillage graphique plus ou moins convivial. Cela requière de mobiliser de nouvelles techniques de programmation telles que la programmation orientée objet, la programmation événementielle, l'usage du modèle de conception « Observateur / Sujet d'observation. », l'utilisation d'une bibliothèque de composants graphiques. . .

Ce sont ces réalisations finales que vous pouvez tester et ausculter sur les machines que nous mettons à votre disposition au stand de l'ESI à l'expo des sciences.

Ordonnancement temps réel contraint par l'énergie.

Ce projet consiste à étudier l'ordonnancement temps réel contraint par l'énergie. Il s'agit d'exposer les méthodes à mettre en œuvre afin d'optimiser les capacités des systèmes embarqués tout en réduisant au maximum la consommation énergétique. Celles-ci peuvent être matérielles ou logicielles. Dans le cadre de ce projet, nous focaliserons notre étude sur les solutions logicielles.

Dans un premier temps, nous commençons par définir ce que sont les systèmes embarqués. Les systèmes embarqués réalisent des tâches généralement répétitives et connues d'avance. Optimiser leurs capacités va revenir à faire en sorte qu'ils puissent effectuer toutes les opérations qui leur sont dévolues à temps. La solution la plus simple serait d'augmenter la vitesse de calcul du processeur, mais cette solution augmente considérablement l'énergie électrique consommée. On comprend ici que les deux buts de ce travail, à savoir optimiser à la fois les facultés de calcul et la consommation d'énergie, risquent d'entrer en conflit.

C'est ainsi que nous envisageons une solution alternative : l'ordonnancement. Choisir un ordre optimal pour les différentes tâches à effectuer permet de réaliser plus d'opérations dans un temps égal et avant l'échéance fixée pour chaque travail.

Différents types d'algorithmes d'ordonnancement permettent de satisfaire ces contraintes.

Le premier que nous étudions, l'algorithme *RMS*, est un algorithme statique. Cela signifie qu'il fixe à l'avance les priorités de chaque tâche et ne les modifie plus pendant le fonctionnement du système.

Le second, l'algorithme *EDF*, est un algorithme dynamique. Il va donc changer l'ordre de ses priorités selon la situation. Son critère est le suivant : le travail le plus urgent a la priorité la plus grande.

On peut penser que *EDF* est forcément plus efficace, ce qui est évidemment exact, mais le nombre de calculs mis en œuvre pour « recalculer » l'ordre de ses priorités est lui aussi une source de travail et de consommation d'énergie, c'est pourquoi il n'est par exemple pas indiqué pour les systèmes très faibles en termes de capacités de calcul et d'énergie.

Enfin, nous présentons également une méthode d'économie d'énergie, applicable aux algorithmes décrits plus haut : Le *Reclaiming*. Celle-ci consiste à réduire la vitesse de calcul lorsqu'il y a des périodes d'inactivité du processeur de sorte que celui-ci ne consomme pas d'énergie inutile en fonctionnant à une cadence trop élevée pour rien. Tout cela bien sûr en continuant de s'assurer d'accomplir toutes les tâches dans les temps impartis.

Nous avons également implémenté un logiciel permettant de réaliser des simulations faisant intervenir les deux algorithmes décrits plus haut, ceci afin de nous permettre de visualiser les exécutions des différentes tâches au cours du temps, et d'afficher notamment les temps d'oisiveté durant lesquels aucune tâche ne se présente, etc.

Les plastiques sont fantastiques

Introduction :

A l'heure actuelle, nous vivons dans un monde où les polymères, appelés plus communément plastiques, sont omniprésents. Ils se retrouvent dans les plus petits objets tels que les circuits électroniques, les équipements électriques, les appareils électroménagers, les emballages,... jusque dans l'aéronautique en passant par les matériaux de construction, les produits médicaux, les peintures...

Qu'est-ce qu'un polymère ?

C'est une molécule, organique ou non, de masse molaire élevée constituée par l'assemblage de petites unités : les monomères. Ces monomères sont unis entre eux par des liaisons covalentes. Un polymère peut-être naturel comme le polyisoprène (caoutchouc naturel) ou synthétique comme le polystyrène (frigolette).

Chaque polymère est caractérisé par des propriétés spécifiques (thermique, optique, mécanique, électrique...) qui lui sont propres. Lors de votre visite au cours du printemps des sciences, il vous sera montré deux propriétés : la propriété thermique et électrique.

1) Propriété thermique :

Les polymères se distinguent en 2 grandes classes selon leur réaction à la chaleur :

-Les thermoplastiques : qui se ramollissent lorsque ils sont chauffés à une température élevée mais qui récupèrent leur dureté lorsqu'ils sont refroidit (CD, bouchon de bouteille, Légo, carte de crédit...). L'opération est réversible, ce qui fait que les thermoplastiques sont potentiellement recyclables.

-Les thermodurcissables : se fixent dans leurs formes qui leurs sont données lorsqu'ils sont chauffés. Cette forme ne pourra être modifiée par la suite. Ils ne pourront donc pas être fondu par chauffage ultérieur, ce qui en font des matériaux non recyclables (vieux pneus, prises électriques, poignées de casserole...).

Au niveau réactionnel, les thermoplastiques ne subissent pas de réaction chimique lors d'un changement de forme par chauffage tandis que les thermodurcissables subissent une réaction de réticulation. Cette réaction correspond à la formation d'un réseau tridimensionnel qui est créé par la formation de liaisons entre chaînes polymériques.

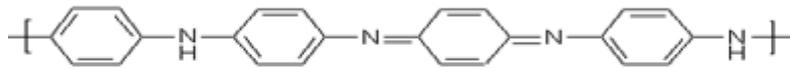
2) Propriété électrique

Les polymères sont généralement utilisés comme isolant électrique. Mais certains polymères particuliers sont semi-conducteurs. Ils doivent cette particularité à leur structure chimique qui est une alternance de simples et doubles liaisons. La double liaison est formée d'un lien fort (σ) et d'un lien faible (π) qui est plus polarisable.

Leur conductivité peut-être améliorée en dopant le polymère, c'est-à-dire en lui retirant (oxydation) ou en lui fournissant (réduction) des électrons. Ces charges électriques ajoutées au polymère sont mobiles au sein du matériau, le rendant électriquement conducteur.

Prenons un exemple de polymère conjugué : la polyaniline.

Celle-ci existe sous différentes formes. Dans l'expérience que vous aller voir, la polyaniline utilisée porte le nom d'émeraldine base (de couleur bleu) qui est la seule forme pouvant être rendue conductrice par dopage.



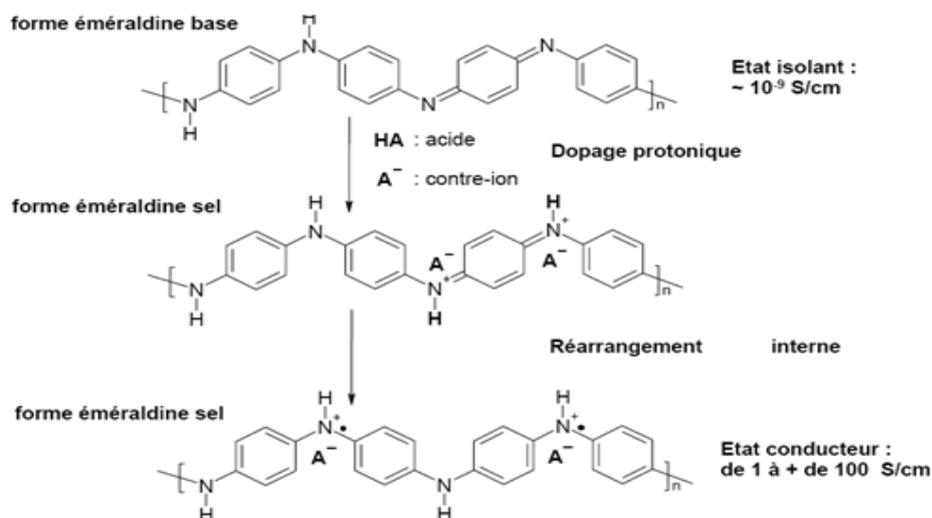
emeraldine

Le dopage de l'émeraldine base se déroule en trois étapes :

-Lors de l'ajout d'un acide (HA) dans la solution de polyaniline, il y a transfert d'ions H^+ de l'acide vers le polymère ce qui permet la formation de charges partielles.

-Un réarrangement interne à lieu afin de transformer les cycles quinones en cycles benzéniques beaucoup plus stables, ce qui induit la formation de polarons positifs (entité ne possédant qu'un électron).

-L'électroneutralité du système est obtenue par complexation ionique entre les polarons positifs et les contre-ions A^- de l'acide. Une polyaniline conductrice de couleur verte (éméraldine sel) est ainsi obtenue.



Remarque : La découverte de la conductivité électrique des polymères conjugués a donné lieu à l'attribution du prix Nobel de chimie en 2000 aux professeurs MacDiarmid, Shirakawa et Heeger.

Conclusion :

A l'heure actuelle, les polymères font l'objet de beaucoup de recherches, et les découvertes ne cessent de se multiplier. De part leurs merveilleuses et nombreuses propriétés, les polymères, quels qu'ils soient, se retrouvent dans de nombreux domaines d'application, et jouent un rôle primordial dans notre qualité de vie.

Structures et oscillations

1. Introduction

Beaucoup de structures que l'on observe dans la nature sont dues à des réactions chimiques. On peut citer comme exemple les cristaux, les roches et autres minéraux qui sont le produit de l'agglomération de molécules ou atomes en structures ordonnées. Ce qui est mal connu, ou du moins, l'était avant les années 50, c'est que la plupart des structures provenant du monde vivant (structure des coquillages, taches sur le pelage de certains animaux, ...) sont le fruit d'un tout autre mécanisme : les réactions oscillatoires. En effet, certaines réactions chimiques oscillent dans le temps et/ou dans l'espace c'est à dire que la quantité de produit oscille également.

2. Mécanisme

Deux conditions doivent être remplies pour que l'on puisse observer l'apparition de motifs :

- La réaction doit être auto-catalysée c'est à dire qu'elle doit former un produit, provoquer un phénomène qui va agir en tant qu'activateur de la réaction. Il faut donc qu'elle obéisse à un mécanisme de « rétrocontrôle ».
- La réaction doit également être capable d'échanger de l'énergie et de la matière avec l'environnement, c'est à dire le milieu ambiant.

La variation de quantité de produits et de réactifs est due à la compétition entre un activateur qui va favoriser la formation de produit et un inhibiteur, qui va entraver le bon déroulement de la réaction. En fonction des concentrations, l'activateur ou l'inhibiteur prendra l'avantage. On observe alors la variation périodique des concentrations des réactifs/produits de la réaction au fil du temps.

Il est également possible d'obtenir des variations périodiques dans l'espace qui provoquent l'apparition de motifs géométriques. La forme de ces motifs, dépend de nombreux facteurs (conditions expérimentales, proportion des réactifs, ...).

3. Exemple de motifs et lien avec l'expérience

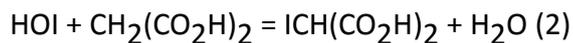
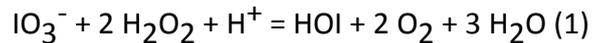
Les premières réactions chimiques oscillantes furent observées à la fin du 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème}. Cependant ce n'est que récemment que les outils expérimentaux et théoriques ont été développés et ont pu permettre une meilleure compréhension de ces phénomènes.

Plusieurs modèles ont été élaborés pour expliquer les réactions chimiques oscillantes, notamment le modèle de Lotka, dit « modèle proie-prédateur » dont la compréhension est facile et intuitive. Il s'agit du modèle le plus simple qui permet d'appréhender les mécanismes de base du phénomène d'auto-catalyse.

Plusieurs réactions ont permis l'élaboration de ces modèles :

- Réaction de Belousov-Zhabotinsky
- Structures de Turing
- Motifs de Liesegang
- Réaction de Briggs-Rauscher

La réaction de Briggs-Rauscher est un parfait exemple d'une réaction chimique oscillante dans le temps. Son mécanisme simplifié est le suivant:



Ces motifs peuvent être observés à des échelles complètement différentes. Les exemples d'oscillations chimiques sont légions dans le monde du vivant.

Les cycles du sommeil, les battements du cœur, les cycles hormonaux, sont des exemples d'oscillations temporelles.

La forme des coquillages, la disposition des bactéries dans l'espace, les motifs dermatologiques (rayure des tigres, taches des léopards...) seraient quant à eux provoqués par des réactions cycliques dans l'espace.

4. Conclusion et perspectives

Les secteurs d'applications sont divers et variés, on retrouve ces structures dans de nombreux domaines allant de la biologie aux sciences des matériaux, ainsi que dans la botanique, la géologie,...

Voici quelques exemples d'applications :

- Cycle de vie de l'acrasiale *Dictyostelium discoideum*, des bactéries qui, lorsqu'elles sont soumises à certaines contraintes vont s'agglutiner et former des spirales.
- Lors de la synthèse de nouveaux matériaux, il serait possible de favoriser la formation de certains motifs en faisant en utilisant des conditions chimiques et physiques adéquates.
- Les phénomènes de catalyses sont la plupart du temps soumis à des oscillations et la compréhension de ceux-ci permettrait de mieux contrôler les réactions catalytiques qui sont d'une importance capitale pour l'industrie.

La découverte de ces structures a également permis d'élargir le domaine de recherche de la thermodynamique. De nombreuses recherches seront encore nécessaires afin de comprendre ces phénomènes, c'est un domaine dans lequel il beaucoup reste à découvrir.

5. Questions

Donnez trois exemples où l'on observe des motifs spatiaux périodiques.

Quel phénomène physique peut expliquer l'apparition de motifs spatiaux ?

Quelles sont les deux conditions nécessaires pour qu'une réaction chimique puisse osciller ?

Dans le modèle de Lotka (proie-prédateur), qui est l'activateur et qui est l'inhibiteur ?

Dans la réaction de Briggs-Rauscher quel produit provoque une coloration bleutée ?