

La chimiluminescence au service du sport

J'ai voulu étudier la chimiluminescence pour son aspect ludique notamment à travers les bâtons lumineux. Après quelques recherches, je me suis demandée si et comment la chimiluminescence pourrait être utilisée dans l'exercice de sports se faisant sur plusieurs jours comme par exemple des trails.

Certaines pratiques sportives, comme celle du trail, sont extrêmement longues et se prolongent souvent dans la nuit : un équipement lumineux actif avec une autonomie suffisante est donc indispensable. En l'optimisant, la chimiluminescence pourrait être un moyen efficace de repérer les participants et ainsi garantir leur sécurité dans le noir.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- CHIMIE (*Chimie Organique*)
- CHIMIE (*Chimie Théorique - Générale*)
- INFORMATIQUE (*Informatique pratique*)

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Bâtons lumineux</i>	<i>Glow sticks</i>
<i>Luminescence</i>	<i>Luminescence</i>
<i>Cinétique</i>	<i>Kinetics</i>
<i>Diester oxalate</i>	<i>Diester oxalate</i>
<i>Analyse d'images</i>	<i>Pictures analysis</i>

Bibliographie commentée

La chimiluminescence est une émission de lumière produite par une réaction chimique. C'est un phénomène basé sur l'excitation quantique de certaines molécules organiques à travers une réaction chimique, souvent une oxydo-réduction [1]. En revenant à leur état fondamental, ces molécules restituent l'énergie fournie sous forme de photons et donc d'émission lumineuse. En 1913, Curtuis et Semper découvrent les propriétés de chimiluminescence du luminol dont la désexcitation est directe - la molécule retourne à un état stable en émettant de la lumière - en présence d'un oxydant adéquat [2].

Mais c'est seulement en 1962 que Chandross observe les propriétés de chimiluminescence indirecte des diesters de l'acide oxalique, dit diesters oxalates qui va être à l'origine des bâtons lumineux : leur excitation acquise grâce à une réaction d'oxydoréduction - généralement avec le peroxyde d'hydrogène - est transmise à une molécule intermédiaire appelée fluorophore qui va alors se désexciter en émettant un photon grâce auquel de la lumière est émise [1][3]. Le TCPO (Bis[2,4,6-(trichlorophenyl)oxalate]) et le DVO (Bis[2-(methoxycarbonyl)phenyl]) sont deux oxalates régulièrement utilisés en chimiluminescence et en particulier dans les bâtons lumineux [4].

La chimiluminescence est utilisée dans de nombreux domaines comme la médecine via l'imagerie moléculaire, l'éducation chimique - la chimiluminescence étant un procédé attirant pédagogiquement- ou encore la criminologie avec le luminol. Les bâtons lumineux quant à eux sont déjà utilisés pour la spéléologie, dans le cadre d'exercices militaires voire même pour faire de la plongée. Leur utilisation est pratique car il s'agit d'une source de lumière à durée déterminée ne nécessitant pas d'électricité. Il suffit de plier le tube pour faire entrer les réactifs en contact et démarrer la réaction [5]. Les diesters oxalates sont des molécules facilement synthétisées en laboratoire, nécessitant seulement des techniques de base de chimie organique et pouvant provenir de molécules accessibles et sans danger comme la vanilline [7][8]. En effet, la synthèse des diesters consiste simplement en une réaction d'estérification entre deux phénols et un acide oxalique.

Un des enjeux est donc d'identifier les paramètres susceptibles d'influencer la cinétique des réactions de chimiluminescence afin d'optimiser leur utilisation dans certains sports. Le but serait de pouvoir s'en servir lors de la pratique de sports se faisant sur de longues durées comme les trails. En effet, lors de trails, les sportifs peuvent facilement être amenés à évoluer dans la nuit. De plus, la molécule la plus communément utilisée pour la fabrication des bâtons lumineux est le TCPO et sa synthèse implique le 2,4,6-trichlorophénol, une molécule nocive à la fois pour la santé et l'environnement [9]. Il est donc intéressant de trouver des synthèses de diesters oxaliques alternatives comme celle du DVO utilisant la vanilline. Pour déterminer un substitut efficace au TCPO, il est nécessaire de s'intéresser aux différents paramètres influant sur la réaction, il peut s'agir de paramètres extérieurs ou inhérents à la réaction.

La quantité de lumière émise ainsi que la durée de cette émission varient en fonction de paramètres tels que la température du système chimique [9], ou encore la concentration des réactifs introduits [10]. Ici, le but est donc d'obtenir le bon compromis entre réaction longue et intensité forte.

Problématique retenue

Comment optimiser une réaction de chimiluminescence mettant en jeu des diesters oxalates pour une utilisation lors de pratiques sportives nocturnes de longues durées ?

Objectifs du TIPE du candidat

Mettre en oeuvre un protocole de synthèse d'un diester de l'acide oxalique, le DVO, et caractériser le produit obtenu

Analyser deux réactions de chimiluminescence pour étudier l'influence de la température sur l'intensité lumineuse et la cinétique des réactions via un traitement d'image Python

Proposer un modèle cinétique pour une réaction de chimiluminescence avec le DVO

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

[1] JONATHAN PIARD, RÉMI FRANCO, VICTOR CASTAING, RAPHAËL HAHN, NICOLAS GAUTIER : La luminescence moléculaire : définitions, exemples et applications : *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 2015, 109 (978), 1325-1350

[2] : Luminol : *Wikipédia*, Janvier 2024

[3] PETER DUNN : Ed Chandross '55 : *MIT News N°8217*, Novembre/Decembre 2017

[4] IAIN A. SMELLIE, JOANNA K. D ALDRED (NÉE PRENTIS), BENJAMIN BOWER, AMBER COCHRANE, LAURIE MACFARLANE, HOLLIE B. MCCARRON, ROXANA O' HARA, IAIN L. J. PATTERSON, MARIE I. THOMSON, JESSICA M. WALKER : Alternative Hydrogen Peroxide Sources for Peroxyoxalate "Glowstick" Chemiluminescence Demonstrations : *Journal of Chemical Education*, 2017, 94(1), 112-114

[5] : Bâtons lumineux : *Wikipédia*, Octobre 2023

[6] IAN SMELLIE : A General Method to Prepare Halogen-Free Oxalate Diesters for Peroxyoxalate Chemiluminescence Demonstrations : *Chem Ed X*, 2019

[7] OSMAN JILANI, TRISHA M. DONAHUE, AND MIGUEL O. MITCHELL : A Greener Chemiluminescence Demonstration : *Journal of Chemical Education* 2011, 88, 6, 786-787

[8] CHARLES E. ROSER ET CATHERINE L. MCCLUSKEY : Lightstick Kinetics : *Journal of Chemical Education* 1999, 76, 11, 1514

[9] : 2,4,6 - TRICHLOROPHÉNOL : *Fiches internationales de sécurité chimique*

[10] ABBAS EGHLIMI, HASAN JUBAER, ADAM SURMIAK, AND UDO BACH : Developing a Safe and Versatile Chemiluminescence Demonstration for Studying Reaction Kinetics : *Journal of Chemical Education* 2019, 96, 3, 522-527

DOT

[1] : Septembre : Réalisation de recherche sur les liens entre chimiluminescence et sport. Choix de la luminescence comme sujet du TIPE et recherches bibliographiques sur les diesters et leur synthèse.

[2] : Octobre/Novembre : Synthèse du DVO, diester utilisé pour les réactions de chimiluminescence. Caractérisation du produit obtenu et réalisation d'un spectre RMN-H à l'université Paris-Descartes avec la chercheuse Diana Over. Analyse du spectre.

[3] : Décembre : Réalisation des premières réactions de chimiluminescence. Début de l'étude de l'influence de la température sur la réaction et acquisition des premières vidéos.

[4] : Janvier : Fin de la prise des vidéos et analyse de celles-ci par traitement d'image avec Python.

[5] : Février : Comparaison des différentes réactions par traitement informatique avec Python. Mise en commun des résultats avec mon binôme.

[6] : Mars : Recherche d'un modèle cinétique pour la réaction de chimiluminescence avec le DVO en accord avec les résultats expérimentaux.