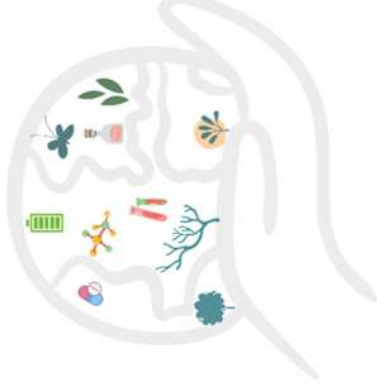


JIREC 2026

36^{èmes} Journées de l'Innovation et de la Recherche pour l'Enseignement de la Chimie
Chimie, Transition Écologique et Développement Sustainable

27-30 janvier 2026

Domaine du Lazaret, Sète, Hérault



UNIVERSITÉ DE
MONTPELLIER



Société Chimique de France
Le réseau des chimistes



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
ET DE LA JEUNESSE

Photochromisme : une alternative verte et abordable



école ———
normale ———
supérieure ———
paris — saclay ———

université
PARIS-SACLAY

Sylvain Clède
Jonathan Piard

Intervenants



Sylvain Clède
Enseignant - CPGE PCSI

école
normale
supérieure
paris — saclay



Jonathan Piard
Enseignant - PrAg

Intervenants



Sylvain Clède

Enseignant - CPGE PCSI

école
normale
supérieure
paris — saclay



Jonathan Piard

Enseignant - PrAg

université
PARIS-SACLAY
école
normale
supérieure
paris — saclay

Formation commune (L3-M1-agrégation)

Intervenants



Sylvain Clède

Enseignant - CPGE PCSI

école
normale
supérieure
paris — saclay



Jonathan Piard

Enseignant - PrAg

université
PARIS-SACLAY
école
normale
supérieure
paris — saclay



Ami·es en commun



Sylvain Clède

enseignement et formation

De la coquille au jaune : une étude infrarouge d'un œuf

Résumé

Grâce à ses propriétés nutritives exceptionnelles, l'œuf de poule est un acteur majeur de notre alimentation quotidienne, présent dans nos plats, nos desserts et nos pâtisseries. Au travers d'activités expérimentales pouvant être menées à différents niveaux du lycée au premier cycle universitaire, cet article propose une étude par spectroscopie infrarouge de la coquille, du blanc et du jaune d'œuf, afin de caractériser les différents composants des rapports d'abondance de bandes IR pour estimer le caractère calcaire ou moins lipidique du jaune et blanc d'œuf.

Mots-clés Spectroscopie IR, modes de vibration, œuf, composition chimique, protéines, lipides.

Abstract

From the shell to the yolk, an infrared investigation into an egg. Chicken egg, as a very nutritive food, is a major component of our courses. Through experimental activities that can be led at different levels, from high school to undergraduate degree, this paper presents an infrared (IR) study of the components of an egg. IR band ratios are carried out to estimate the lipid/protein content of albumen and yolk.

Keywords IR spectroscopy, vibration mode, egg, chemical composition, proteins, lipids.

Spectres IR des différents compartiments d'un œuf

Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) est présenté en annexe.

Matériels et méthodes

Préparation de l'œuf

Un œuf frais est cassé, le blanc (albumen) et le jaune sont séparés et placés chacun dans un bécier. La membrane coquillière est détachée de la coquille (figure 1). Cette dernière est placée dans un mortier et réduite en poudre à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Le blanc est placé dans un bécier et le jaune d'œuf liquides sont placés à l'échelle 100 °C pendant 24 h. Les spectres des solides obtenus sont réalisés le lendemain.

Paramètres d'acquisition des spectres IR

Les spectres présentés sont acquis par réflexion totale atténuée (ou « attenuated total reflectance », ATR) (figure 2). Cette technique permet l'acquisition rapide du spectre de solides ou de liquides. L'acquisition est réalisée sur un cristal de sel (sodium chlorure) qui agit comme un miroir. Pour les études – blanc d'œuf (le blanc), jaune d'œuf, eau –, une goutte est déposée sur la fenêtre. Pour les solides (coquille réduite en poudre et membrane coquillière), le matériau est appuyé puis frotté par une encasure, obtenant un

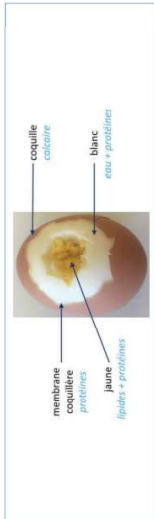


Figure 1 - Les différents parties d'un œuf et ses composants nutritifs.

L'ACTUALITÉ CHIMIQUE n° 40

Vol. 115 - Janvier 2021

Sylvain CLÈDE

Union des professeurs de physique et de chimie

219

Dosage par spectroscopie infrarouge Méthodologie pour établir une courbe d'étalonnage Application à la détermination d'un coefficient de partage

par Sylvain CLÈDE
Lyricé Sorlada - 75106 Paris
sylvain.clède@sorlada.fr

COMME TOUTE SPECTROSCOPIE d'absorption, la spectroscopie infrarouge peut permettre de quantifier la présence d'une espèce dans un milieu. Après avoir défini la notion de fréquence de transparence spatiale d'un solvant, la courbe d'étalonnage de la cyclohexanone dans le cyclohexane est établie, permettant la détermination du coefficient d'absorption molaire relatif à la liaison C=O en application de la loi de Beer-Lambert. Cette courbe est exploitée pour déterminer le coefficient de partage de cette espèce entre l'eau et le cyclohexane.

1. SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (IR)

1.1. Fréquence de résonance d'une liaison

La gamme du rayonnement infrarouge (IR) correspond à des fréquences proches de 10^{14} Hz soit de l'ordre de grandeur des fréquences de vibration des liaisons moléculaires. Ces fréquences correspondent à des nombres d'onde σ ($\sigma = 1/\lambda$) compris entre 500-4000 cm^{-1} .

Par analogie avec la mécanique classique, une liaison covalente A-B est assimilée à un ressort dont le nombre d'onde de résonance est relié aux paramètres du ressort par la loi de Hooke (cf. figure 1).

Chaque liaison présente un nombre d'onde σ qui lui est propre, l'énergie correspondante étant $E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda = h \cdot \sigma$. La spectroscopie IR est une spectroscopie d'absorption : si un rayonnement d'énergie adaptée E est envoyé sur l'échantillon, il sera absorbé, témoignant de la présence de cette liaison dans le milieu étudié. Pour être actif en IR, un mode de vibration doit également engendrer une variation du moment dipolaire de la molécule [1-2].



Figure 1 - Liaison covalente modélisée par un ressort et loi de Hooke (nombre d'onde σ/m^{-1} , masse réduite μ/kg ($\mu = m_A m_B / (m_A + m_B)$), célérité de la lumière dans le vide $c/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, constante de raideur de la liaison $k/\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$).

Infrarouge

Intervenants – Praticiens chercheurs

Sylvain Clède

enseignement et formation

De la coquille au jaune : une étude infrarouge d'un œuf

Résumé

Grâce à ses propriétés nutritives exceptionnelles, l'œuf de poule est un acteur majeur de notre alimentation quotidienne, présent dans nos plats, nos desserts et nos pâtisseries. Au travers d'activités expérimentales pour être menées à différents niveaux du lycée au premier cycle universitaire, cet article propose une étude par spectroscopie infrarouge de la coquille et du jaune d'œuf, afin de caractériser les différents composants de ces deux parties de l'œuf.

Mots-clés

Spectroscopie IR, modes de vibration, œuf, composition chimique, protéines, lipides.

Abstract

Chicken egg, as a very nutritive food, is a major component of our courses. Through experimental activities that can be led at different levels, from high school to undergraduate degree, this paper presents an infrared (IR) study of the components of an egg. IR band ratios are carried out to estimate the lipid/protein content of albumen and yolk.

Keywords

IR spectroscopy, vibration mode, egg, chemical composition, proteins, lipids.

Spectres IR des différents compartiments d'un œuf

Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) est présenté en annexe.

Matériels et méthodes

• Préparation l'œuf

Un œuf frais est cassé, le blanc (albumen) et le jaune sont séparés et placés dans un mortier et pilon à l'aide d'un couteau en détachant la coquille (figure 1). Cette dernière est placée dans un mortier et pilon à l'aide d'un couteau. Les jaunes d'œuf liquides sont placés à l'échelle 100 °C pendant 24 h. Les spectres des solides obtenus sont analysés à l'aide d'un spectromètre infrarouge.

• Paramètres d'acquisition des spectres IR

Les spectres présentés sont acquis par réflexion totale atténuée (ou « attenuated total reflectance », ATR) (figure 2). Cette technique permet l'acquisition rapide du spectre de solides ou de liquides. L'absorption est due à la vibration des liaisons covalentes. Pour les solides, les spectres sont étudiés à blanc (œuf) et à l'eau (œuf). Pour les liquides, les valeurs des nombres d'onde relatifs pour les bandes $\nu_{\text{C-H}}$ et $\nu_{\text{C=O}}$ sont caractéristiques de la structure cristalline/horbaire et $\nu_{\text{C=O}}$ sont caractéristiques de la structure cristalline/horbaire. Les valeurs des nombres d'onde relatifs pour les bandes $\nu_{\text{C-H}}$ et $\nu_{\text{C=O}}$ sont caractéristiques de la structure cristalline/horbaire. Les valeurs des nombres d'onde relatifs pour les bandes $\nu_{\text{C-H}}$ et $\nu_{\text{C=O}}$ sont caractéristiques de la structure cristalline/horbaire.

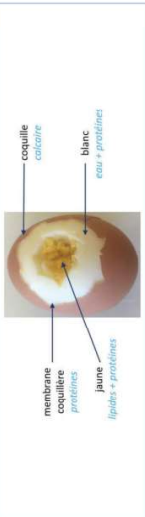


Figure 1 - Les différents parties d'un œuf et ses composants nutritifs.

Dosage par spectroscopie infrarouge Méthodologie pour établir une courbe d'étalonnage Application à la détermination d'un coefficient de partage

par Sylvain CLÈDE
Lycée Sorlada - 75106 Paris
sylvain.clède@orange.fr

COMME TOUTE SPECTROSCOPIE D'ABSORPTION, la spectroscopie infrarouge peut permettre de quantifier la présence d'une espèce dans un milieu. Après avoir défini la notion de fréquence de transposition spatiale d'un solvant, la courbe d'étalonnage de la cyclohexane dans le cyclohexane est établie, permettant la détermination du coefficient d'absorption molaire relatif à la liaison C=O en application de la loi de Beer-Lambert. Cette courbe est exploitée pour déterminer le coefficient de partage de cette espèce entre l'eau et le cyclohexane.

1. SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (IR)

1.1. Fréquence de résonance d'une liaison

La gamme du rayonnement infrarouge (IR) correspond à des fréquences proches de 10^{14} Hz soit de l'ordre de grandeur des fréquences de vibration des liaisons moléculaires. Ces fréquences correspondent à des nombres d'onde σ ($\sigma = 1/\lambda$) compris entre 500-4000 cm^{-1} .

Par analogie avec la mécanique classique, une liaison covalente A-B est assimilée à un ressort dont le nombre d'onde de résonance est relié aux paramètres du ressort par la loi de Hooke (cf. figure 1).

Chaque liaison présente un nombre d'onde σ qui lui est propre, l'énergie correspondante étant $E = h \cdot \nu = h \cdot c \cdot \sigma$. La spectroscopie IR est une spectroscopie d'absorption : si un rayonnement d'énergie adaptée E est envoyé sur l'échantillon, il sera absorbé, témoignant de la présence de cette liaison dans le milieu étudié. Pour être actif en IR, un mode de vibration doit également engendrer une variation du moment dipolaire de la molécule [1-2].



Figure 1 - Liaison covalente modélisée par un ressort et loi de Hooke (nombre d'onde σ en m^{-1} , masse réduite μ en kg ($\mu = m_A m_B / (m_A + m_B)$), célérité de la lumière dans le vide c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, constante de raideur k de la liaison A/B en $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$).

Infrarouge

Étude cinétique d'une réaction photochrome

par Jonathan PIARD
Département de chimie
ENS Cachan - 94325 Cachan Cedex
jonathan.piard@ens-cachan.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article, la notion de photochromisme est introduite brièvement. Le cas du 1',3'-dihydro-1',3',3'-triméthyl-5-uracilo (2H,1-benzopyran-2,2'-2H-indole) appelé 6-NO₂-BIPS qui subit une transformation réversible entre une forme normale (N) et une forme mésochrome (MC) est examiné. La cinétique de cette transformation (MC $\rightarrow$ N) est étudiée par la suite spectrophotométrique de l'évolution de l'absorbance de la forme MC en fonction du temps. L'ordre de la réaction est déterminé comme étant de 1 par rapport à MC par l'intermédiaire de plusieurs méthodes (différentielle et intégrale). Les caractéristiques cinétiques de cette réaction (énergie d'activation E_a , constante de vitesse k) peuvent être estimées à partir de l'étude de la cinétique à plusieurs températures. L'influence du solvant sur la cinétique de la réaction est également brièvement évoquée.

1. LE PHOTOCHROMISME

1.1. Définition

Le photochromisme est une transformation réversible entre deux états A et B d'une espèce chimique ayant des spectres d'absorption différents. Le passage entre les deux états de cette espèce chimique est induit par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique (généralement UV-Visible) (IR). Dans ce genre de processus, l'état A est la forme photochromique et l'état B est la forme normale. L'état A est généralement dans le domaine d'absorption du composé (cf. figure 1) [1-2]. Ainsi, le passage de la forme

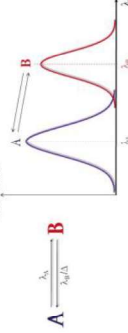


Figure 1 : Principe du photochromisme : réactions et spectres d'absorption.

DANS CET ARTICLE, après avoir présenté la molécule étudiée (appelée 6-NO₂-BIPS) qui subit une transformation réversible entre une forme normale (N) et une forme mésochrome (MC), la cinétique de retour thermique (MC $\rightarrow$ N) est étudiée par la suite spectrophotométrique de l'évolution de l'intensité de fluorescence I_f de la forme MC en fonction du temps. Un ordre de réaction de 1 est déterminé par l'intermédiaire de plusieurs méthodes (différentielle et intégrale). La constante de vitesse k de cette réaction peut être extraite et l'influence du solvant sur la cinétique de la réaction est également discutée. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus par un suivi cinétique par spectrofluorimétrie (suivi de l'absorbance) détaillé dans un article précédemment écrit dans ce bulletin (cf. Le Barq n° 1002, mars 2018).

1. MOLECULE ÉTUDIÉE [1]

Il existe plusieurs types de photochromes organiques. Ceux-ci peuvent être classés selon le type de réaction à l'origine de la modification de la structure moléculaire (isomérisation Z/E, transfert de proton, isomérisation, réaction photocyclique...) [2-3]. Le composé étudié ici est le 6-NO₂-BIPS (cf. figure 1, page ci-après).

Ce composé appartient à la famille des spiropyranes pour lesquels la réaction photochrome consiste en une réaction d'électrocyclisation (transposition entraînant la transformation d'une liaison π en liaison σ ou vice versa). La réaction aller consiste en la rupture hétérolytique de la liaison carbone-oxygène lors de l'irradiation sous ultraviolet (UV) de la forme normale incolore (N). Il s'ensuit alors une isomérisation Z/E menant à la forme colorée appelée mésochrome (MC) (cf. figure 1a). Dans l'acétate d'éthyle, la forme MC est de couleur bleue-violet (cf. figure 2, page ci-après). Cette dernière possède deux formes mésochromes limitées que sont les formes zwitterionique et quinonique (cf. figure 1b, page ci-après). La forme MC formée revient alors spontanément à N par voie thermique (photochrome de type T).

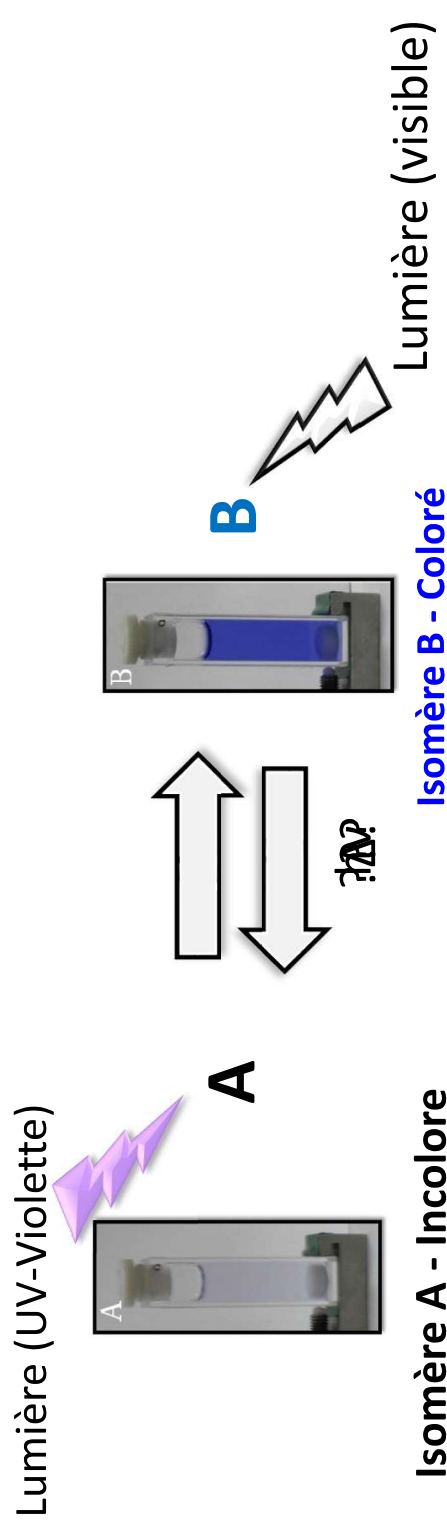
Il est à noter que dans la plupart des cas, il n'est pas possible de convertir la totalité des molécules de la forme N en la forme MC, car ces deux formes absorbent dans

Photochromisme

Photochromisme



Transformation photo-induite renversible entre 2 isomères d'une espèce dont les spectres d'absorption sont différents



Renversible :

Le système peut revenir à son isomère de départ (A)

Réaction retour

Δ : thermique (**type-T**)

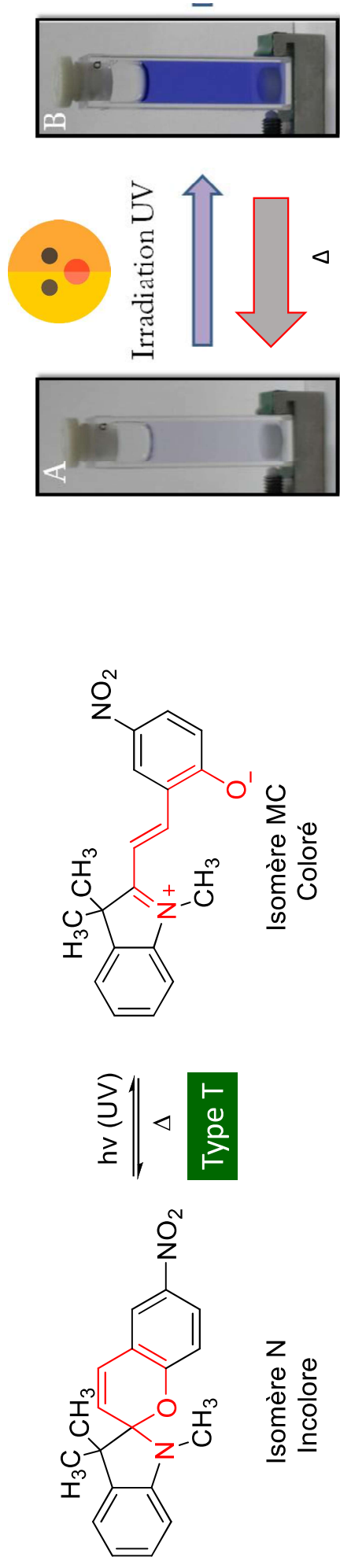
$h\nu$: lumière (type-P)

À l'état solide ; Dans un polymère; **En solution**

Delaire, *Photophysique et photochimie : des fondements aux applications*, EDP Sciences
BUP 2013, 107 (N°954), 549-559

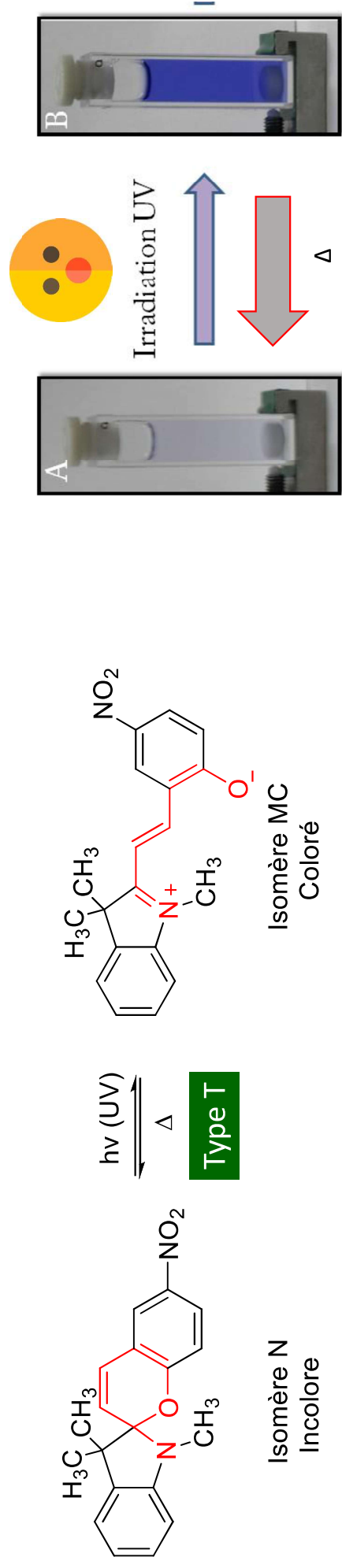
Photochromisme

Meilleur candidat : 6-NO₂-BIPS



Photochromisme

Meilleur candidat : 6-NO₂-BIPS



Prix : Aldrich (1g - 205 euros) ; TCI (1 g – 50-70 euros)



Bien documenté (plusieurs publications)



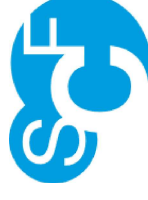
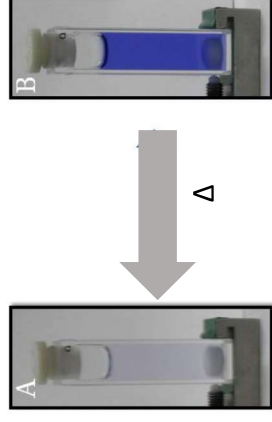
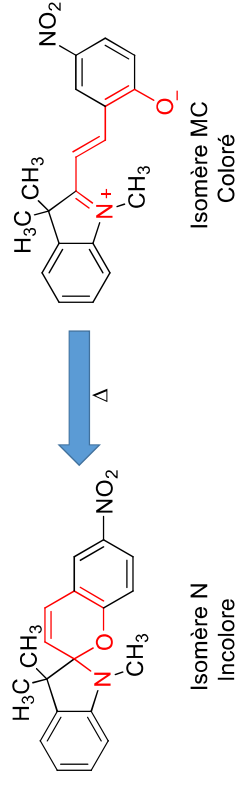
Peu dangereux

(Irritant pour les yeux et la peau de catégorie 2
toxicité spécifique pour certains organes cibles de catégorie 3)

6-NO₂-BLPS en enseignement



Suivi cinétique du retour thermique – Ordre 1 – Acte élémentaire



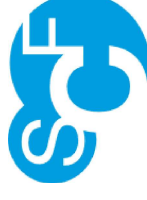
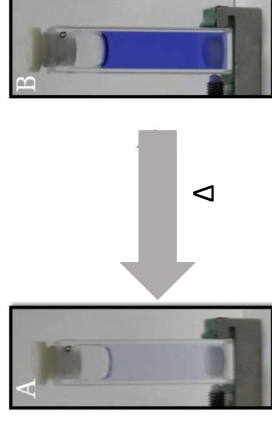
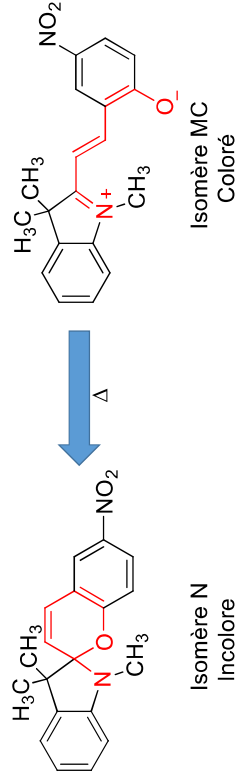
Couleur et enseignement
30 juin 2021

<https://www.youtube.com/watch?v=UTOeceUAsV4>

6-NO₂-BIPS en enseignement



Suivi cinétique du retour thermique – Ordre 1 – Acte élémentaire

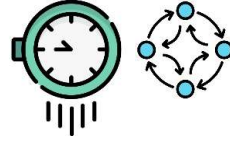


Couleur et enseignement
30 juin 2021

<https://www.youtube.com/watch?v=UTOeceUAsV4>

Détermination de :

- l'**ordre courant** (méthode différentielle, intégrale et Guggenheim) et **ordre initial**
- la **constante de vitesse k**
- $t_{1/2}$
- K° , $\Delta_r G^\circ$, $\Delta_r H^\circ$ et $\Delta_r S^\circ$
- $\Delta_r G^\ddagger$, $\Delta_r H^\ddagger$ et $\Delta_r S^\ddagger$ (théorie du complexe activé)



Influence du **pH**

Différents environnements (**solution**, polymère)

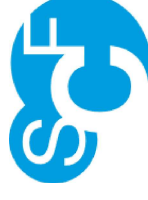
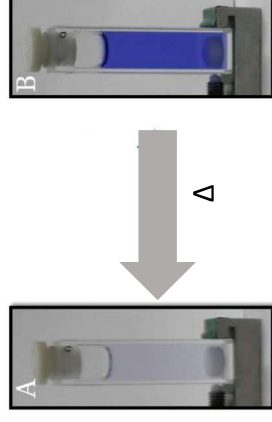
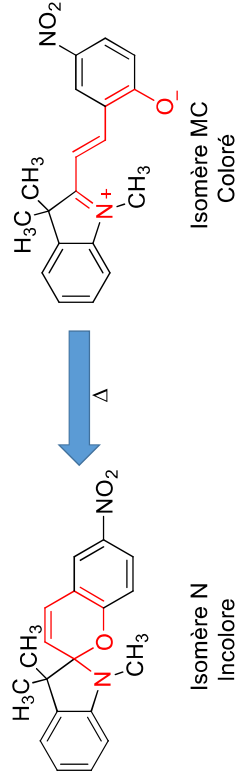
Suivi par **plusieurs techniques** (spectroscopie UV-Visible)



6-NO₂-BIPS en enseignement



Suivi cinétique du retour thermique – Ordre 1 – Acte élémentaire



Couleur et enseignement
30 juin 2021

<https://www.youtube.com/watch?v=UTOeceUAsV4>

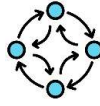
Détermination de :

- l'**ordre courant** (méthode différentielle, intégrale et Guggenheim) et **ordre initial**
- la **constante de vitesse k**
- **$t_{1/2}$**
- **K° , $\Delta_r G^\circ$, $\Delta_r H^\circ$ et $\Delta_r S^\circ$**
- **$\Delta_r G^\ddagger$, $\Delta_r H^\ddagger$ et $\Delta_r S^\ddagger$ (théorie du complexe activé)**

Influence du **pH**

Différents environnements (**solution**, polymère)

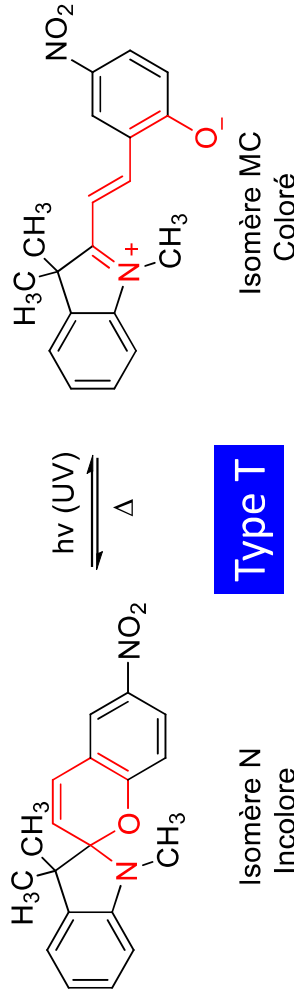
Suivi par **plusieurs techniques** (spectroscopie UV-Visible)



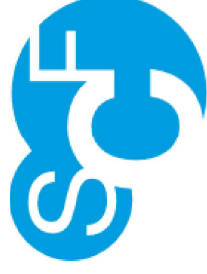
Références

BUP **2012**, 106 (N°947), 971–984
J. Chem. Educ., **2014**, 91(12), pp 2105-2111
BUP **2018**, 112 (N°1002), 471–504
BUP **2018**, 112 (N°1003), 667-682
BUP **2020**, 114 (N°1024), 501-517
BUP **2020**, 114 (N°1028), 1019–1033
BUP **2023**, 117 (N°1058), 917–928
Emergent Scientist, **2024**, 8, 3-7

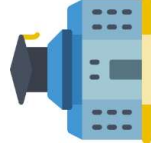
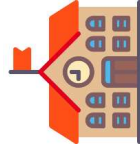
Photochromisme – Perspectives en 2021



Type T



Couleur et enseignement
30 juin 2021



Terminale

Licence / CPGE BTS



Master / TIPE

Applications à la chimie
organique (CCM – Colonne)

Incertitudes

Suivi cinétique IR

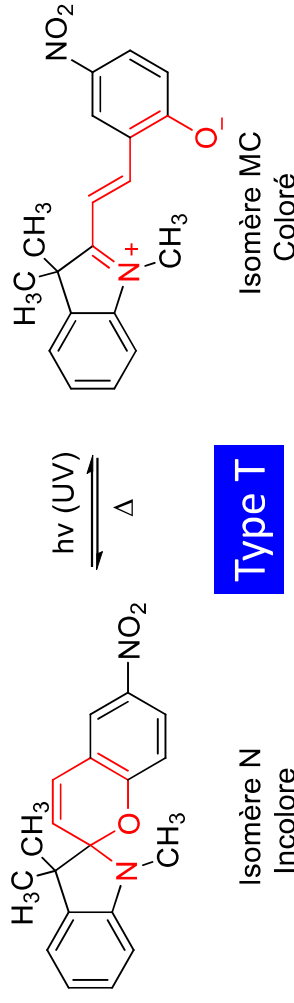
Propriétés acido-basiques

Solvatochromisme

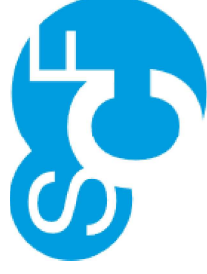
Solvants biosourcés

Python-Arduino

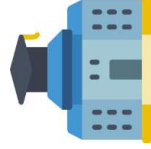
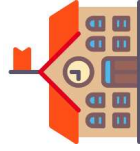
Photochromisme – Perspectives en 2021



Type T



Couleur et enseignement
30 juin 2021



Terminale

Licence / CPGE BTS



Master / TIPE

Applications à la chimie
organique (CCM – Colonne)

Incertitudes

Suivi cinétique IR

Propriétés acido-basiques

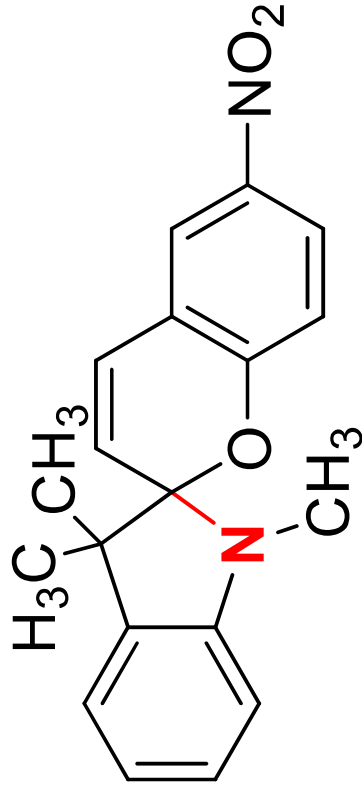
Solvatochromisme

Solvants biosourcés

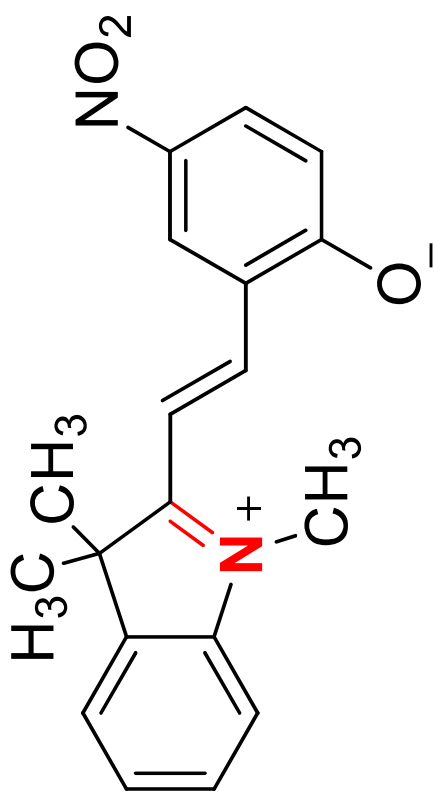
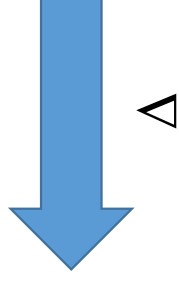
Python-Arduino

Collaboration 1 - Sylvain Clède / Jonathan Piard

6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR

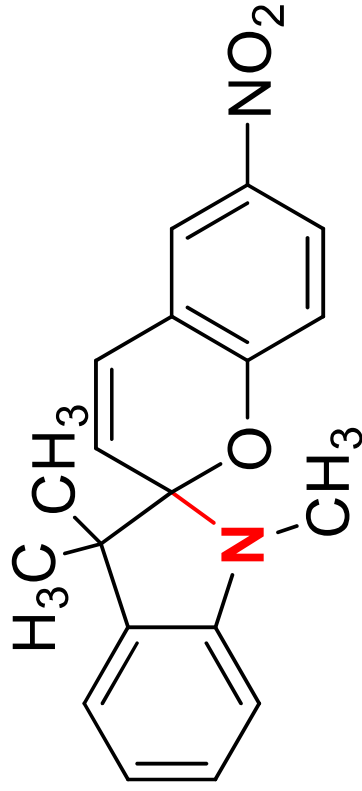


Isomère N
Incolore

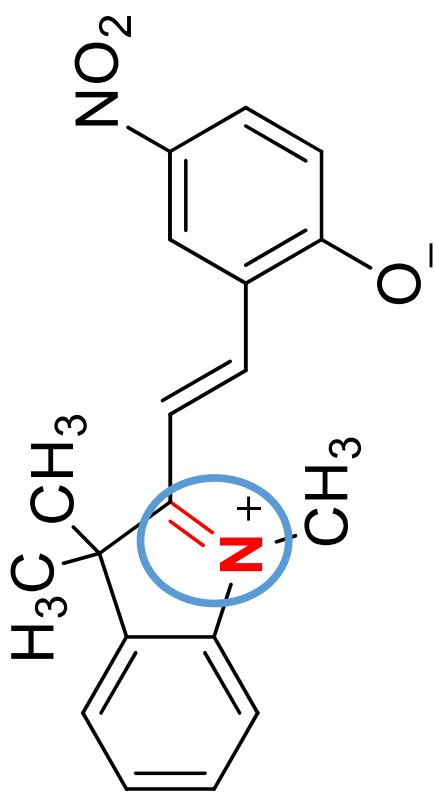
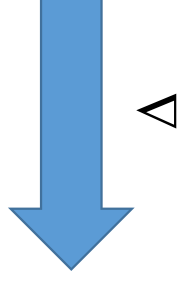


Isomère MC
Coloré

6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR



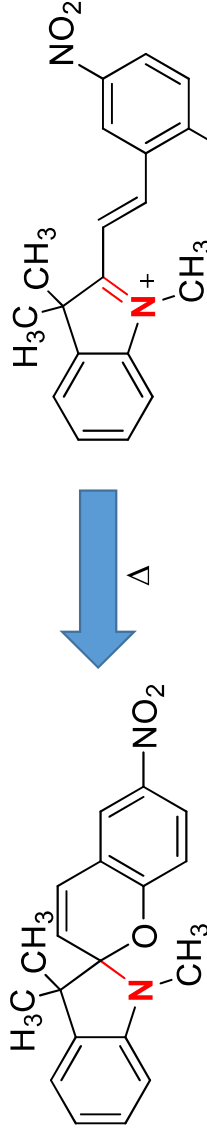
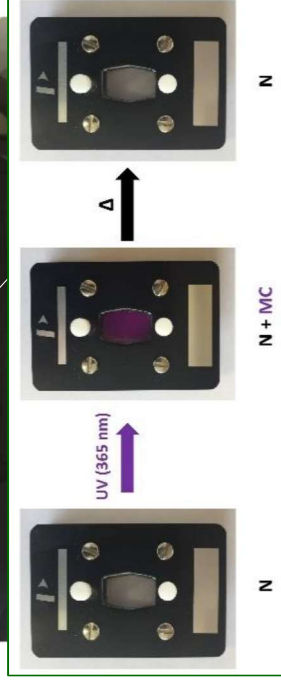
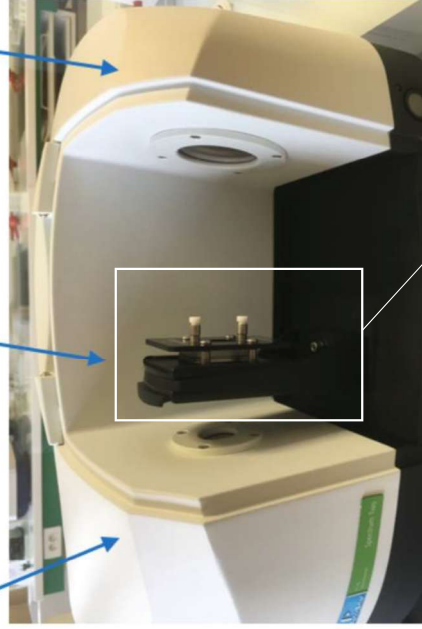
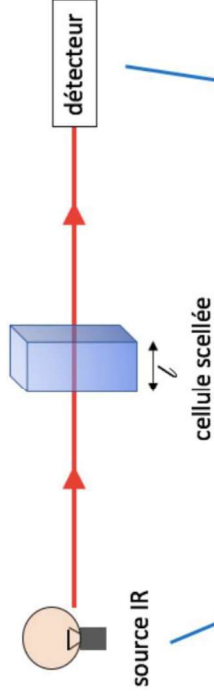
Isomère N
Incolore



Isomère MC
Coloré

$$\nu (\text{C}=\text{N}) \approx 1600 \text{ cm}^{-1}$$

6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR



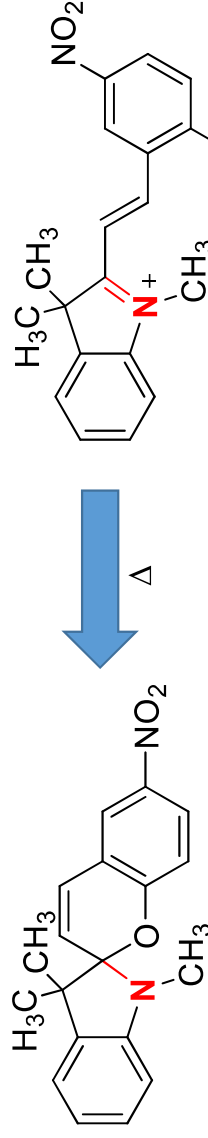
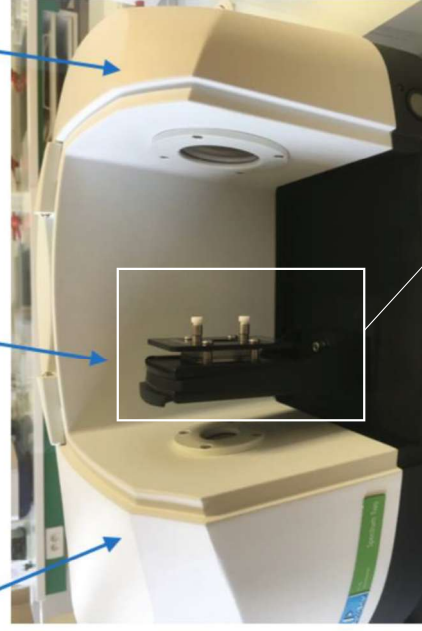
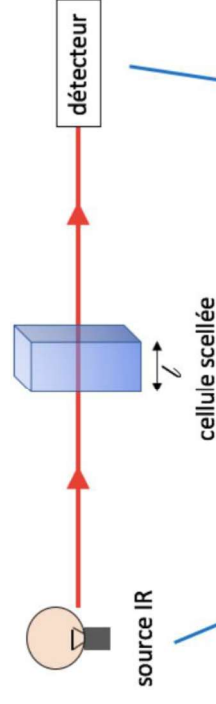
Isomère N
Incolore

Isomère MC
Coloré

solvant :
acétonitrile

S.Clède et J.Piard. Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge.
Bulletin de l'union des physiciens **2023**, 117 (N°1057), 811–829.

6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR

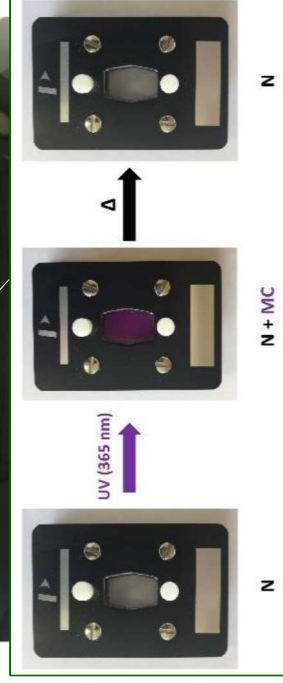
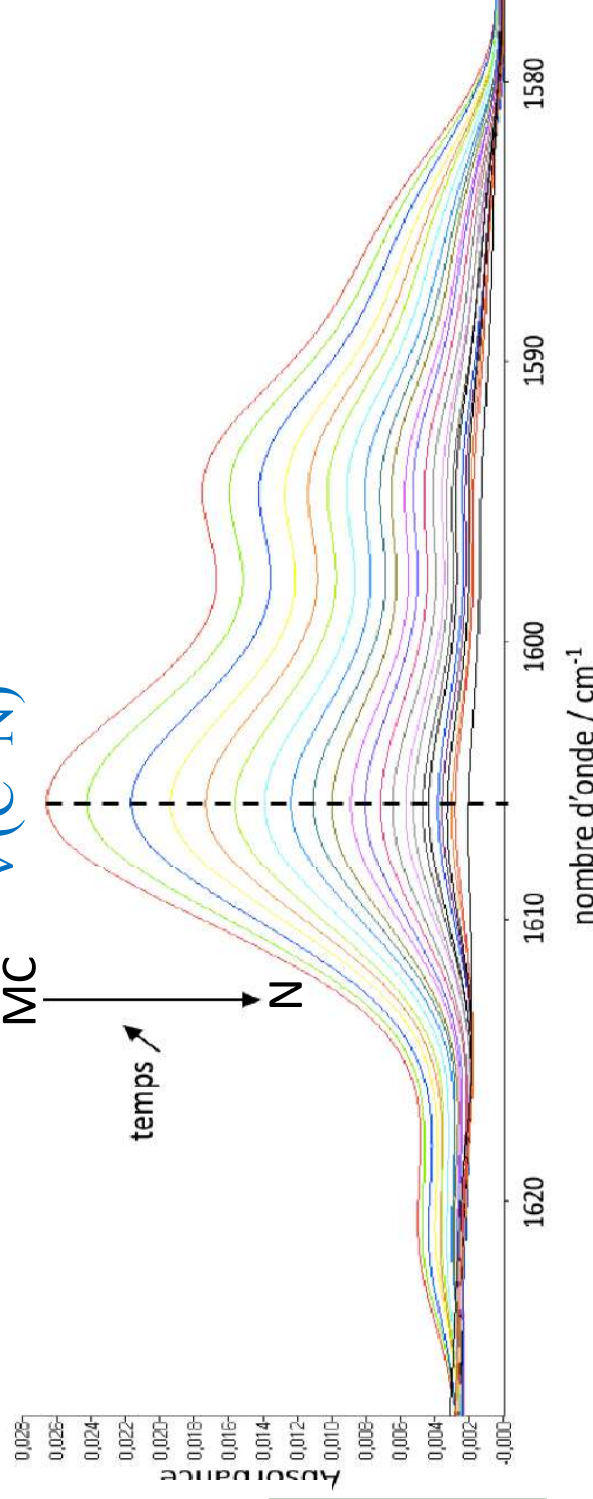


Isomère N
Incolore

Isomère MC
Coloré

solvant :
acétonitrile

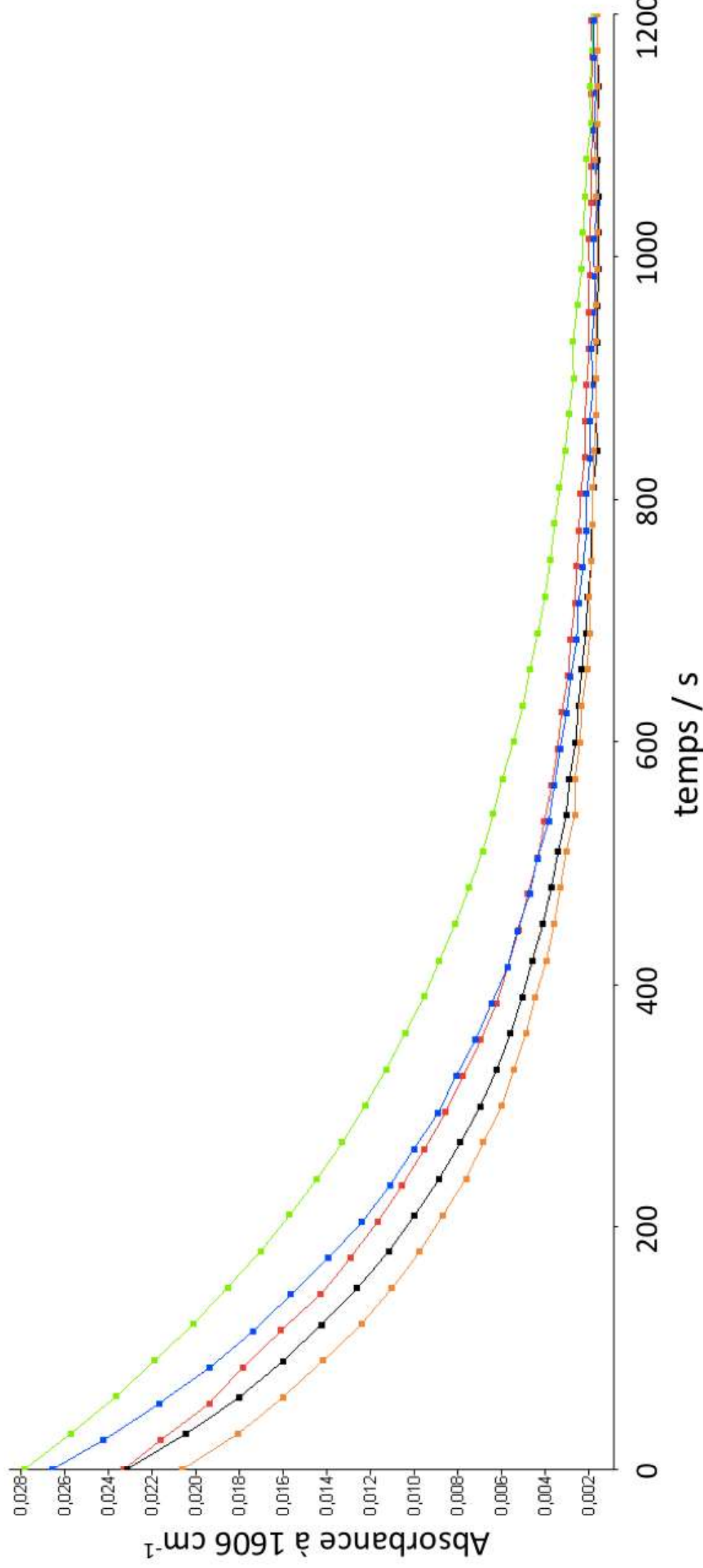
ν (C=N)



S.Clède et J.Piard. Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge.

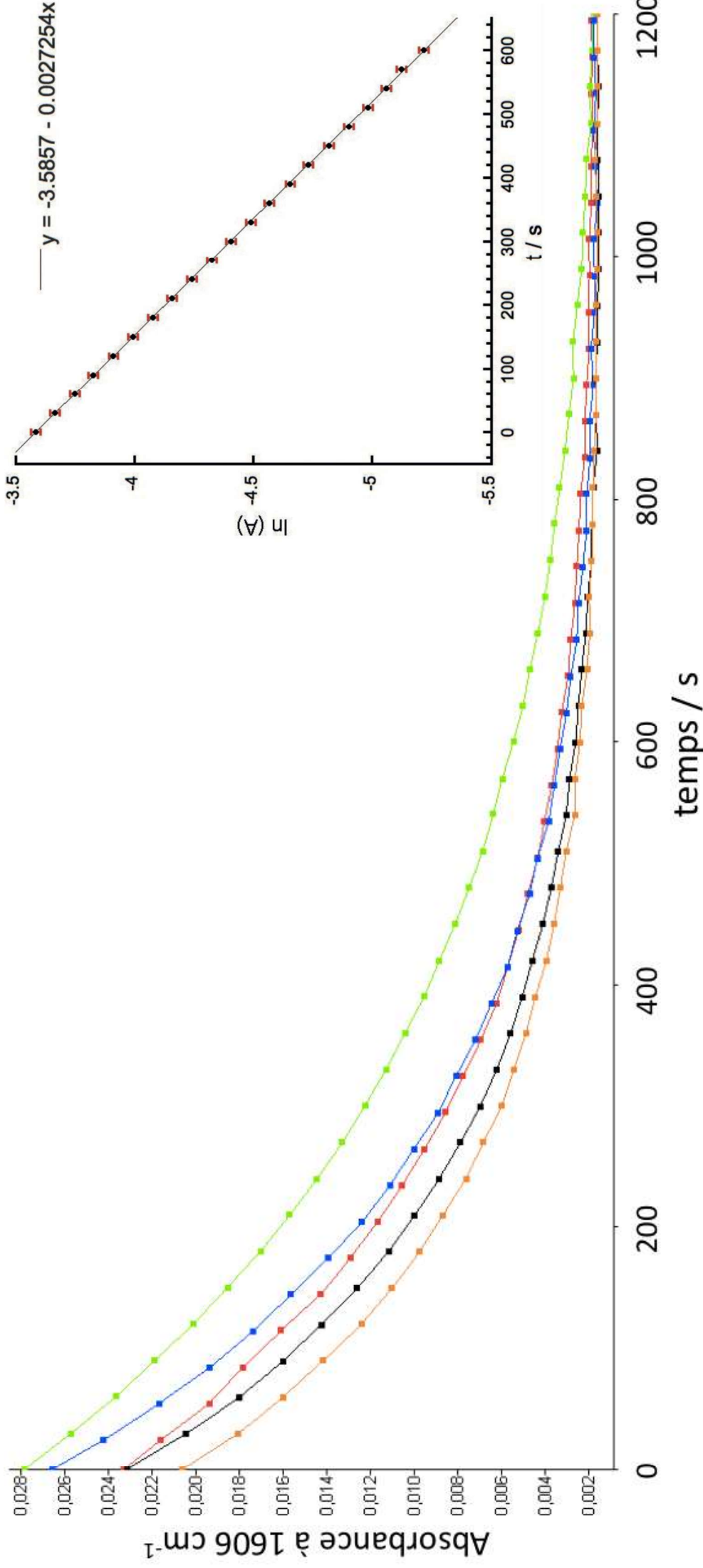
Bulletin de l'union des physiciens **2023**, 117 (N°1057), 811–829.

6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR



S.Clède et J.Piard. Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge.
Bulletin de l'union des physiciens **2023**, 117 (N°1057), 811–829.

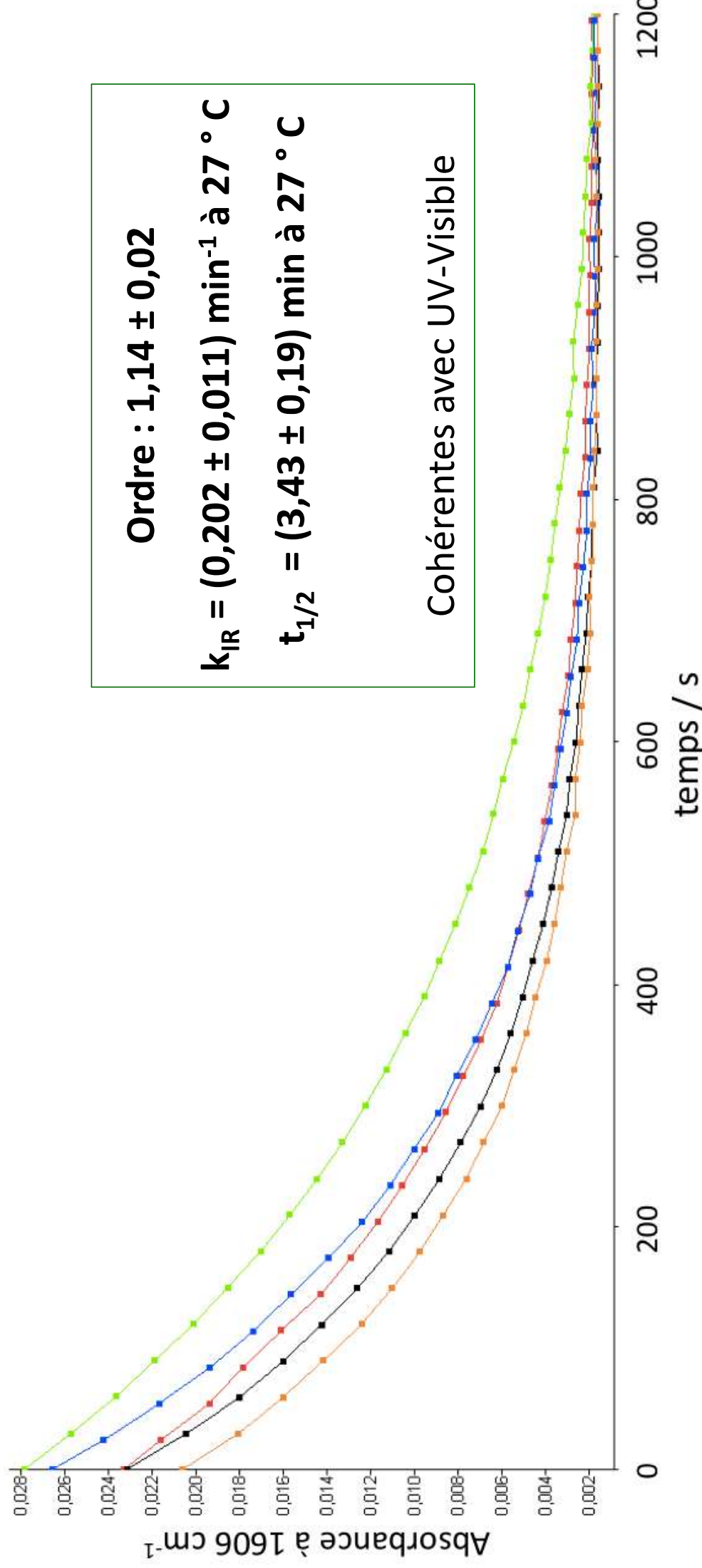
6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR



S.Clède et J.Piard. Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge.

Bulletin de l'union des physiciens **2023**, 117 (N°1057), 811–829.

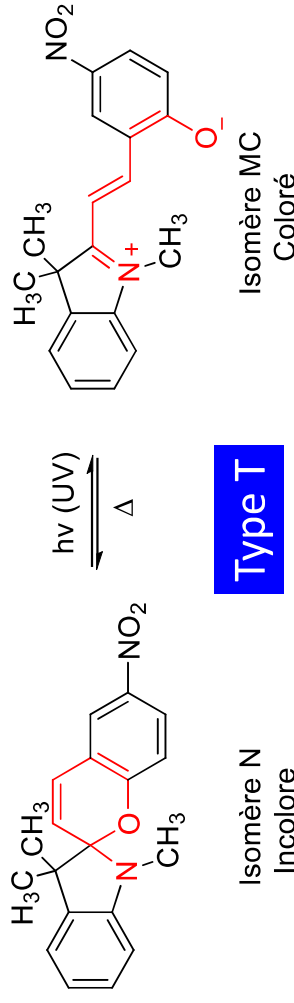
6-NO₂-BIPS Suivi cinétique par IR



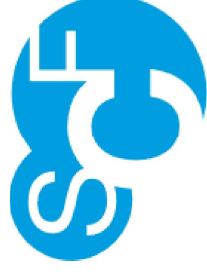
S.Clède et J.Piard. Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge.

Bulletin de l'union des physiciens **2023**, 117 (N°1057), 811–829.

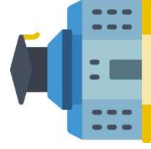
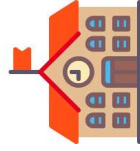
Photochromisme – Perspectives en 2021



Type T

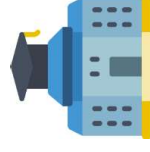


Couleur et enseignement
30 juin 2021



Terminale

Licence / CPGE BTS



Master / TIPE

Applications à la chimie
organique (CCM – Colonne)

Incertitudes

Suivi cinétique IR

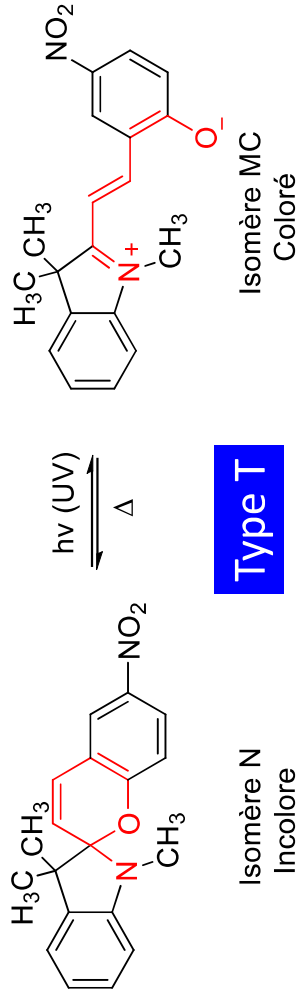
Propriétés acido-basiques

Solvatochromisme

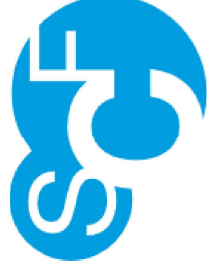
Solvants biosourcés

Python-Arduino

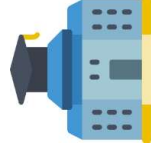
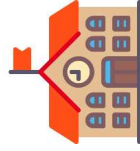
Photochromisme – Perspectives en 2021



Type T



Couleur et enseignement
30 juin 2021



Terminale

Licence / CPGE BTS



Master / TIPE

Applications à la chimie
organique (CCM – Colonne)

Incertitudes

Suivi cinétique IR

Propriétés acido-basiques

Solvatochromisme

Solvants biosourcés

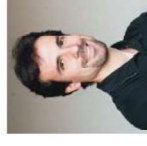
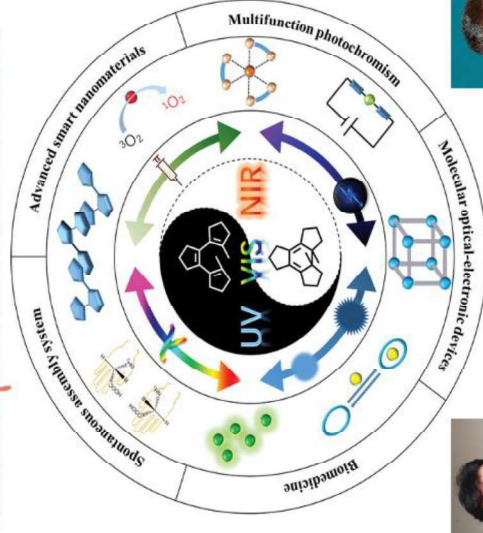
Python-Arduino

Collaboration 2 - Sylvain Clède / Jonathan Piard

« La recherche vient au lycée » 2025



Photochromisme
ou quand la lumière
transforme la matière



Rémi Métivier

Directeur de recherche
(médaille de bronze CNRS)



Kéitaro Nakatani

Professeur des universités
(médaille de bronze CNRS)



école
normale
supérieure
paris-saclay

université
PARIS-SACLAY



Mardi 7 janvier
12h30/13h20
Amphithéâtre Méjécaze

Infos : sylvain.olede@stanislas-paris.fr

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●

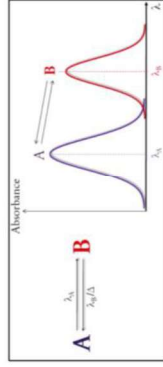
Enoncé de TP (avec travail préliminaire à chercher)

PCSI option PC

Piard - Clède

TP photochromisme

Détermination de paramètres cinétiques et thermodynamiques
par spectroscopie d'absorption



Principe du photochromisme : réaction et spectres d'absorption

Matériel	Produits
• Cuvettes en quartz ou en verre (2 par binôme) • Spectrophotomètre UV-visible • Thermomètre et chronomètre • Pipettes en verre 2 bâchers en verre de 50 mL • Lampe d'irradiation UV	• Acétate d'éthyle • Solution de 6-NO₂-BIPS dans l'acétate d'éthyle, notée S₀₌₀ (déjà prête à l'emploi, 10 mg dissous dans une fiole de 100 mL d'acétate d'éthyle)

Objectifs du TP :

- Par l'étude du composé photochrome (6-NO₂-BIPS), le but est de réinvestir des notions-clés du cours de cinétique et du cours sur les **équilibres chimiques** :
 - ordre d'une réaction, temps de demi-réaction, méthodes intégrale et différentielle, constante de vitesse k, constante d'équilibre thermodynamique K^e, incertitude-type et écart normalisé
- Les **savoir-faire expérimentaux** suivants seront mis en œuvre :
 - Réaliser un **suivi cinétique quantitatif** par absorption en utilisant un logiciel ou un suivi manuel.
 - Analyser un **suivi cinétique** au moyen de logiciels (Python/Regress) afin de déterminer les paramètres cinétiques et thermodynamiques d'une réaction
 - Déterminer les **incertitudes-type** sur ces grandeurs ainsi que des **écarts normalisés**, afin d'étayer une analyse critique sur les résultats obtenus.

Questionnaire à compléter à la fin du TP



6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



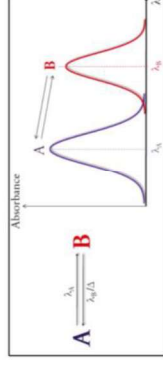
Enoncé de TP (avec travail préliminaire à chercher)

PCSI option PC

Plard - Clède

TP photochromisme

Détermination de paramètres cinétiques et thermodynamiques
par spectroscopie d'absorption



Principe du photochromisme : réaction et spectres d'absorption

Matériel	Produits
• Cuvettes en quartz ou en verre (2 par binôme)	• Acétate d'éthyle
• Spectrophotomètre UV-visible	• Solution de 6-NO ₂ -BIPS dans l'acétate d'éthyle, notée S _{6-NO₂-BIPS} (déjà prête à l'emploi, 10 mg dissous dans une fiole de 100 mL d'acétate d'éthyle)
• Thermomètre et chronomètre	
• Pipettes en verre 2 bouchons en verre de 50 mL	
• Lampe d'irradiation UV	

Objectifs du TP :

- Par l'étude du composé photochrome (6-NO₂-BIPS), le but est de réinvestir des notions-clés du cours de cinétique et du cours sur les équilibres chimiques :
 - ordre d'une réaction, temps de demi-réaction, méthodes intégrale et différentielle, constante de vitesse k, constante d'équilibre thermodynamique K°, incertitude-type et écart normalisé
- Les savoir-faire expérimentaux suivants seront mis en œuvre :
 - Réaliser un suivi cinétique quantitatif par absorption en utilisant un logiciel ou un suivi manuel.
 - Analyser un suivi cinétique au moyen de logiciels (Python/Regress) afin de déterminer les paramètres cinétiques et thermodynamiques d'une réaction
 - Déterminer les incertitudes-type sur ces grandeurs ainsi que des écarts normalisés, afin d'étayer une analyse critique sur les résultats obtenus.

Questionnaire à compléter à la fin du TP



1

Objectifs du TP :

- Par l'étude du composé photochrome (6-NO₂-BIPS), le but est de réinvestir des notions-clés du cours de cinétique et du cours sur les équilibres chimiques :
 - ordre d'une réaction, temps de demi-réaction, méthodes intégrale et différentielle, constante de vitesse k, constante d'équilibre thermodynamique K°, incertitude-type et écart normalisé
- Les savoir-faire expérimentaux suivants seront mis en œuvre :
 - Réaliser un suivi cinétique quantitatif par absorption en utilisant un logiciel ou un suivi manuel.
 - Analyser un suivi cinétique au moyen de logiciels (Python/Regress) afin de déterminer les paramètres cinétiques et thermodynamiques d'une réaction
 - Déterminer les incertitudes-type sur ces grandeurs ainsi que des écarts normalisés, afin d'étayer une analyse critique sur les résultats obtenus.

BO chimie PCSI

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

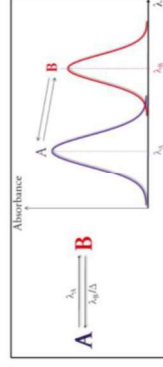
Enoncé de TP (avec travail préliminaire à chercher)

PCSI option PC

Piard - Clède

TP photochromisme

Détermination de paramètres cinétiques et thermodynamiques
par spectroscopie d'absorption



Principe du photochromisme : réaction et spectres d'absorption

Matériel	Produits
• Cuvettes en quartz ou en verre (2 par binôme)	• Acétate d'éthyle
• Spectrophotomètre UV-visible	• Solution de 6-NO ₂ -BIPS dans l'acétate d'éthyle, notée S ₀ (déjà prête à l'emploi, 10 mg dissous dans une fiole de 100 mL d'acétate d'éthyle)
• Thermomètre et chronomètre	
• Pipettes en verre, 2 béciers en verre de 50 mL	
• Lampe d'irradiation UV	

Objectifs du TP :

- Par l'étude du composé photochrome (6-NO₂-BIPS), le but est de réinvestir des **notions-clés** du cours de cinétique et du cours sur les **équilibres chimiques** :
 - ordre d'une réaction, temps de demi-réaction, méthodes intégrale et différentielle, constante de vitesse k, constante d'équilibre thermodynamique K°, incertitude-type et écart normalisé
- Les **savoir-faire expérimentaux** suivants seront mis en œuvre :
 - Réaliser un **suivi cinétique quantitatif** par absorption en utilisant un logiciel ou un suivi manuel.
 - Analyser un **suivi cinétique** au moyen de logiciels (Python/Regressi) afin de déterminer les paramètres cinétiques et thermodynamiques d'une réaction
 - Déterminer les **incertitudes-type** sur ces grandeurs ainsi que des **écarts normalisés**, afin d'étayer une analyse critique sur les résultats obtenus.

Questionnaire à compléter à la fin du TP



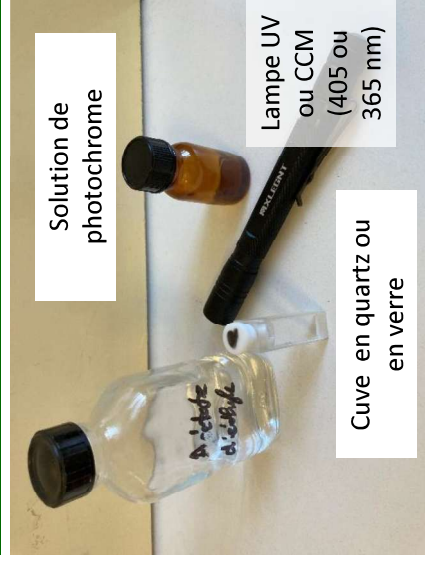
1

Objectifs du TP :

- Par l'étude du composé photochrome (6-NO₂-BIPS), le but est de réinvestir des **notions-clés** du cours de cinétique et du cours sur les **équilibres chimiques** :
 - ordre d'une réaction, temps de demi-réaction, méthodes intégrale et différentielle, constante de vitesse k, constante d'équilibre thermodynamique K°, incertitude-type et écart normalisé
- Les **savoir-faire expérimentaux** suivants seront mis en œuvre :
 - Réaliser un **suivi cinétique quantitatif** par absorption en utilisant un logiciel ou un suivi manuel.
 - Analyser un **suivi cinétique** au moyen de logiciels (Python/Regressi) afin de déterminer les paramètres cinétiques et thermodynamiques d'une réaction
 - Déterminer les **incertitudes-type** sur ces grandeurs ainsi que des **écarts normalisés**, afin d'étayer une analyse critique sur les résultats obtenus.

BO chimie PCSI

Matériel et produits par binôme



Spectrophotomètre

Ordinateur avec Regressi

27

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●

Pendant la séance – Tableau à remplir et piste de réflexions

Nom élèves :	N° Groupe :		T en °C :	
	ordre p ± u(p) selon Regressi		k ± u(k) en s ⁻¹ selon Regressi	K°
Valeurs pour chaque expérience				
Moyenne				
u _{type,A} (X) = écart-type sur toutes les valeurs				
u _{type,A} (X̄) = u _{type,A} (X)/racine(N)				
Résultat type A : X̄ ± u _{type,A} (X̄)				
Écart normalisé				

Les écarts normalisés doivent être déterminés par rapport à une valeur tabulée adaptée.

N'oubliez pas de sauvegarder votre fichier sous le nom : « TP_photo_grpXX » au format Regressi et CSV

Interprétation des résultats et discussion – Pistes de réflexion

1. Interpréter la valeur de l'ordre obtenu au regard de la réaction mise en jeu.
2. Confronter les valeurs obtenues de p, k et K° aux valeurs tabulées.
3. Quelle est l'expression littérale de t_{1/2} au regard de l'ordre de la réaction ?
Est-ce cohérent avec les valeurs relevées ?
4. Comparer u_{type,A}(X) à u(X) issu de l'ajustement numérique pour une expérience.
5. Proposer un profil réactionnel pour la réaction N = MC.
6. Proposer un protocole permettant d'obtenir l'énergie d'activation E_a pour cette réaction.

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Pendant la séance – Tableau à remplir et piste de réflexions

Fin de la séance et après - Questionnaire

Nom élèves :	N° Groupe :	T en °C :		K°
		ordre $p \pm u(p)$ selon Regressi	$k \pm u(k)$ en s^{-1} selon Regressi	
Valeurs pour chaque expérience				
Moyenne				
$u_{\text{type}_A(X)}$ = écart-type sur toutes les valeurs				
$u_{\text{type}_A(X)}$ = $u_{\text{type}_A(X)}/\text{racine}(N)$				
Résultat type A : $\bar{X} \pm u_{\text{type}_A(X)}$				
Écart normalisé				

Les écarts normalisés doivent être déterminés par rapport à une valeur tabulée adaptée.

N'oubliez pas de sauvegarder votre fichier sous le nom : « TP_photo_grpXX » au format Regressi et CSV

Interprétation des résultats et discussion – Pistes de réflexion

1. Interpréter la valeur de l'ordre obtenu au regard de la réaction mise en jeu.
2. Confronter les valeurs obtenues de p , k et K° aux valeurs tabulées.
3. Quelle est l'expression littérale de $t_{1/2}$ au regard de l'ordre de la réaction ?
Est-ce cohérent avec les valeurs relevées ?
4. Comparer $u_{\text{type}_A(X)}$ à $u(X)$ issu de l'ajustement numérique pour une expérience.
5. Proposer un profil réactionnel pour la réaction $N = MC$.
6. Proposer un protocole permettant d'obtenir l'énergie d'activation E_a pour cette réaction.

QuestionsRéponsesParamètres

Section 3 sur 3

Apprentissages - 12 questions

Veuillez évaluer les éléments de cette section en utilisant l'échelle suivante:

1- Pas du tout d'accord2- Pas d'accord3- Plutôt pas d'accord4- Plutôt d'accord5- D'accord6- Tout à fait d'accord

Cette activité m'a aidé à :

Réaliser un suivi cinétique quantitatif *

123456

Pas du tout d'accordTout à fait d'accord

Analyser un suivi cinétique *

123456

Pas du tout d'accordTout à fait d'accord

Section 3 sur 3

Apprentissages - 12 questions

Veuillez évaluer les éléments de cette section en utilisant l'échelle suivante:

1- Pas du tout d'accord2- Pas d'accord3- Plutôt pas d'accord4- Plutôt d'accord5- D'accord6- Tout à fait d'accord

Cette activité m'a aidé à :

Réaliser un suivi cinétique quantitatif *

123456

Pas du tout d'accordTout à fait d'accord

Analyser un suivi cinétique *

123456

Pas du tout d'accordTout à fait d'accord

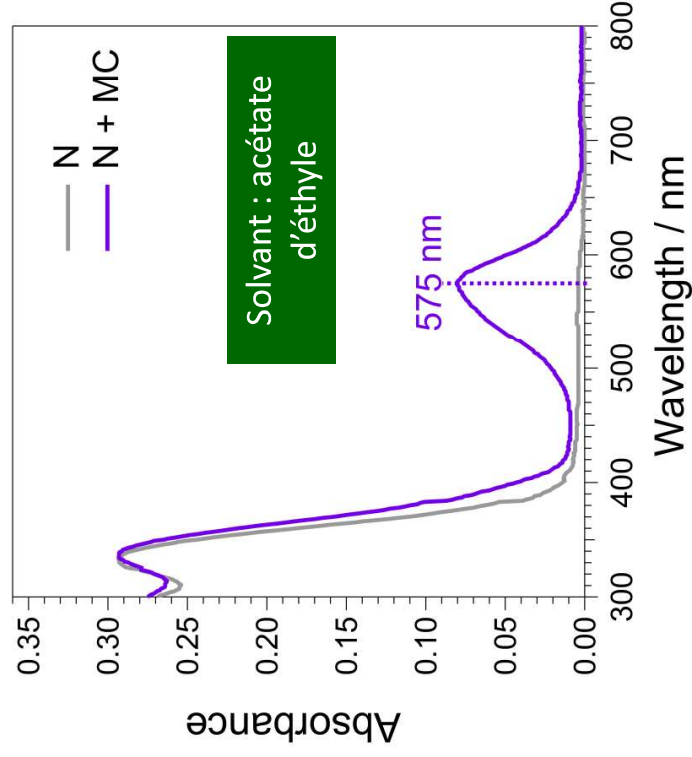
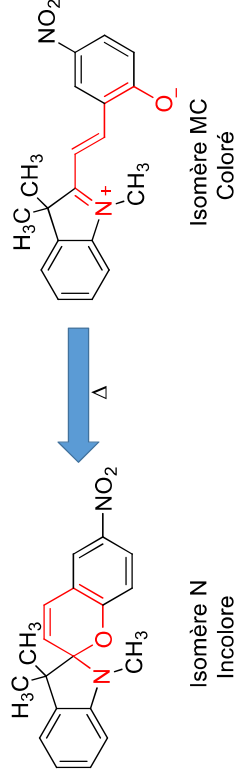
Jones, Brett D. 2009. « Motivating Students to Engage in Learning: The MUSIC Model of Academic Motivation ». *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education* 21 (272-285): 272-85
<https://www.themusicmodel.com/questionnaires/>
(dimension sur utilité et intérêt)

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●

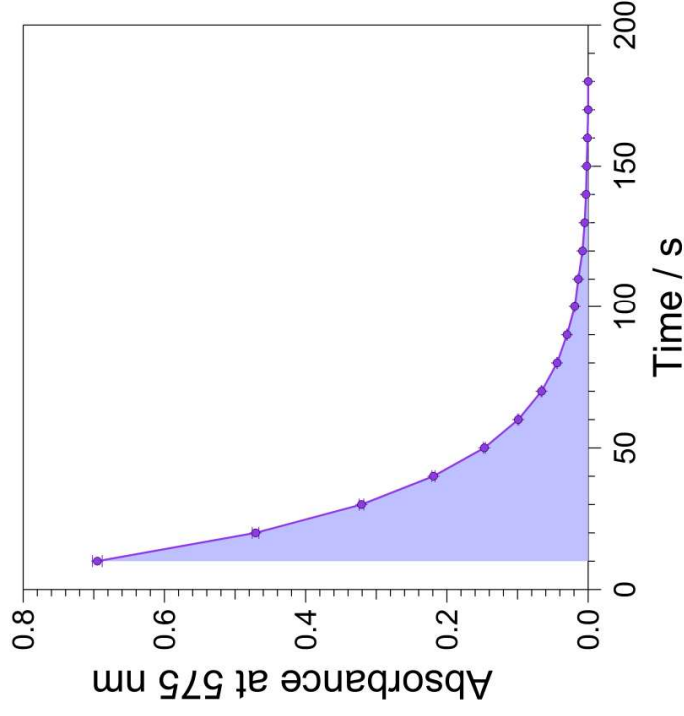
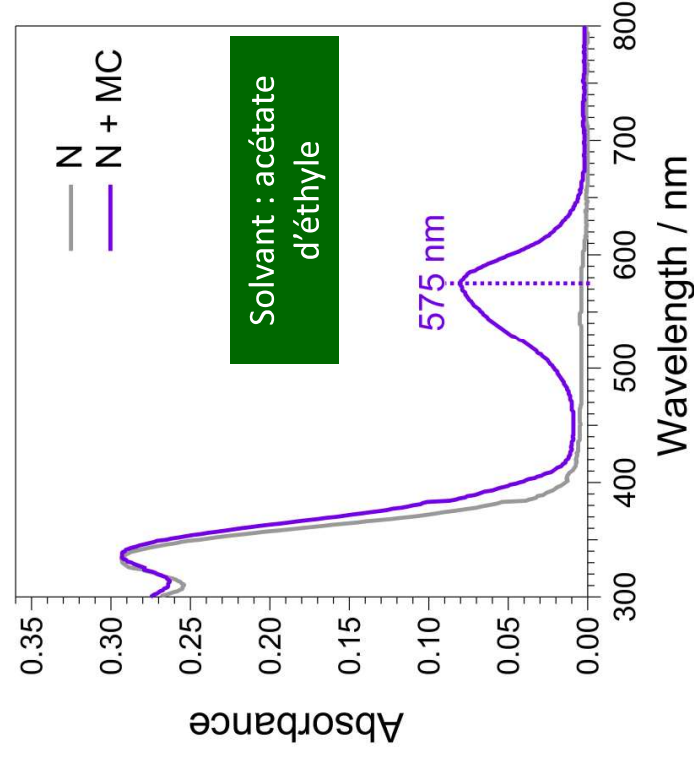
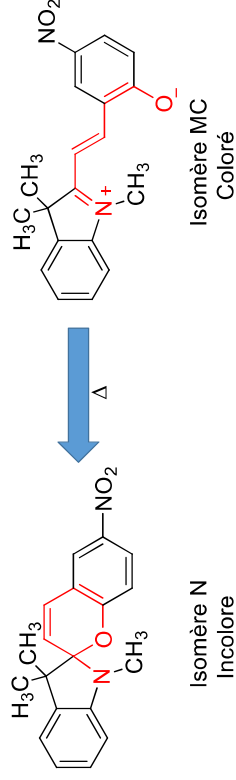
11 avril 2025 - 2 séances TP de 2h : 32 (GrpA) et 28 (GrpB) - 60 étudiant.es (30 binômes)



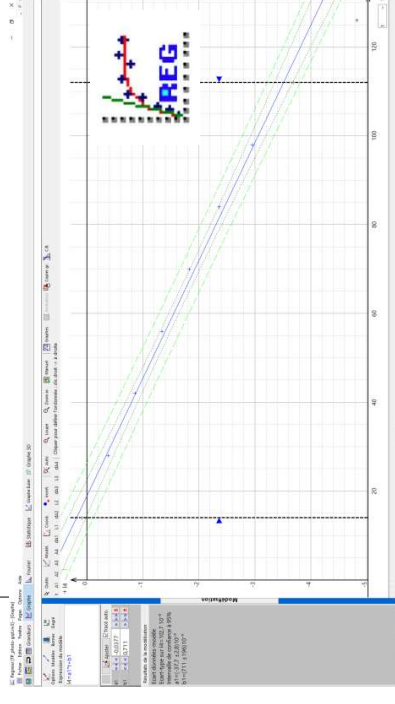
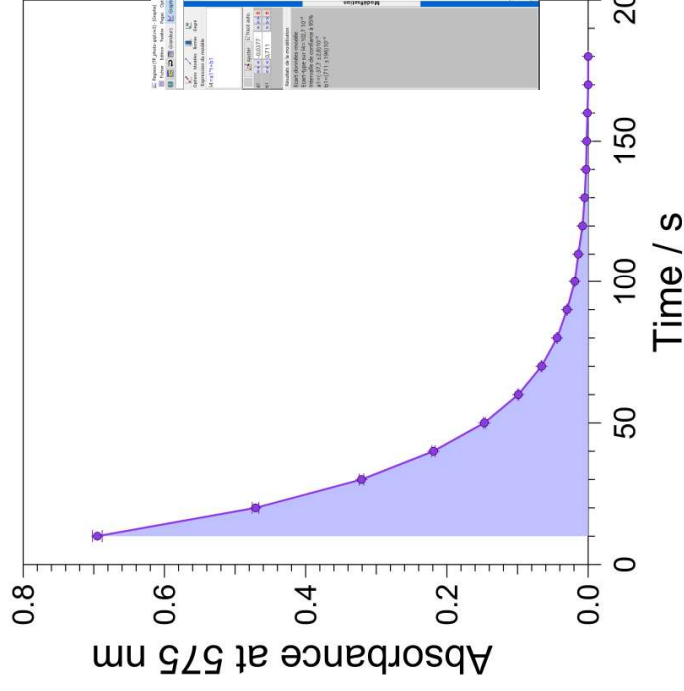
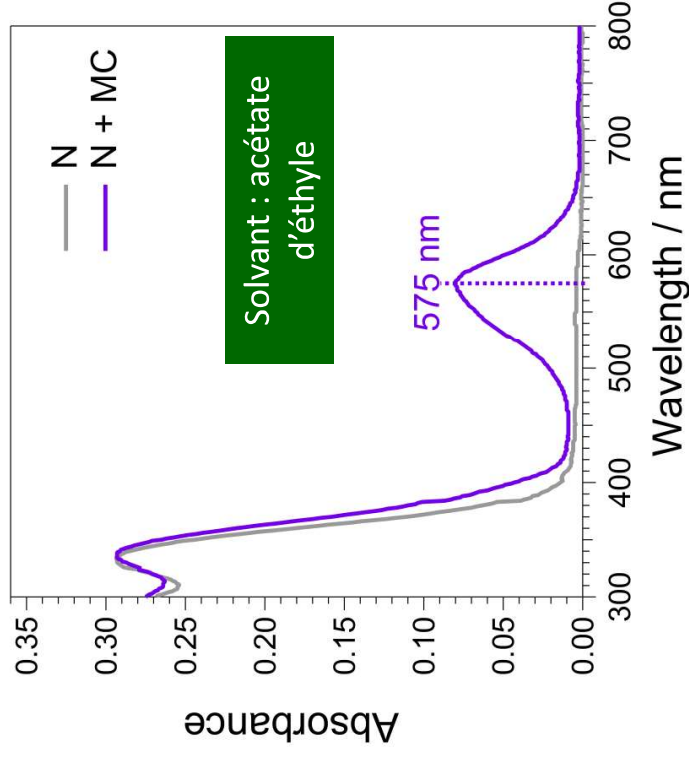
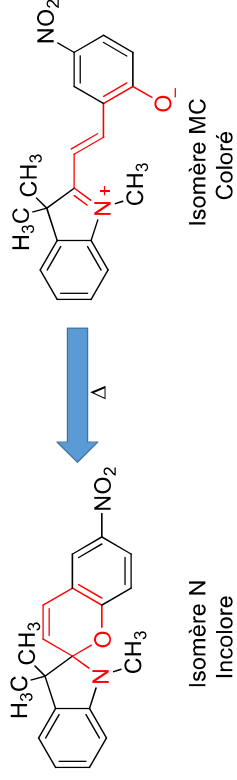
6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●



6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●



6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Ordre et k par méthodes différentielle et intégrale

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

Travail préliminaire

11/04

TP : Photobromisme

Travail préparatoire

1) S'objectif de la méthode différentielle est de déterminer l'ordre de la réaction.

Pour cela on vient supposer que la réaction admet un ordre.

Alors, $v = -\frac{d[NO_2]}{dt} = k[NO_2]^p$

Donc $\ln\left(-\frac{d[NO_2]}{dt}\right) = p \ln[NO_2] + \ln(k)$

Il suffit de faire une régression linéaire de $\ln\left(-\frac{d[NO_2]}{dt}\right)$ en fonction de $\ln[NO_2]$ et l'ordre de la réaction sera le coefficient directeur de la droite obtenue.

On d'après la loi de Ben-Zambert, $A_{\text{max}}[NO_2] = E_{\text{max}} \cdot I \cdot [NO_2]$

Donc $[NO_2] = \frac{E_{\text{max}} \cdot I}{A_{\text{max}}}$

Alors $\ln\left(-\frac{d[NO_2]}{dt}\right) = p \ln\left(\frac{E_{\text{max}} \cdot I}{A_{\text{max}}}\right) + \ln(k) = p \ln\left(\frac{1}{A_{\text{max}}}\right) + p \ln(E_{\text{max}} \cdot I) + \ln(k)$

2) D'après la littérature, on peut supposer que la réaction suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour la méthode intégrale, on suppose que l'ordre de la loi de vitesse est 1.

On a donc $-\frac{d[NO_2]}{dt} = k[NO_2]_t$

En appliquant la loi de Ben-Zambert, on obtient

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

Travail préliminaire

4-5 répétitions par binôme

A) TB, pourrais aussi -

MP : Photobromisme

M104

Travail préparatoire

1) 2^e objectif de la méthode différentielle est de déterminer l'ordre de la réaction.

Pour cela on vient supposer que la réaction admet un ordre.

Alors, $v = -\frac{d[MC]}{dt} = k[MC]^p$

Donc $\ln\left(-\frac{d[MC]}{dt}\right) = p \ln[MC] + \ln(k)$

Il suffit de faire une régression linéaire de $\ln\left(-\frac{d[MC]}{dt}\right)$ en fonction de $\ln[MC]$ et l'ordre de la réaction sera le coefficient directeur de la droite obtenue.

On d'après la loi de Ben-Zabent, $A_{575}(MC) = \epsilon_{575} \cdot l \cdot [MC]$

Donc $[MC] = \frac{A_{575} \cdot l}{\epsilon_{575}}$

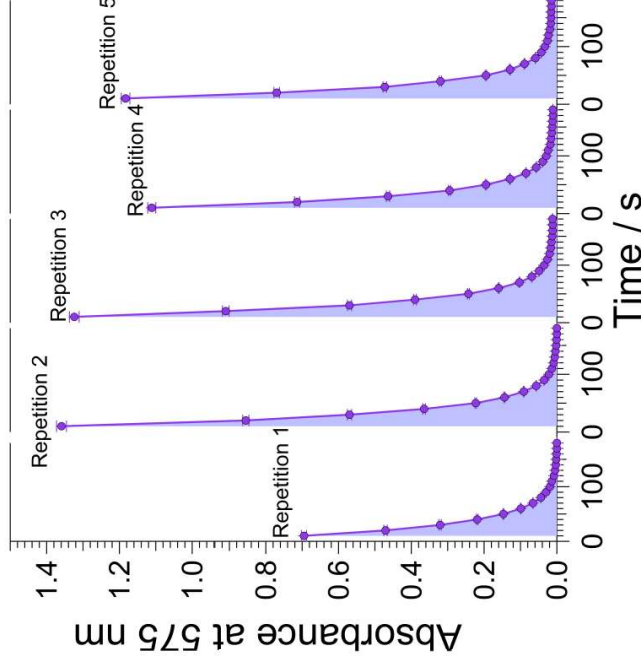
Alors $\ln\left(-\frac{dA_{575}(MC)}{dt}\right) = p \ln(A) + \ln\left(k \left(\frac{l}{\epsilon_{575}}\right)^{p+1}\right)$

2) D'après la littérature, on peut supposer que la réaction suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour la méthode intégrale, on suppose que l'ordre de la loi de vitesse est 1.

On a donc $-\frac{d[MC]}{dt} = k[MC]$

En appliquant la loi de Ben-Zabent, on obtient



Réponses aux questions

Interprétation des résultats.

3) On a une réaction d'ordre 1 donc $k_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$

$k \sim \frac{\ln(2)}{k_{1/2}} = \frac{3,03 \cdot 10^{-2} s^{-1}}{k_{1/2}}$ Ca qui est cohérent avec les valeurs de k calculées.

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Travail préliminaire

① TB, pourrais aussi -

MP : Photobromisme

M104

Travail préliminaire

1) 2^e objectif de la méthode différentielle est de déterminer l'ordre de la réaction.

Pour cela on vient supposer que la réaction admet un ordre.

Alors, $v = -\frac{d[NO_2]}{dt} = k[NO_2]^p$

Donc $\ln\left(-\frac{d[NO_2]}{dt}\right) = p \ln[NO_2] + \ln(k)$

Il suffit de faire une régression linéaire de $\ln\left(-\frac{d[NO_2]}{dt}\right)$ en fonction de $\ln[NO_2]$ et l'ordre de la réaction sera le coefficient directeur de la droite obtenue.

On d'après la loi de Ben-Zaboud, $A_{\text{max}}[NO_2] = E_{\text{max}} \cdot I \cdot [NO_2]$

Donc $[NO_2] = \frac{E_{\text{max}} \cdot I}{A_{\text{max}}}$

Alors $\ln\left(-\frac{dA_{\text{max}}[NO_2]}{dt}\right) = p \ln(A) + \ln\left(k \left(\frac{I}{E_{\text{max}}}\right)^{p+1}\right)$

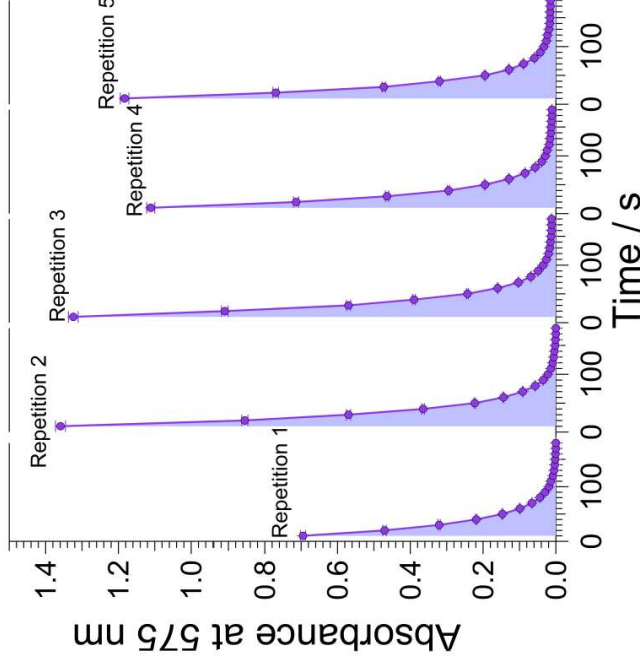
2) D'après la littérature, on peut supposer que la réaction suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour la méthode intégrale, on suppose que l'ordre de la loi de vitesse est 1.

On a donc $-\frac{d[NO_2]}{dt} = k[NO_2]_t$

En appliquant la loi de Ben-Zaboud, on obtient

4-5 répétitions par binôme



Réponses aux questions

Interprétation des résultats.

3) On a une réaction d'ordre 1 donc $k_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$

$k \sim \frac{\ln(2)}{k_{1/2}} = 3,09 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ Ca qui est cohérent avec les valeurs de k calculées.

Tableau complété

Nom élèves :	N° Groupe : 4	T en °C : 23°C
	ordre p ± u(p) selon Regressi	k ± u(k) en s ⁻¹ selon Regressi
Valeurs pour chaque expérience	1,05 ± 0,12	(39,7 ± 2,4) × 10 ⁻³
	1,11 ± 0,14	(29,6 ± 3,0) × 10 ⁻³
	1,08 ± 0,14	(34 ± 3) × 10 ⁻³
	1,10 ± 0,08	(35 ± 3) × 10 ⁻³
	1,01 ± 0,13	(31 ± 4) × 10 ⁻³
Moyenne	1,076	0,032
$u_{\text{type A}}(X)$ = écart-type sur toutes les valeurs	0,045	1,9 × 10 ⁻³
$u_{\text{type A}}(\bar{X})$ = $u_{\text{type A}}(X)/\sqrt{\text{racine}(N)}$	0,02	8,6 × 10 ⁻⁴
Résultat type A : $\bar{X} \pm u_{\text{type A}}(\bar{X})$	1,076 ± 0,020	(3,20 ± 0,18) × 10 ⁻²
Écart normalisé	5,4	0,33

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Travail préliminaire

① TB, pourrais aussi -

TP : Photobromisme

M104

Travail préliminaire

1) 2^e objectif de la méthode différentielle est de déterminer l'ordre de la réaction.

Pour cela on vient supposer que la réaction admet un ordre.

Alors, $v = -\frac{d[TC]}{dt} = k[TC]^p$

Donc $\ln\left(-\frac{d[TC]}{dt}\right) = p \ln[TC] + \ln(k)$

Il suffit de faire une régression linéaire de $\ln\left(-\frac{d[TC]}{dt}\right)$ en fonction de $\ln[TC]$ et l'ordre de la réaction sera le coefficient directeur de la droite obtenue.

On d'après la loi de Ben-Zaboud, $A_{\text{max}}[TC] = E_{\text{max}} \cdot k \cdot [TC]$

Donc $[TC] = \frac{A_{\text{max}} \cdot k}{E_{\text{max}} \cdot l}$

Alors $\ln\left(-\frac{dA_{\text{max}}[TC]}{dt}\right) = p \ln(A) + \ln\left(k \cdot \left(\frac{1}{E_{\text{max}} \cdot l}\right)^{p+1}\right)$

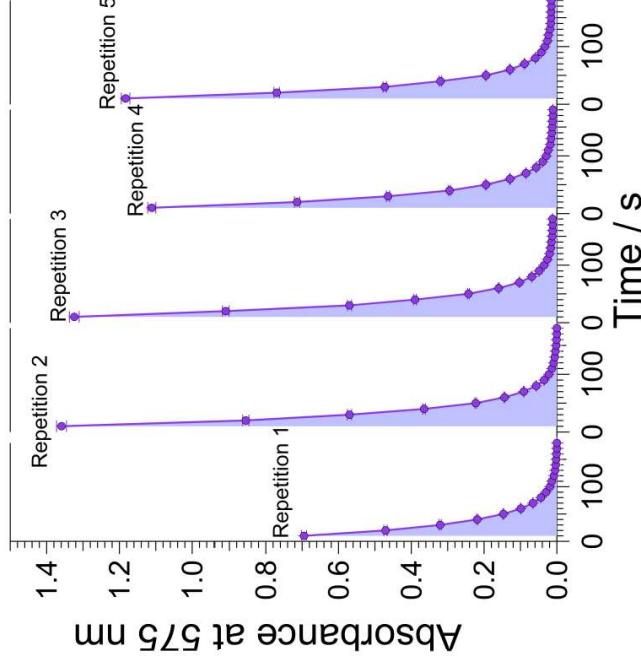
2) D'après la littérature, on peut supposer que la réaction suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour la méthode intégrale, on suppose que l'ordre de la loi de vitesse est 1.

On a donc $-\frac{d[TC]}{dt} = k[TC]$

En appliquant la loi de Ben-Zaboud, on obtient

4-5 répétitions par binôme



Réponses aux questions

Interprétation des résultats.

3) On a une réaction d'ordre 1 donc $k_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$

$k \sim \frac{\ln(2)}{k_{1/2}} = 3,09 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ Ca qui est cohérent avec les valeurs de k calculées.

Tableau complété

PCSI option PC A

Nom élèves :	N° Groupe : 4	T en °C : 23°C
	ordre p ± u(p) selon Regressi	k ± u(k) en s ⁻¹ selon Regressi
Valeurs pour chaque expérience	1,05 ± 0,12	(39,7 ± 2,4) × 10 ⁻³
	1,11 ± 0,14	(29,6 ± 3,0) × 10 ⁻³
	1,08 ± 0,12	(34 ± 3) × 10 ⁻³
	1,10 ± 0,08	(35 ± 3) × 10 ⁻³
	1,01 ± 0,13	(31 ± 4) × 10 ⁻³
Moyenne	1,076	0,032
u _{type A} (X) = écart-type sur toutes les valeurs	0,045	1,9 × 10 ⁻³
u _{type A} (X̄) = u _{type A} (X)/racine(N)	0,02	8,6 × 10 ⁻⁴
Résultat type A : X̄ ± u _{type A} (X̄)	1,076 ± 0,020	(3,20 ± 0,18) × 10 ⁻²
Écart normalisé	5,4	0,33

124 mesures de cinétiques 4-10 répétitions par échantillon

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●

Fin de séance - débrief



6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes ●

Fin de séance - débrief



Opportunité de **déterminer des incertitudes de type A**

Importance et l'intérêt de réaliser une expérience plusieurs fois

Comparaison avec la moyenne et l'écart-type (grp A, grp B, grp A+B)

Sources incertitudes (spectrophotomètre, expérimentateur, température)

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

Fin de séance - Débrief



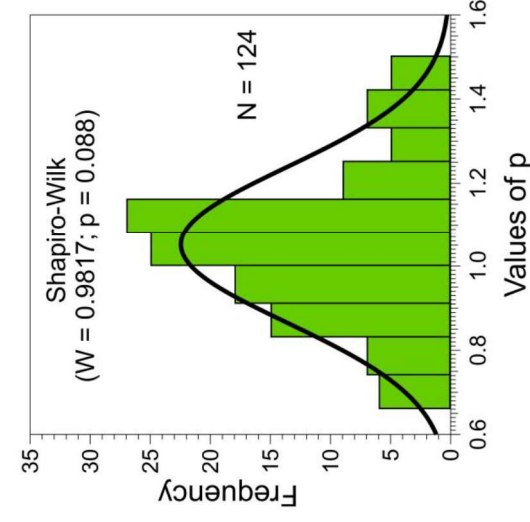
Opportunité de **déterminer des incertitudes de type A**

Importance et l'intérêt de réaliser une expérience plusieurs fois

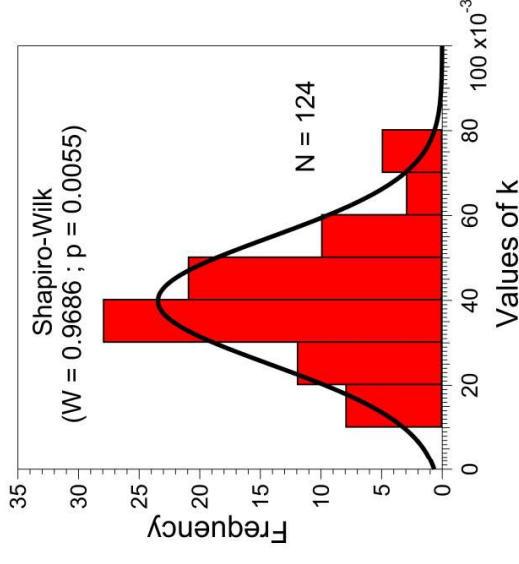
Comparaison avec la moyenne et l'écart-type (grp A, grp B, grp A+B)

Sources incertitudes (spectrophotomètre, expérimentateur, température)

Analyse statistique – Post-séance



Distribution normale validée $p > 0,05$



Distribution normale non validée $p < 0,05$
(Température)

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

Fin de séance - Débrief



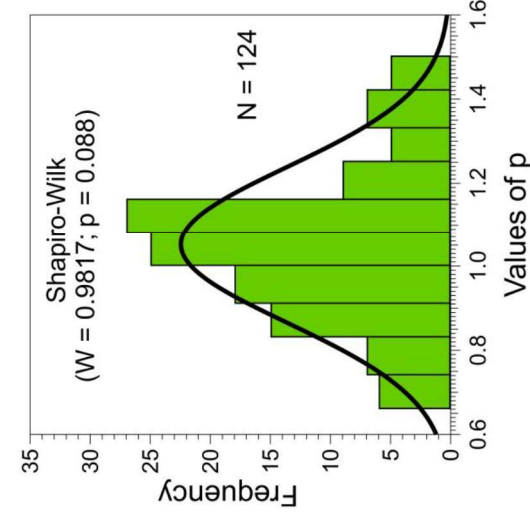
Opportunité de **déterminer des incertitudes de type A**

Importance et l'intérêt de réaliser une expérience plusieurs fois

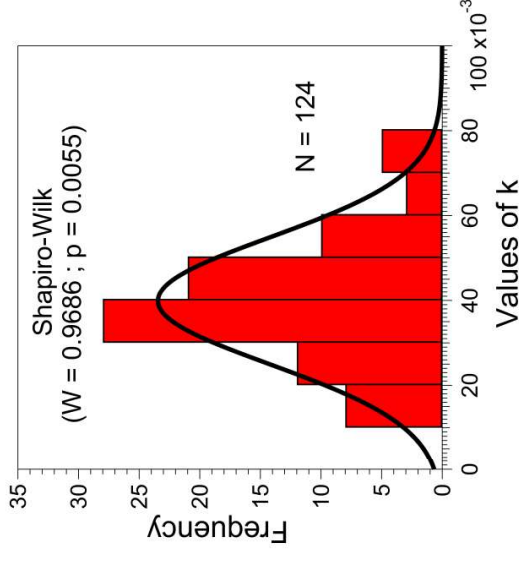
Comparaison avec la moyenne et l'écart-type (grp A, grp B, grp A+B)

Sources incertitudes (spectrophotomètre, expérimentateur, température)

Analyse statistique – Post-séance



Distribution normale validée $p > 0,05$



Distribution normale non validée $p < 0,05$
(Température)

	Number of participants (number of group)	Number of repetitions N	$\bar{p} (u)$	$\bar{k} (u) / s^{-1}$
Overall (A + B)	60 (30)	124	1.05 (0.19)	0.040 (0.015)
Values in ethylacetate at 25°C : $p = 0.96 \pm 0,01$ and $k = 0,031 s^{-1}$.				

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes

Fin de séance - Débrief



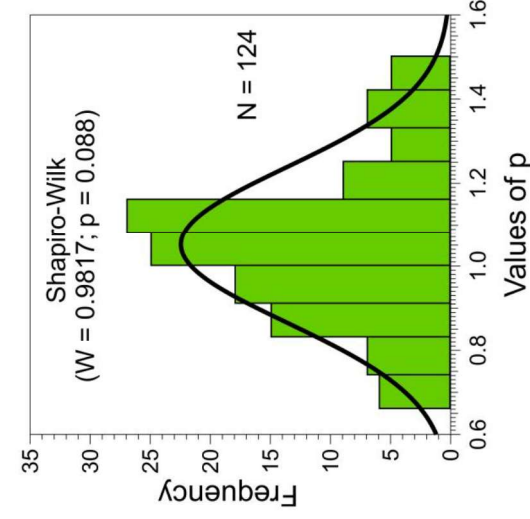
Opportunité de **déterminer des incertitudes de type A**

Importance et l'intérêt de réaliser une expérience plusieurs fois

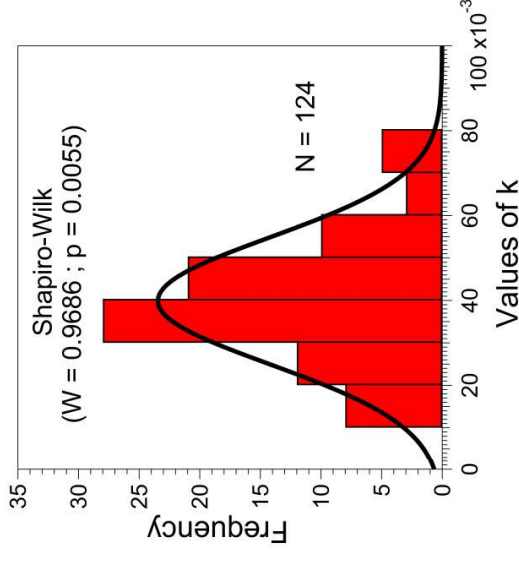
Comparaison avec la moyenne et l'écart-type (grp A, grp B, grp A+B)

Sources incertitudes (spectrophotomètre, expérimentateur, température)

Analyse statistique – Post-séance



Distribution normale validée $p > 0,05$



Distribution normale non validée $p < 0,05$
(Température)

	Number of participants (number of group)	Number of repetitions N	$\bar{p} \text{ (u)}$	$\bar{k} \text{ (u) } / s^{-1}$
Overall (A + B)	60 (30)	124	1.05 (0.19)	0.040 (0.015)

Values in ethylacetate at 25°C : $p = 0.96 \pm 0,01$ and $k = 0,031 \text{ s}^{-1}$.

Independent-samples t-tests

k: $t(28) = -1,10$, **p-value = 0,281**

p: $t(28) = 0,60$, **p-value = 0,552**

Pas de différences entre les groupes A et B pour p et k
Faible photodégradation

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Evaluer les éléments de cette section en utilisant l'échelle suivante: 1- Pas du tout d'accord à 6- Tout à fait d'accord

Taux de participation 90%

Question (cette activité m'a aidé à ...)	Valeur moyenne (ÉT)
Réaliser un suivi cinétique quantitatif	5.6 (0.6)
Analyser une courbe cinétique	5.6 (0.6)
Déterminer les paramètres cinétiques (ordre, constante de vitesse)	5.5 (0.7)
Comparer les résultats à l'aide du score zeta	5.3 (0.8)
Déterminer l'écart-type	5.3 (0.8)
Analyser de manière critique les résultats (paramètres cinétiques)	5.1 (1.0)
Examiner de manière critique les incertitudes de mesure	5.3 (0.7)
Examiner de manière critique le score zeta	5.2 (0.9)
Comprendre l'importance et les bénéfices de répéter plusieurs fois une expérience	5.8 (0.5)
TOTAL — Gain d'apprentissage	5.4 (0.7)

Question	Valeur moyenne (ÉT)
J'apprécie les méthodes pédagogiques utilisées dans l'activité.	5.4 (0.7)
Les méthodes pédagogiques me mobilisent dans l'activité.	5.5 (0.7)
L'activité retient mon attention.	5.4 (0.7)
Les méthodes pédagogiques utilisées dans l'activité retiennent mon attention.	5.2 (0.8)
J'apprécie de réaliser l'activité.	5.6 (0.6)
L'activité était intéressante pour moi.	5.4 (0.7)
TOTAL — Motivation (Intérêt)	5.4 (0.7)
Question	Valeur moyenne (ÉT)
De manière générale, l'activité m'est utile.	5.0 (0.8)
L'activité est bénéfique pour moi.	5.2 (0.6)
Je trouve que l'activité est pertinente pour mon avenir.	4.8 (1.0)
Je pourrai utiliser les connaissances acquises dans l'activité.	5.3 (0.8)
Les connaissances acquises dans l'activité sont importantes pour mon avenir.	4.7 (1.1)
TOTAL — Motivation (Utilité)	5.0 (0.9)

6-NO₂-BIPS -Suivi cinétique et incertitudes



Evaluer les éléments de cette section en utilisant l'échelle suivante: 1- Pas du tout d'accord à 6- Tout à fait d'accord

Taux de participation 90%

Question	Valeur moyenne (ÉT)
Réaliser un suivi cinétique quantitatif	5.6 (0.6)
Analyser une courbe cinétique	5.6 (0.6)
Déterminer les paramètres cinétiques (ordre, constante de vitesse)	
Comparer les résultats expérimentaux avec les résultats théoriques	
Déterminer les incertitudes des résultats	
Analyser de manière critique les résultats (paramètres cinétiques)	5.1 (1.0)
Examiner de manière critique les incertitudes de mesure	5.3 (0.7)
Examiner de manière critique le score zeta	5.2 (0.9)
Comprendre l'importance et les bénéfices de répéter plusieurs fois une expérience	5.8 (0.5)
TOTAL — Gain d'apprentissage	5.4 (0.7)

En révision au *Journal of Chemical Education*

Question	Valeur moyenne (ÉT)
J'apprécie les méthodes pédagogiques utilisées dans l'activité.	5.4 (0.7)
Les méthodes pédagogiques me mobilisent dans l'activité.	5.5 (0.7)
L'activité retient mon attention.	5.4 (0.7)
Les méthodes pédagogiques utilisées dans l'activité sont pertinentes pour mon avenir.	5.2 (0.8)
Je trouve que l'activité est pertinente pour mon avenir.	5.6 (0.6)
Je pourrai utiliser les connaissances acquises dans l'activité.	5.4 (0.7)
Les connaissances acquises dans l'activité sont importantes pour mon avenir.	5.4 (0.7)
TOTAL — Motivation (Utilité)	5.0 (0.9)

Solution verte et peu coûteuse



$3,1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
(10 mg dans 100 mL)
1 g – 50-70 euros
(50-70 ct/expérience)

**Solvant : Acétate
d'éthyle**

Composé : 6-NO₂-BIPS

**Réaction
photochrome**



4–5 cycles
(3 mL)

100-150 mesures



Faible
Photodégradation
(t-test)

> 100-150 mesures

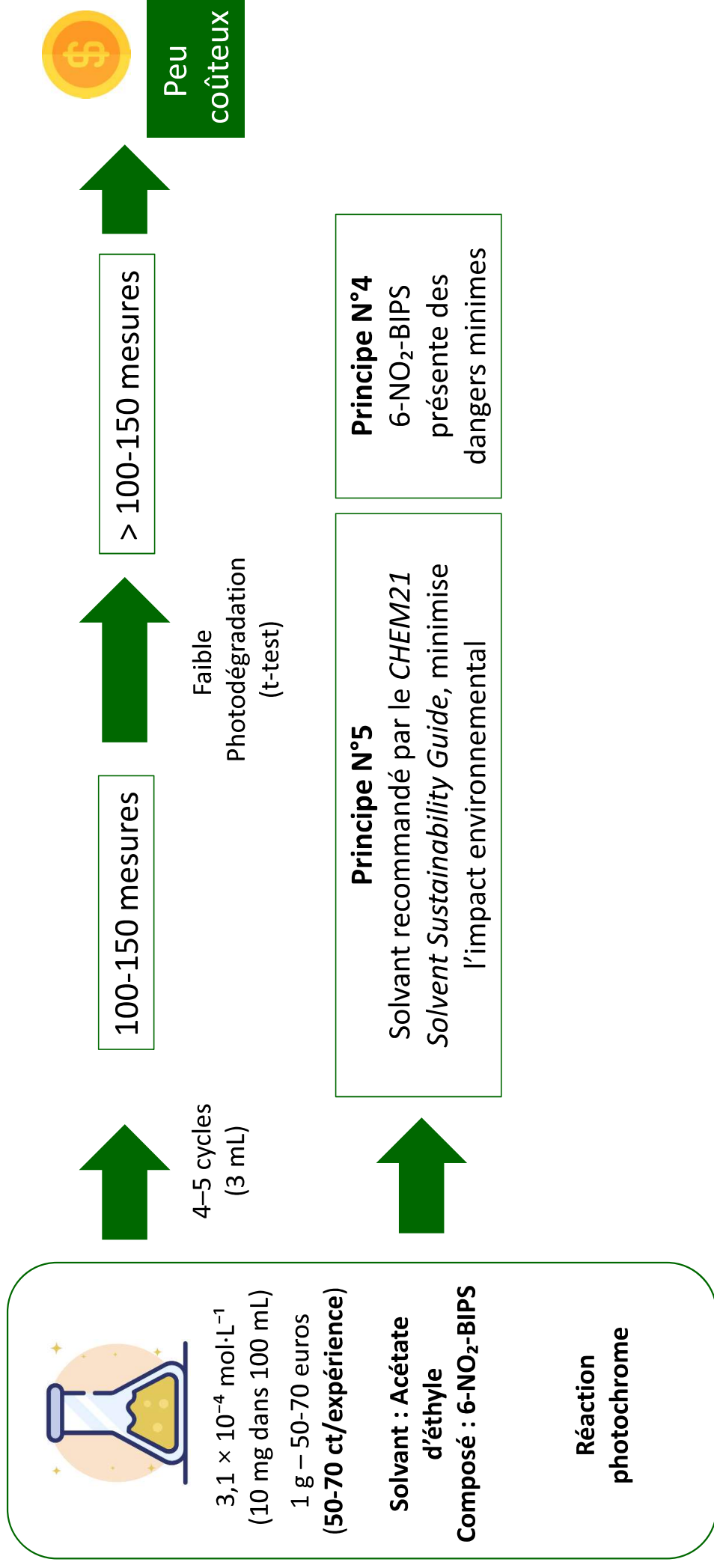


Peu
coûteux

Anastas, Paul T. and Warner John C. 2000. *Green Chemistry: Theory and Practice*. 1. paperback. Oxford University Press.

Prat, D.; Wells, A.; Hayler, J.; Sneddon, H.; McElroy, C. R.; Abou-Shehata, S.; Dunn, P. J. CHEM21 Selection Guide of Classical- and Less Classical-Solvents. *Green Chem.* **2016**, *18*⁽¹⁾, 288–296

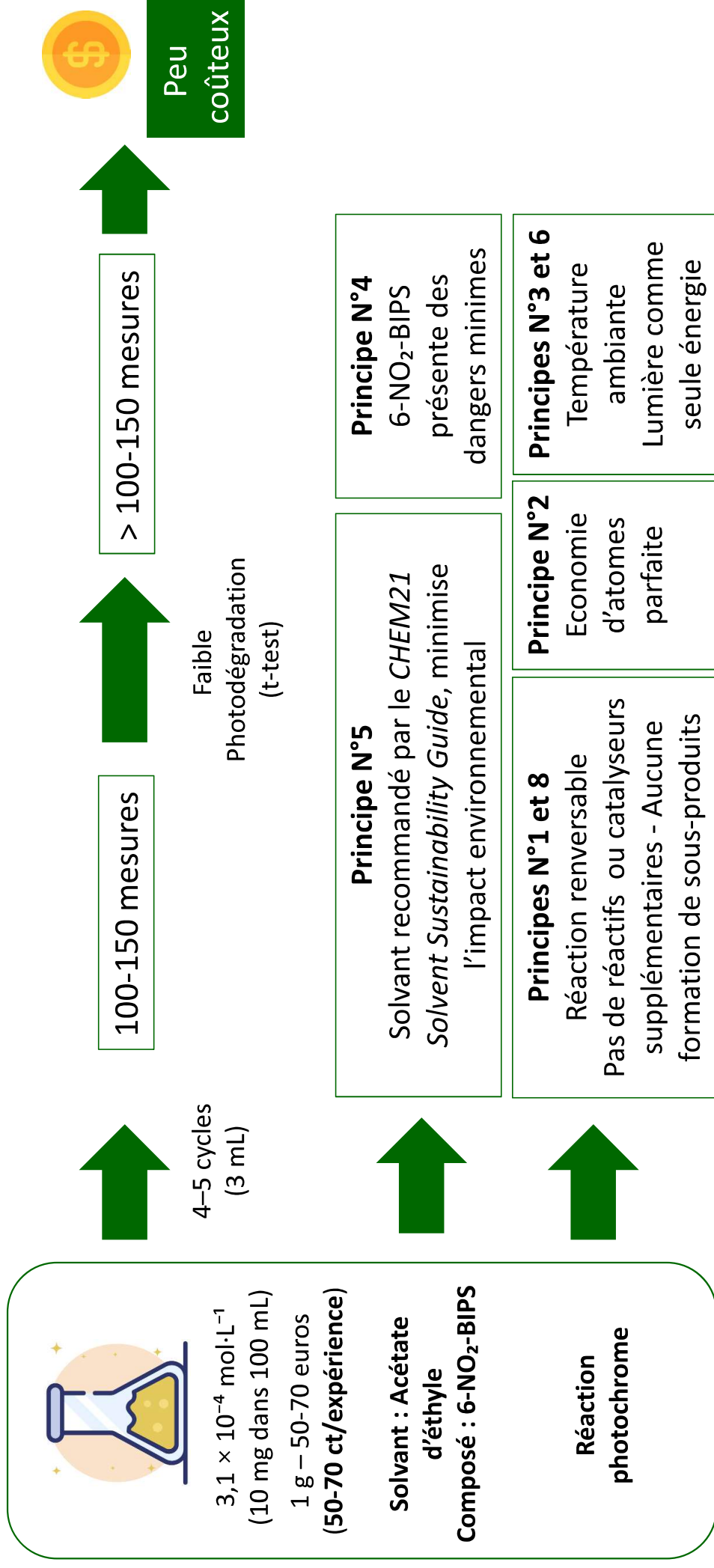
Solution verte et peu coûteuse



Anastas, Paul T. and Warner John C. 2000. *Green Chemistry: Theory and Practice*. 1. paperback. Oxford University Press.

Prat, D.; Wells, A.; Hayler, J.; Sneddon, H.; McElroy, C. R.; Abou-Shehadeh, S.; Dunn, P. J. CHEM21 Selection Guide of Classical- and Less Classical-Solvents. *Green Chem.* **2016**, *18*(1), 288–296

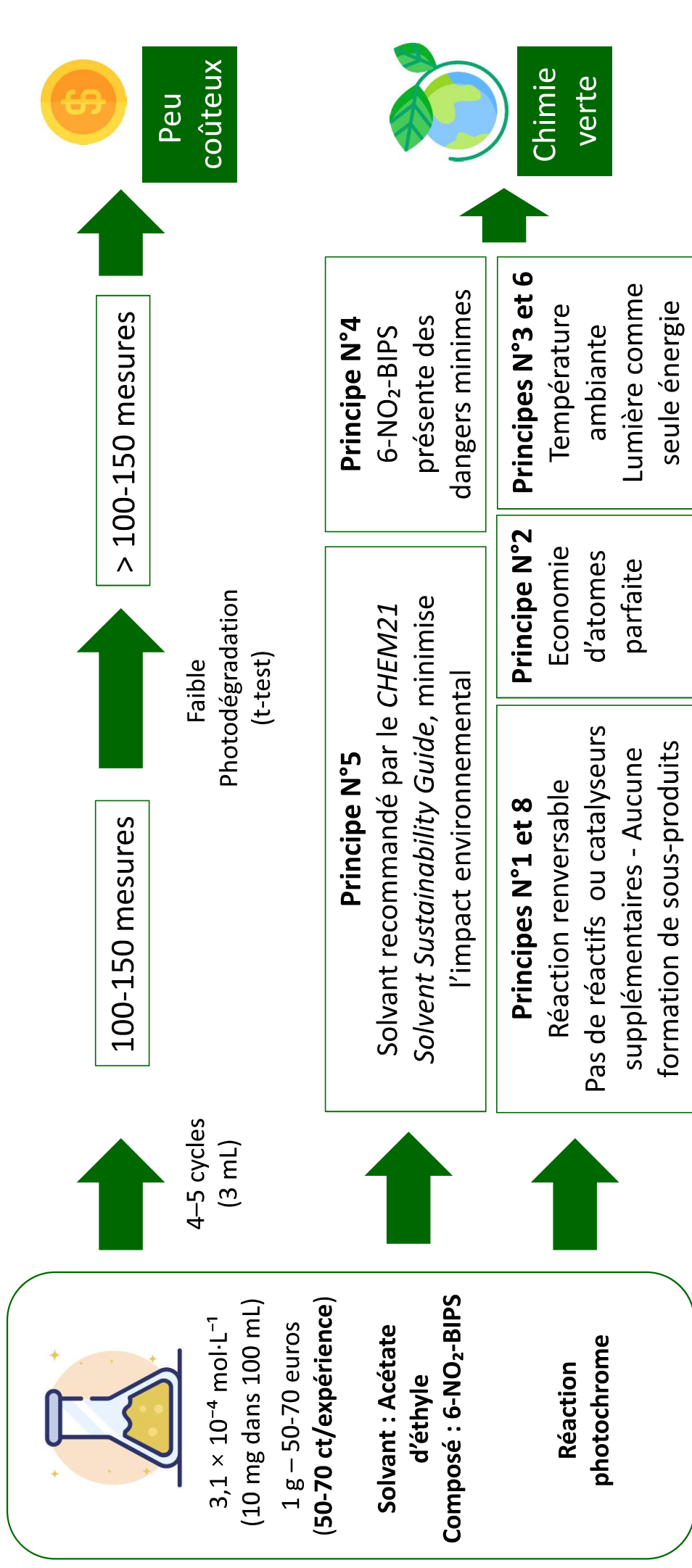
Solution verte et peu coûteuse



Anastas, Paul T. and Warner John C. 2000. *Green Chemistry: Theory and Practice*. 1. paperback. Oxford University Press.

Prat, D.; Wells, A.; Hayler, J.; Sneddon, H.; McElroy, C. R.; Abou-Shehata, S.; Dunn, P. J. CHEM21 Selection Guide of Classical- and Less Classical-Solvents. *Green Chem.* **2016**, *18* (1), 288–296

Solution verte et peu coûteuse

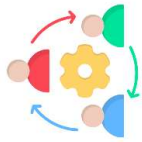


Anastas, Paul T. and Warner John C. 2000. *Green Chemistry: Theory and Practice*. 1. paperback. Oxford University Press.

Prat, D.; Wells, A.; Hayler, J.; Sneddon, H.; McElroy, C. R.; Abou-Shehadeh, S.; Dunn, P. J. *CHEM21 Selection Guide of Classical- and Less Classical-Solvents*. *Green Chem.* **2016**, *18*(1), 288–296

Conclusion et perspectives

*La recherche
vient au Lycée*



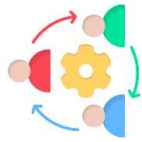
CPGE  Université

Enseignement  Recherche

Solution verte et peu coûteuse pour illustrer de nombreuses notions

Conclusion et perspectives

*La recherche
vient au Lycée*



CPGE ↔ Université

Enseignement ↔ Recherche



Solution verte et peu coûteuse pour illustrer de nombreuses notions

Perspectives

Caractériser la photodégradation

Mise en place d'une activité de travaux dirigés avec 6-NO₂-BIPS

Utiliser des verres photochromes de lunettes (verres Transitions®)

Toutes les autres perspectives de 2021 non encore réalisées 😊 (chimie organique / RMN ...)

Remerciements



école _____
normale _____
supérieure _____
paris-saclay _____



MERCI DE VOTRE ATTENTION !

Contacts :

sylvain.clede@ac-paris.fr

jonathan.piard@ens-paris-saclay.fr