

CHIMIE ET LUMIÈRE

Éric Bausson, en collaboration avec Françoise Brénon : auteure ressources protocoles

Parties des programmes de physique-chimie associées :

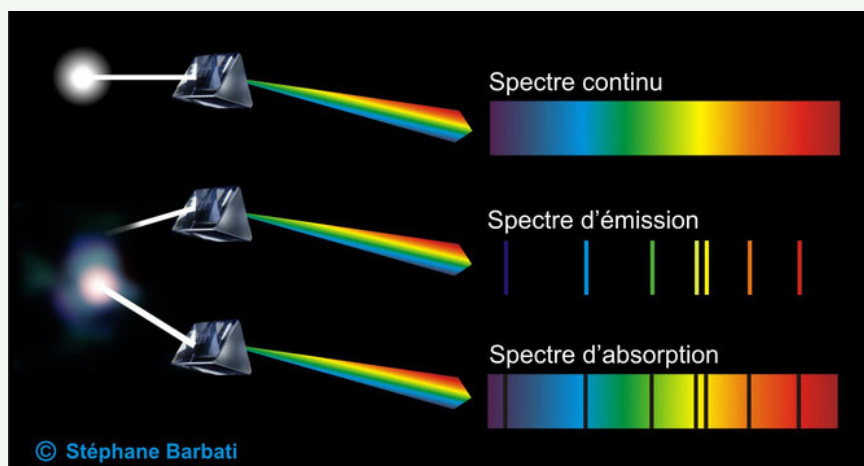
- Programme de physique-chimie de la **seconde générale et technologique**
Partie « Constitution et transformations de la matière »
- Programme de physique-chimie de la **première générale**
Parties « Constitution et transformations de la matière » et « ondes et signaux »
- Programme de la spécialité physique-chimie de **terminale générale**
Partie « Constitution et transformations de la matière »
- Programme de physique-chimie de **première STI2D**
Partie « Matière et matériaux » / Propriétés des matériaux et organisation de la matière

MOTS-CLÉS : oxydo-réduction, photon, lumière, matière, énergie, photosynthèse, chimiluminescence.

INTRODUCTION

L'absorption de lumière permet d'effectuer certaines transformations chimiques tandis que d'autres peuvent s'accompagner d'une émission de lumière.

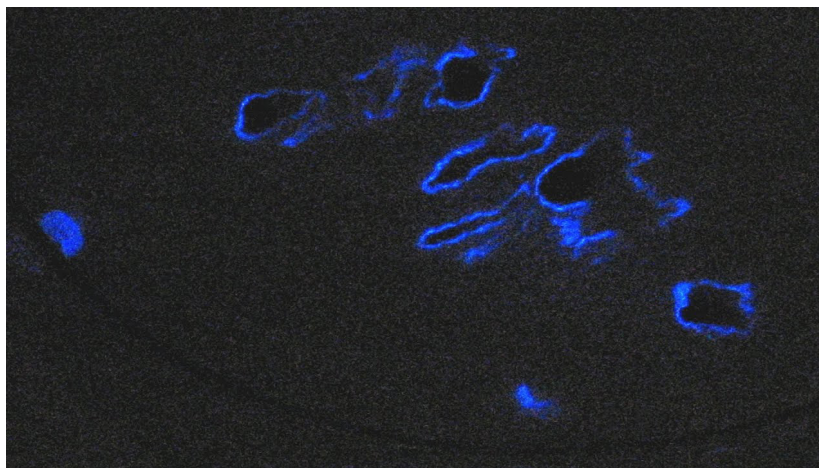
Nous allons voir, à travers les deux exemples proposés, que l'interaction entre la lumière et la matière permet la conversion d'énergie chimique en énergie de rayonnement et réciproquement.



Spectre de la lumière blanche et spectres issus des interactions lumière-matière.

PARTIE A : La chimiluminescence

La chimiluminescence, du latin *lumen* (lumière), est le phénomène d'émission de lumière observé lors de certaines transformations chimiques. L'une des plus connues est celle mettant en jeu le luminol, solide cristallin jaunâtre, composé utilisé pour détecter en criminologie des traces de sang nettoyées sur les scènes de crime grâce à une fluorescence bleue.



Détection avec du luminol de traces de sang lavées - © Nile Red.

Le luminol (ou 5-amino-2,3-dihydro-1,4-phtalazinedione), a pour formule brute $C_8H_7N_3O_2$. En présence d'un oxydant fort (peroxyde d'hydrogène H_2O_2), en milieu basique (ions hydroxyde HO^-) et d'un catalyseur (du fer (III)), il se forme un dégagement de diazote N_2 et un ion 3-aminophtalate dans un état excité.

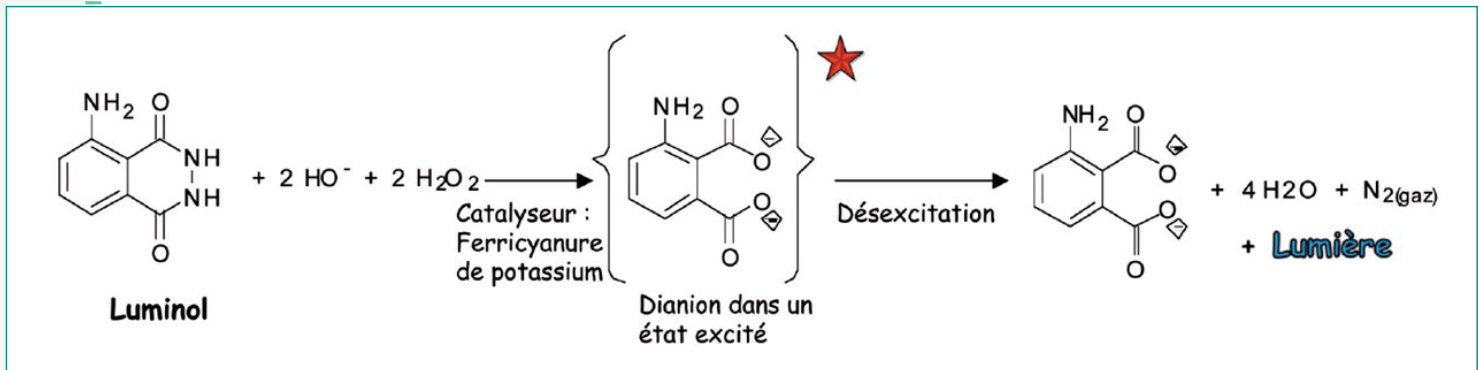
Sa désactivation s'accompagne de l'émission d'une intense lumière bleue.

Protocole expérimental de chimiluminescence avec le luminol

Les réactifs étant concentrés et présentant divers dangers, il faut manipuler dans des conditions strictes de sécurité (blouse, lunettes de sécurité, gants, sous hotte aspirante).

- Préparer deux solutions distinctes pour une classe de 36 élèves :
 - **solution A** : un litre de solution aqueuse contenant 4,0 g de luminol et 40 g d'hydroxyde de sodium NaOH.
 - **solution B** : un litre de solution aqueuse d'hexacyanoferrate de potassium $K_3Fe(CN)_6$ à $40\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, contenant du fer au degré III sous la forme d'ions complexes $Fe(CN)_6^{3-}$.
- Juste avant l'expérience, prélever 50 mL de la solution B et y ajouter $V = 5,0\text{ mL}$ d'eau oxygénée H_2O_2 à $C = 1,0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ puis 50 mL de la solution A et observer !

Voici ce qui se passe au cours de cette transformation chimique :



Source : Le laboratoire des couleurs – Anne Guillerand - BUP vol. 104 (Déc. 2010)
https://bupdoc.udppc.asso.fr/consultation/une_fiche.php?ID_fiche=20830

Cette réaction peut avoir lieu en l'absence de Fe(III) mais elle est très lente car elle peut prendre jusqu'à plusieurs mois au lieu de quelques secondes!

Une vidéo, disponible sur le site Mediachimie, vous permet d'en savoir encore plus sur la chimiluminescence et plus particulièrement sur la détection avec le luminol de traces de sang lavées et un autre document sur des [protocoles plus détaillés de fluorescence et de chimiluminescence](#).



Activité 1

1 D'après la vidéo, quel ion de l'élément fer, présent dans l'hémoglobine, permet de détecter des traces de sang lavées avec le luminol oxydé en milieu basique ?

.....

2 Quel double rôle joue l'eau oxygénée pour la détection de traces de sang lavées ?

.....

3 Écrire la(les) demi-équation(s) électronique(s) mettant en jeu l'eau oxygénée H₂O₂ pour la détection de traces de sang lavées.

.....

4 Quel rôle joue l'ion Fe³⁺ ? En déduire l'évolution de sa quantité de matière au cours de cette transformation chimique.

.....

5 Parmi les longueurs d'onde proposées ci-dessous, laquelle correspond au rayonnement émis par l'ion 3-aminophtalate lors de sa désexcitation ?

- 330 nm 430 nm 730 nm 830 nm

6 Calculer l'énergie du photon émis par l'ion 3-aminophtalate lors de sa désexcitation.

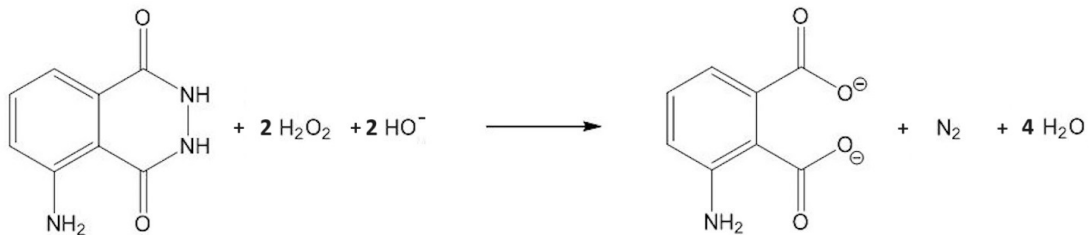
.....

Données :

- Couples rédox mettant en jeu l'eau oxygénée $H_2O_2 : O_2 / H_2O_2$ et H_2O_2 / H_2O
- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Activité 2

Voici l'équation bilan de la réaction chimique lors de l'oxydation du luminol, de formule brute $C_8H_7O_2N_3$ en milieu basique :



1 En analysant le protocole, calculer la quantité de matière initiale du luminol dans la solution A.

.....

2 En analysant le protocole, calculer la quantité de matière initiale de l'eau oxygénée.

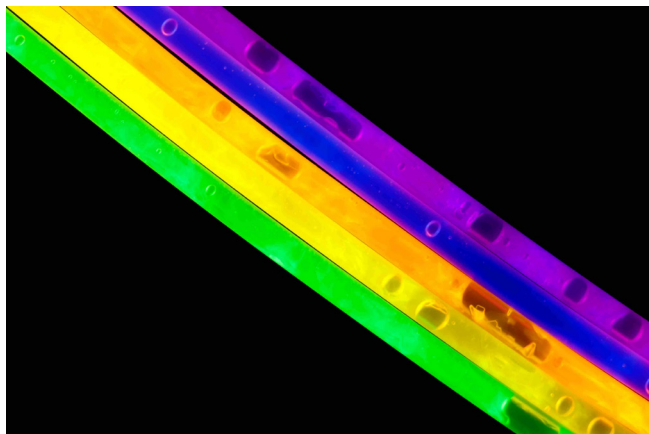
.....

3 Déterminer qui du luminol ou de l'eau oxygénée est le réactif limitant lors de l'expérience présentée dans le protocole expérimental.

.....

Données : Masses molaires atomiques (g.mol^{-1}) : $M_C = 12,0$; $M_H = 1,0$; $M_O = 16,0$; $M_N = 14,0$.

La chimiluminescence a d'autres applications, dont celle beaucoup plus ludique des bâtons et bracelets cassables fluorescents. En utilisant ce principe, des milliers d'espèces animales émettent de la lumière : vers luisants, méduses, lucioles, poissons... La chimiluminescence est aussi très utilisée pour effectuer des mesures (dosage des oxydes d'azote dans l'air, etc.).



Bâtons lumineux - © James Mc Quillan.

Pour aller plus loin

- Sur le site [mediachimie](http://www.mediachimie.org) : www.mediachimie.org, 4 vidéos sur l'interaction lumière-matière:
 - [Fluorescence](#) – Raphaël Blareau / Françoise Brénon – Mediachimie
 - [Chimiluminescence](#) – Raphaël Blareau / Françoise Brénon – Mediachimie
 - [Photochromisme](#) – Raphaël Blareau / Françoise Brénon – Mediachimie
 - [Tomate arc-en-ciel](#) – Raphaël Blareau / Françoise Brénon – Mediachimie
- [Trois expériences de chimie](#) avec leurs protocoles détaillés qui permettent de mettre en évidence l'interaction lumière matière (émission de lumière colorée, chimiluminescence et fluorescence), par Françoise Brénon
- [La bioluminescence, une lumière venue de la mer prête à révolutionner la ville de demain](#) – Sandra Rey – Mediachimie
- [La photoluminescence au service de la médecine](#) – Pierre Labarbe – Mediachimie



Fluorescence - © Raphaël Blareau / Françoise Brénon – Mediachimie.

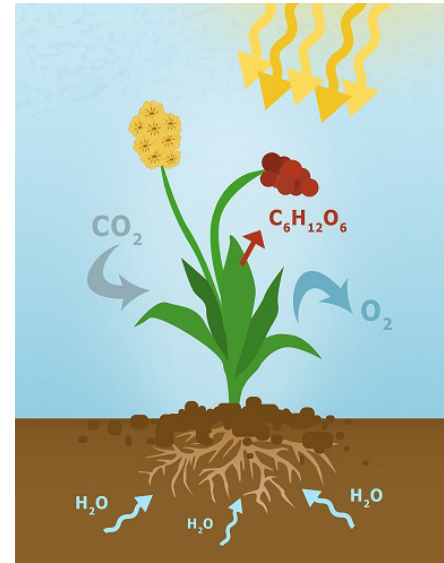
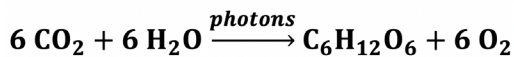
PARTIE B : La photosynthèse, source d'inspiration pour les chimistes

Le dioxyde de carbone (CO₂) est la source naturelle du carbone pour la flore, puis pour la faune et les êtres humains qui s'alimentent de végétaux et animaux !

Les plantes et micro-organismes (micro-algues, bactéries, etc.) absorbent le dioxyde de carbone atmosphérique et réalisent la photosynthèse en faisant réagir ce gaz avec de l'eau sous l'action de photons, quanta d'énergie (quantités discontinues) associés aux ondes électromagnétiques du Soleil.

La photosynthèse est une réaction lors de laquelle l'eau H₂O est oxydée en dioxygène O₂, molécule indispensable pour toute vie, et le dioxyde de carbone CO₂ est réduit en glucose C₆H₁₂O₆.

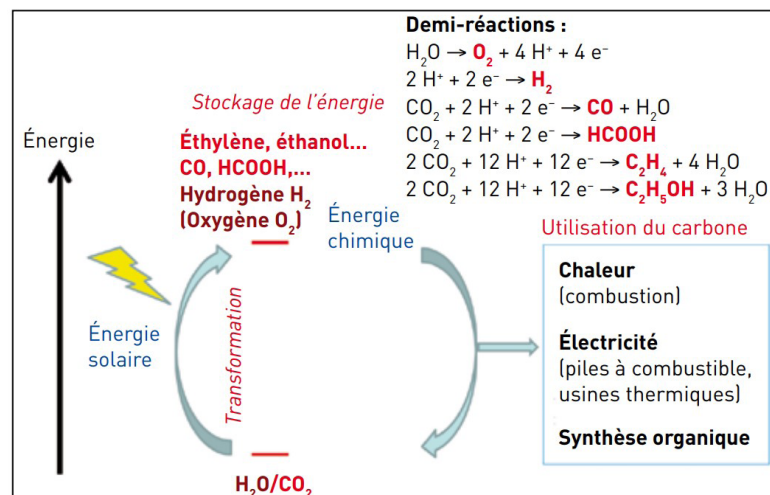
Voici l'équation bilan de la photosynthèse :



Le rendement de la photosynthèse est très faible car il ne dépasse pas 1 % pour les plantes et 4 % pour les micro-organismes. Ceci est dû à l'absorption partielle du spectre solaire par les pigments photosensibles et à une perte d'énergie de 30 % dans le mécanisme global. L'énergie apportée par les photons est convertie en énergie chimique lors de la création des nouvelles liaisons chimiques, dont les liaisons C-C et C-H. Il s'agit donc d'un stockage chimique.

Et si les chimistes imitaient la nature ?

Comme le montre l'illustration ci-après, l'énergie solaire peut aussi être convertie en énergie chimique sans pouvoir pour le moment atteindre la production de glucose. Mais les molécules produites ont toutes un intérêt pour l'industrie chimique.



La photosynthèse artificielle et le cycle énergétique :
les différentes réactions d'oxydo-réduction intervenant lors du processus.

Les défis pour la recherche sont immenses car il faut améliorer les rendements de la photosynthèse artificielle tout en privilégiant des catalyseurs sélectifs à moindre coût et non polluants. Mais cette voie de recyclage du CO₂ n'est pas à négliger, car elle peut être une des solutions à l'épineux problème du réchauffement climatique.

Activité 3

- 1 Lors de la photosynthèse naturelle, que se passe-t-il ? Cocher la(les) bonne(s) réponse(s).

<input type="checkbox"/>	Il y a eu une transformation d'espèces chimiques.
<input type="checkbox"/>	L'eau et le dioxyde de carbone sont les réactifs de la photosynthèse.
<input type="checkbox"/>	Le bilan de la photosynthèse est : dioxygène + glucose → dioxyde de carbone + eau.
<input type="checkbox"/>	Le dioxyde de carbone et l'eau sont les produits de la photosynthèse.

- 2 Donner les deux couples oxydant / réducteur mis en jeu lors de la photosynthèse naturelle.

.....

.....

- 3 Donner les noms des molécules organiques HCOOH et C₂H₅OH produites lors de la photosynthèse artificielle.

.....

- 4 Qu'est-ce qu'un « catalyseur sélectif » ?

.....

.....

Pour aller plus loin

- [Le dioxyde de carbone, la molécule clé de la chimie du développement durable](#) – J. Amouroux, P. Siffert, J.-P. Massué, S. Cavadias, B. Trujillo, K. Hashimoto, P. Rutberg et S. Dresvin – Mediachimie
- [Que faire du CO₂ ? De la chimie!](#) – M. Fontecave – Colloque Chimie et changement climatique – 18/11/2015
- Vidéo « [Vive le CO₂!](#) » – Des idées plein la Tech – Mediachimie

Quelques questions autour de « Chimie et lumière » pour le Grand oral

- Comment et pourquoi certains animaux émettent-ils de la lumière ?
- Quelles sont les avancées en chimie qui ont permis des progrès considérables en criminologie ?
- Comment peut-on utiliser la chimiluminescence dans l'agroalimentaire ?
- Comment la chimiluminescence permet-elle de doser les oxydes d'azote ?

Activité 1

1. Il s'agit de l'ion Fe^{2+} .
2. L'eau oxygénée H_2O_2 oxyde à la fois le luminol et les ions Fe^{2+} présents dans l'hémoglobine.
3. Il ne faut utiliser que le couple $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$ où H_2O_2 est l'oxydant.
4. $\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{e}^- + 2 \text{H}^+ = 2 \text{H}_2\text{O}$.
5. L'ion Fe^{3+} est un catalyseur donc sa quantité de matière demeure constante au cours de cette transformation chimique.
6. S'agissant d'une fluorescence bleue, il ne peut s'agir que de la longueur d'onde 430 nm.

Activité 2

1. Déterminons tout d'abord la masse molaire moléculaire du luminol :

$$\begin{aligned} M(\text{luminol}) &= M(\text{C}_8\text{H}_7\text{O}_2\text{N}_3) \\ &= 8 \times M_{\text{C}} + 7 \times M_{\text{H}} + 2 \times M_{\text{O}} + 3 \times M_{\text{N}} \\ &= 177,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

La quantité de matière de luminol présente dans la solution A est donc :

$$n_{\text{luminol}} = m_{\text{luminol}} / M_{\text{luminol}} = 2,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

2. La quantité de matière d'eau oxygénée vaut :

$$n_{\text{eau oxygénée}} = C \times V = 1,0 \times 5,0 \times 10^{-3} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

3. Pour le luminol, on prend le vingtième du volume de la solution A, donc la quantité de matière de luminol utilisée vaut $2,3 \times 10^{-2} / 20$ soit $1,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

Tenons compte des nombres stœchiométriques pour déterminer la nature du réactif limitant :

$$\frac{n_{\text{luminol}}}{1} = 2,3 \times 10^{-2} \text{ mol et } \frac{n_{\text{eau oxygénée}}}{2} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

Le luminol est donc le réactif limitant dans le protocole expérimental proposé.

Activité 3

1. Lors de la photosynthèse naturelle :
 - ✗ Il y a eu une transformation d'espèces chimiques.
 - ✗ L'eau et le dioxyde de carbone sont les réactifs de la photosynthèse.
2. Il s'agit de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 / \text{CO}_2$ et $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$.
3. HCOOH : acide méthanoïque et $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: éthanol.
4. Un catalyseur sélectif permet d'orienter la transformation chimique vers la formation d'un seul produit d'intérêt.