

Thème : COMPRENDRE – Lois et Modèles

(Sous-thème : Temps, mouvement et évolution)

Type de ressources :

Pistes d'activités illustrant des notions du programme et permettant un approfondissement.
Références bibliographiques et sitographie.

Notions et contenus :

Temps et évolution chimique : cinétique et catalyse
Catalyse homogène, hétérogène et enzymatique

Compétence travaillée ou évaluée : Extraire et exploiter des informations

Nature de l'activité :

Activité documentaire

Résumé :

L'activité se déroule en trois parties (les documents seront distribués successivement) :

- La partie A, rapide, permet d'énoncer la problématique : comment accélérer une transformation chimique sans agir sur les facteurs cinétiques ?
- Dans la partie B, les élèves dégageront quatre caractéristiques d'un catalyseur, puis ils en déduiront en quoi ces caractéristiques permettent de répondre à la problématique de départ.
- Dans la partie C, ils devront extraire les informations permettant d'illustrer ces caractéristiques.

Mots clefs : catalyse, enzymes, vitesse de réaction

Académie où a été produite la ressource : Académie d'Orléans-Tours

<http://physique.ac-orleans-tours.fr/>

La catalyse : intérêt

Conditions de mise en œuvre : activité de découverte, en classe (2h) ou à la maison

L'activité se déroule en quatre parties (les documents seront distribués successivement) :

- La partie A, rapide, est basée sur un article concernant la compétitivité de l'industrie chimique en France. Elle permet d'énoncer la problématique : comment accélérer une transformation chimique sans agir sur les facteurs cinétiques ?
- Dans la partie B, à partir de quatre expériences différentes de chimie organique et inorganique et des observations associées, les élèves dégageront quatre caractéristiques d'un catalyseur : accélération de la vitesse de réaction, régénération, non modification de l'état final, et sélectivité. Ensuite, ils en déduiront en quoi ces caractéristiques permettent de répondre à la problématique de départ.
- Dans la partie C, cinq documents présentent diverses utilisations de la catalyse. Les élèves devront alors extraire les informations permettant d'illustrer les caractéristiques relevées dans la partie B.
- L'activité pourra être poursuivie dans la partie D, où sont présentés un extrait d'un blog et d'une publicité. Une attitude critique sera mobilisée lors de cette partie dans la mesure où les élèves devront, à partir de leurs connaissances, reformuler deux informations mal exprimées dans les documents.

La partie B peut être menée sous la forme d'une séance d'activités expérimentales afin de « *Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mettre en évidence le rôle d'un catalyseur* ».

Les parties C et/ou D pourront être utilisées dans le cadre d'une évaluation.

On pourra utiliser l'espace numérique de travail (ENT) de l'établissement pour proposer une version numérisée des documents et éviter ainsi de faire de nombreuses photocopies. Le recours à l'ENT pourra permettre éventuellement une lecture en amont des documents.

Compétences travaillées :

- Compétences du préambule du cycle terminal : Rechercher, extraire et organiser l'information utile, Mettre en œuvre un raisonnement, Communiquer à l'écrit.
- Compétences « extraire et exploiter » : S'interroger sur la valeur scientifique des informations, Choisir ce qui est à retenir dans des ensembles, Exploitation qualitative, Communication en tant que scientifique.

Pré-requis : - Réactions lentes, rapides ; durée d'une réaction chimique.

- Facteurs cinétiques. Évolution d'une quantité de matière au cours du temps.

A. Lire et comprendre : la problématique

Extrait du Cahier Industries (publié par le ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie) n° 110 janvier 2006 :

Améliorer la compétitivité de la filière chimique

« Afin de préserver la compétitivité internationale de la chimie française, le gouvernement travaille à la réduction du coût des approvisionnements en énergie et matières premières pour l'ensemble des entreprises de la filière.

Solidement implantée sur le territoire français où elle compte déjà quatre sites de production et un centre de recherche occupant au total plus de 1100 salariés, la grande firme multinationale pharmaceutique d'origine américaine Rohm and Haas vient encore une fois de choisir la France pour installer une nouvelle unité de production, un atelier de résines chimiques destinées au traitement de l'eau industrielle et domestique. Localisation : Chauny dans le département de l'Aisne. « Pour une entreprise comme la vôtre qui est présente en France depuis plus d'un demi-siècle, a indiqué François Loos, ministre délégué à l'Industrie, le 9 novembre dernier, à l'occasion de l'inauguration du site, cet investissement témoigne de l'attractivité de notre pays pour les investisseurs étrangers. » Un atout sans aucun doute primordial pour permettre à la France de conserver une industrie chimique de rang mondial.

Comment le préserver ? Le rapport de Daniel Garrigue sur l'avenir de l'industrie chimique en France à l'horizon 2015, remis au gouvernement en mai 2005, propose nombre de pistes de réflexion intéressantes. Elles concernent essentiellement les problèmes liés au coût de l'énergie et des matières premières dans ce secteur d'activité. « Dans l'état actuel de leurs processus de production, peut-on lire dans le rapport, les industries chimiques sont sans aucun doute le premier secteur industriel consommateur d'énergie en France. » »

Néanmoins, pour être compétitive, une entreprise doit aussi pouvoir synthétiser rapidement ses produits.

En utilisant vos connaissances sur la cinétique chimique, expliquez en quoi l'accélération d'une transformation chimique ne va pas forcément dans le sens d'une réduction des coûts évoqués dans l'article. Votre raisonnement sera présenté dans un court paragraphe organisé et argumenté, en utilisant un vocabulaire scientifique adapté.

Les caractéristiques d'espèces chimiques appelées catalyseurs peuvent apporter une solution à cette problématique. A partir des différents documents et consignes donnés, vous allez répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques d'un catalyseur ? (PARTIE B)
- Comment celles-ci peuvent-elles intervenir dans la vie quotidienne ? (PARTIE C)
- Comment reformuler des informations mal exprimées dans des documents visant le grand public ? (PARTIE D)

B. Quelles sont les caractéristiques d'un catalyseur ?

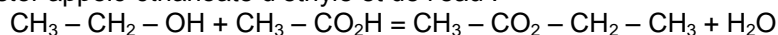
Les documents suivants décrivent quatre expériences et les observations associées. Dans chacune, une espèce chimique a un rôle particulier : on l'appelle un « catalyseur ».

En utilisant les observations et les résultats décrits dans ces expériences, extraire le rôle et les caractéristiques d'un catalyseur (quatre points sont attendus). Votre raisonnement sera présenté en quelques lignes, dans un paragraphe organisé et argumenté, en utilisant un vocabulaire scientifique adapté.

Vous en déduirez, selon les mêmes consignes de présentation, l'intérêt industriel d'une telle espèce chimique.

Expérience 1

L'éthanol et l'acide éthanóique peuvent réagir ensemble pour former, par une réaction dite « d'estérification », un ester appelé éthanoate d'éthyle et de l'eau :



Dans le bécher 1, à température ambiante, on mélange 1,0 mol d'éthanol (soit 77,4 mL) avec 1,0 mol d'acide éthanóique (soit 38,5 mL).

Dans un autre bécher 2, on fait de même, mais en ajoutant en plus 1 mL d'acide sulfurique concentré.

Au bout d'une heure, on dose la quantité d'acide éthanóique restante. Les résultats obtenus sont les suivants :

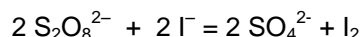
	Quantité d'acide éthanóique restant (en mol)
Bécher 1	0,99
Bécher 2	0,81

On laisse les mélanges pendant plusieurs mois, puis on réalise le même dosage. On obtient les résultats suivants :

	Quantité d'acide éthanóique restant (en mol)
Bécher 1	0,34
Bécher 2	0,34

Expérience 2

Les ions iodure I^- et les ions peroxydisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (incolores) réagissent pour former du diiode, brun-orangé selon l'équation :



Dans un bécher 1, on verse 10 mL d'une solution de peroxydisulfate de potassium de concentration $0,05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et 10 mL d'une solution d'iodure de potassium à $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le même mélange est réalisé, en même temps, dans un bécher 2, auquel on ajoute quelques gouttes d'une solution de sel de Mohr qui contient des ions fer II.

On observe dans les deux béchers le jaunissement de la solution, aboutissant à la même teinte, mais, dans le bécher 2, on constate que la coloration évolue plus rapidement que dans le bécher 1.

Expérience 3

Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) est oxydant dans le couple $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$, mais réducteur dans le couple $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$. Ainsi, l'eau oxygénée peut subir une dismutation selon la réaction $2 \text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.

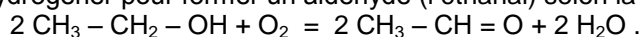
Bien entendu, cette décomposition est lente : c'est la raison pour laquelle nous pouvons trouver, en pharmacie par exemple, des bouteilles d'eau oxygénée (qui est un désinfectant).

Or, si dans un tube à essai on ajoute à de l'eau oxygénée 2 à 3 gouttes de chlorure de fer III (jaune), on observe la formation de bulles de dioxygène indiquant que la réaction a lieu.

De plus, on observe une évolution de la coloration : initialement jaune à cause des ions fer III, la solution passe par une coloration orange, puis marron, avant de redevenir jaune une fois que le dégagement gazeux est fini.

Expérience 4

L'éthanol peut se déshydrogéner pour former un aldéhyde (l'éthanal) selon la réaction suivante :



Il peut aussi se déshydrater pour former un alcène (l'éthène) : $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH} = \text{CH}_2 = \text{CH} + \text{H}_2\text{O}$

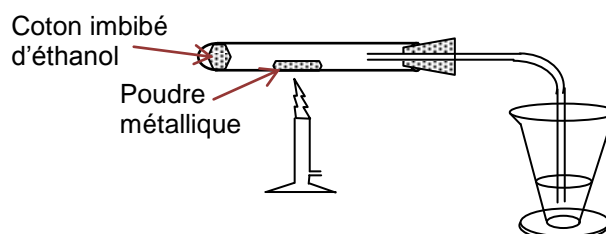
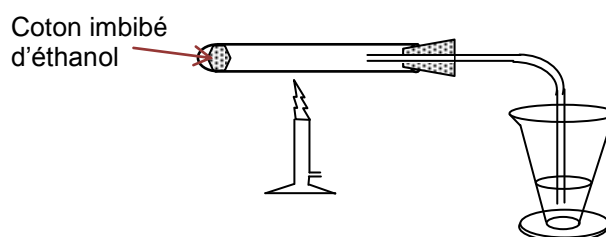
On chauffe de l'éthanol grâce au montage ci-contre, le verre à pied contenant de la DNPH (test permettant d'identifier les aldéhydes), ou de l'eau de brome (test permettant d'identifier les alcènes).

Après quelques minutes de chauffage, dans les deux cas, les tests sont négatifs.

On recommence l'expérience, en ajoutant, cette fois, une poudre métallique.

Lorsque la poudre est une poudre de cuivre, le test à la DNPH est positif et celui à l'eau de brome est négatif.

Lorsque la poudre est une poudre d'alumine (Al_2O_3), le test à la DNPH est négatif, alors que celui à l'eau de brome est positif.



C. Comment les caractéristiques des catalyseurs peuvent-elles intervenir dans la vie quotidienne ?

En tant que journaliste scientifique, vous devez rédiger un article sur le dernier prix Nobel récompensant une découverte dans le domaine de la catalyse. Votre article commence ainsi :

« Les chercheurs récompensés par le prix Nobel hier ont fait des découvertes particulièrement intéressantes dans le domaine de la catalyse. Preuve de l'importance de ce procédé dans la chimie : de nombreux prix Nobel ont déjà récompensé des chercheurs dont les découvertes mettent en jeu la catalyse. Par exemple :

- *en 2005, le français Yves Chauvin est récompensé pour la métathèse des oléfines, réaction catalysée consistant à casser les doubles liaisons C=C et à les recomposer en changeant la place de groupes d'atomes.*
- *en 2007, l'allemand Gerhard Ertl reçoit le prix pour ses recherches en chimie des surfaces, domaine qui s'attache aux réactions qui se produisent à l'interface solide / gaz ou liquide, très souvent impliquées en catalyse.*
- *en 2010, Richard Heck (américain), Ei-ichi Negishi et Akira Suzuki (japonais), ont été récompensés pour le couplage croisé catalysé au palladium qui permet la synthèse de molécules complexes indispensables à la vie.*

Mais qu'est-ce qu'un catalyseur ? C'est une espèce chimique qui accélère une réaction. Elle présente deux particularités : elle est régénérée à la fin de la transformation et elle présente un caractère sélectif, c'est-à-dire qu'elle va favoriser la production du produit désiré par rapport à d'éventuels produits secondaires. »

Dans la suite de l'article, vous devez montrer aux lecteurs en quoi chacune des propriétés citées précédemment (accélération de la vitesse de réaction, régénération et sélectivité) peut être riche en applications dans la vie quotidienne. Votre raisonnement s'appuiera sur les documents ci-après, sélectionnés pour illustrer votre article. Chaque propriété sera illustrée en une dizaine de lignes, dans un paragraphe organisé et argumenté, en utilisant un vocabulaire scientifique adapté.

Document 1 : Catalyse et lentilles

L'eau oxygénée est un désinfectant qui peut, entre autres, être utilisé pour la désinfection des lentilles de contact : en effet, des dépôts de graisse et de protéines se forment et agissent comme substrats de micro-organismes qui peuvent endommager la lentille et l'œil. Une solution de 1 à 5 % d'eau oxygénée peut être utilisée pour ce nettoyage.

Néanmoins, un rinçage soigneux avec destruction des restes d'eau oxygénée est indispensable car tout contact de cette substance avec les yeux provoquerait de graves irritations ! Pour cela, deux procédés sont utilisés :

- dans le procédé le plus ancien, c'est un disque constitué d'une grille de platine qui sert de catalyseur. On peut aussi utiliser l'enzyme catalase comme catalyseur pour accélérer cette décomposition.
- dans un procédé à une seule étape, on place, en même temps que la solution de peroxyde d'hydrogène, une pastille de catalase contenant une quantité suffisante d'enzyme pour assurer la décomposition complète du peroxyde. La pastille est conçue de manière à gonfler et libérer progressivement l'enzyme à une vitesse contrôlée laissant le temps au peroxyde d'assurer le nettoyage de la lentille.

Dans ces deux procédés, l'eau oxygénée subit la dismutation $2 \text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ (réaction très lente sans catalyseur) qui possède deux avantages :

- pendant le processus, des bulles de dioxygène formées ont une action « mécanique » sur les lentilles et permettent de décoller les impuretés,
- à la fin du processus, il ne reste que de l'eau (sans danger pour l'œil).

Document 2 : Catalyse et Nobel

En 2001, trois chercheurs avaient obtenu le prix Nobel pour des réactions catalysées :

Extrait d'un article de « Usine Nouvelle », 10 Octobre 2001, par Thierry Lucas

Chimie : le Nobel pour la synthèse asymétrique

« Le prix Nobel de chimie 2001 distingue trois pionniers de la synthèse asymétrique, cette technique qui permet de ne fabriquer que l'une des deux formes d'une molécule « chirale », images l'une de l'autre dans un miroir. Ces molécules sont fréquentes en pharmacie, où seule l'une des formes est active (l'autre étant parfois nocive), et la synthèse asymétrique a aussi des applications dans l'industrie agrochimique.

Les lauréats qui se partagent le prix sont William S. Knowles (Etats-Unis) et Ryoji Noyori (Japon) d'une part, et K. Barry Sharpless (Etats-Unis), d'autre part. Knowles et Noyori sont récompensés pour leurs travaux sur la catalyse des réactions d'hydrogénation. (...) Parallèlement, Sharpless a travaillé sur un autre type de réactions fréquemment utilisées en synthèse organique : l'oxydation, toujours à l'aide de catalyseurs chiraux. Ses travaux ont notamment débouché sur des productions industrielles d'alcools époxy, qui sont des briques de base pour la synthèse de produits pharmaceutiques, par exemple des bêtabloquants (médicaments utilisés dans le traitement des maladies cardio-vasculaires). »

Document 3 : Catalyse et enzymes (protéines catalysant des réactions souvent biochimiques)

Dans un cours de biochimie, on peut lire :

Un mélange de glucose, d'ATP et de NAD^+ n'évolue pas significativement à 37°C.

En présence de glucokinase, le glucose réagit avec l'ATP :

$\text{glucose} + \text{ATP} = \text{glucose 6-phosphate} + \text{ADP}$

Cette réaction est la première étape de la glycolyse : une voie métabolique d'assimilation du glucose et de production d'énergie chez les organismes vivants.

Mais en présence de glucose-deshydrogénase, il réagit avec NAD^+ :

$\text{glucose} + \text{NAD}^+ = \text{D-glucono-1,5-lactone} + \text{NADH} + \text{H}^+$

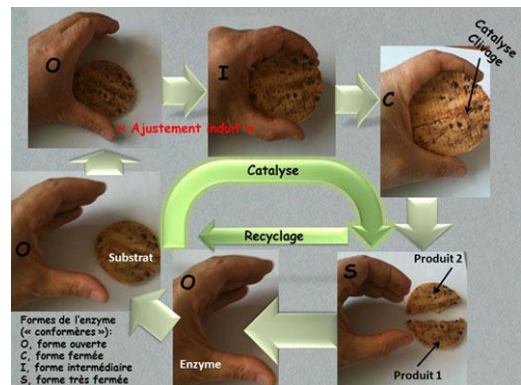
Cette réaction est la première étape d'une autre voie du métabolisme énergétique d'assimilation du glucose : la voie des pentoses phosphates, ou voie de Warburg-Dickens-Horecker.

Article issu du site du CNRS <http://www.cnrs.fr/insb/recherche/parutions/articles2011/t-meinzel.htm>

« L'un des principes fondamentaux du monde vivant est sa capacité à réaliser de manière extrêmement rapide et précise des réactions chimiques d'une grande complexité et de les enchaîner. C'est ainsi que les cellules perdurent et se divisent. Des macromolécules spécifiques, les enzymes, en quantités infimes par rapport aux réactants, ont le rôle de catalyser ces réactions biochimiques et peuvent être réutilisées un nombre incalculable de fois.

Mais comment ces protéines essentielles à la vie peuvent-elles accélérer les réactions aussi efficacement ? En fait, le substrat doit d'abord être reconnu par l'enzyme, entrer en contact avec certains groupes chimiques qui lui sont propres, puis subir une transformation, favorisée par l'environnement chimique ainsi constitué et associée à des déformations de groupements moléculaires physiquement rapprochés dans l'espace. L'ensemble atteint ainsi un état éphémère très réactionnel appelé « état de transition », qui augmente la rapidité de la réaction biochimique de plusieurs centaines de milliards de fois.

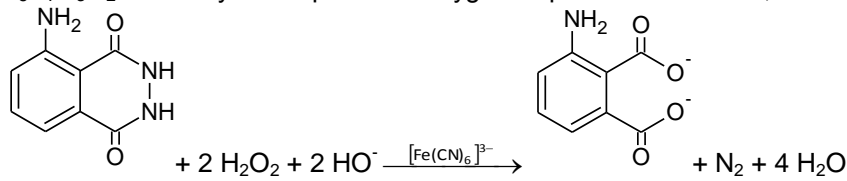
Une enzyme est capable de changer de conformation selon l'état d'avancement de la réaction chimique qu'elle catalyse. La première modification morphologique de la macromolécule (I) est induite par la fixation du substrat dans une poche bien spécifique de l'enzyme initialement ouverte (O). Cette étape, au cours de laquelle l'enzyme se referme progressivement autour du composé, permet la formation d'une liaison hydrogène qui stabilise alors le complexe dans un état particulièrement réactif (C). Enfin, lorsque l'enzyme a hydrolysé le substrat (S) et libéré les produits de cette réaction, elle retrouve sa forme ouverte de départ, prête à accueillir un nouveau composé. »



© ISV, T. Meinzel, C. Giglione

Document 4 : Catalyse et police scientifique

Le luminol ou 5-amino-2,3-dihydrophthalazine-1,4-dione est un composé organique de formule brute $C_8H_7N_3O_2$. Son oxydation par l'eau oxygénée produit du diazote, de l'eau et des ions aminophthalate :



Les ions aminophthalate sont dans ce cas dans un état excité. Ils vont retrouver leur état de repos en donnant leur surplus d'énergie sous forme de photons : cela se traduit par l'émission d'une lumière bleue.

Cette réaction, très lente, peut prendre jusqu'à plusieurs mois... Néanmoins, en présence d'un composé contenant des ions fer III, elle est beaucoup plus rapide et est réalisée en quelques secondes.

L'hémoglobine des globules rouges du sang contient des ions fer III. Le luminol va servir à déceler des traces de sang, même infimes, diluées par lavage ou séchées.

Document 5 : Catalyse et pollution

Issu de « Si la chimie m'était contée », Paul Arnaud, Belin Pour la science

« La combustion d'un hydrocarbure, par exemple un octane de formule C_8H_{18} donne de l'eau et du dioxyde de carbone, comme

l'établit le bilan: $C_8H_{18} + \frac{25}{2} O_2 = 8 CO_2 + 9 H_2O$.

Les gaz d'échappement d'un moteur ne devraient donc contenir que du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Mais les choses sont plus compliquées et ils contiennent aussi, à la suite de diverses autres réactions, du monoxyde de carbone CO, des oxydes d'azote NO et NO_2 , ainsi qu'une certaine quantité d'hydrocarbures non brûlés, auxquels s'ajoutent encore des particules de carbone dans le cas du Diesel particulièrement.

Les pots d'échappement catalytiques ont pour fonction de détruire, parmi ces composants, ceux qui représentent les facteurs de pollution les plus dangereux : CO, NO, NO_2 et les hydrocarbures. Ils contiennent des « lits » catalytiques au contact desquels les gaz circulent, constitués par des métaux tels que le platine, le palladium et le rhodium, déposés sur un support en céramique ou en métal. À leur contact, par le jeu de réactions assez complexes, CO est oxydé en CO_2 , NO_2 et NO sont réduits en diazote N_2 et les hydrocarbures sont « brûlés » en CO_2 et H_2O . Les rejets ne contiennent donc, outre le diazote « rendu » à l'atmosphère, que du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Mais ces pots catalytiques sont incompatibles avec l'utilisation de carburants « plombés », car le plomb inactive (on dit «empoisonne») les catalyseurs. »



D. Cherchez l'erreur...

Deux informations délivrées dans les documents sont mal formulées. Après les avoir repérées, vous proposerez une reformulation.

Document 1 : Catalyse et lessive

C'est en 1913 qu'Otto RÖHM développa la première lessive en poudre enrichie aux enzymes provenant d'extraits pancréatiques. Les lessives en poudre modernes contiennent entre autres des enzymes : protéases, lipases, cellulases et amylases. Les enzymes contenues dans la lessive agissent dans des conditions extrêmes : les réactions enzymatiques se déroulent à des pH alcalins (environ $\text{pH} = 10$) et des températures allant de 30 à 90°C.

En 1969, une marque les met en avant, en les qualifiant d' « enzymes gloutons ». On pouvait lire, sur une affiche : « Ses multi-enzymes dévorent les taches. Chaque paquet d'Ala® contient une forte concentration de multi-enzymes. Ils dévorent les taches de fruit, œuf, herbe, sauce, chocolat, etc. »

Publicité vidéo : <http://www.culturepub.fr/videos/ala-lessive-enzymes-gloutons>

Document 2 : Catalyse et ménage

Article issu du site : <http://www.dismoicoment.fr/cuisine/comment-nettoyer-un-four-catalyse.htm>

« Le four à catalyse dispose d'une option de nouvelle technologie qui révolutionne l'entretien de celui-ci. Généralement le nettoyage d'un four est une réelle corvée. Grâce à des parois en émail qui sont dégraissantes l'entretien devient très facile : votre four à catalyse se nettoie automatiquement à chaque utilisation. A forte température l'action des parois du four absorbe les différentes graisses avant que celles-ci viennent encrasser votre appareil électroménager. »