

**UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES – FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE CHIMIE**

ELMI NUR Degan, MBIDA Christelle et PROFETTO Marco

Les systèmes dissipatifs

Qu'est-ce que un système dissipatif ? Quelle est son importance ?

Imaginez un système qui, au lieu de rester figé ou de revenir toujours à son état initial, évolue vers une structure organisée en interagissant avec son environnement. C'est exactement ce qu'a découvert **Ilya Prigogine, prix Nobel de chimie de l'ULB**, il y a environ 50 ans. Il a observé que certains systèmes ouverts, hors de l'équilibre, ont la capacité surprenante de **s'auto-organiser** en dissipant de l'énergie. C'est ainsi qu'il a introduit le concept de **système dissipatif**.



M. Zhabotinsky [1]



Ilya Prigogine [2]



B. Belousov [3]

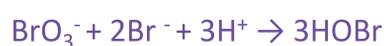
La réaction de Belousov-Zhabotinsky : une danse chimique!

Imaginez une réaction chimique qui **ne se contente pas de se dérouler une seule fois**, mais qui oscille, créant des motifs colorés hypnotiques ! C'est exactement ce qui se passe avec la **réaction de Belousov-Zhabotinsky (BZ)**, l'un des exemples les plus célèbres de réactions chimiques oscillantes.

Mais comment ça marche ?

Dans cette réaction, un composé appelé **acide malonique** est oxydé par un agent puissant, le **bromate**, en présence d'un **catalyseur** comme le **fer**, le manganèse ou le cérium. Trois processus clés se succèdent :

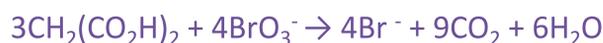
A) Un premier mécanisme produit des intermédiaires riches en brome.



B) Un second mécanisme met en jeu le catalyseur et crée des oscillations.



C) Un troisième mécanisme régénère le catalyseur et relance la réaction.



Pourquoi la réaction oscille-t-elle ?

La clé du phénomène réside dans un paramètre appelé **excitabilité**, qui dépend de la concentration des réactifs.

Si on modifie certains ingrédients, on peut influencer la **fréquence des oscillations**, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle les couleurs changent.

$$\varepsilon = \frac{[\text{H}_2\text{SO}_4][\text{BrO}_3^-]}{[\text{MA}]}$$

ε = excitabilité

$[\text{H}_2\text{SO}_4]$ = concentration en acide sulfurique

$[\text{BrO}_3^-]$ = concentration en bromate

$[\text{MA}]$ = concentration en acide malonique

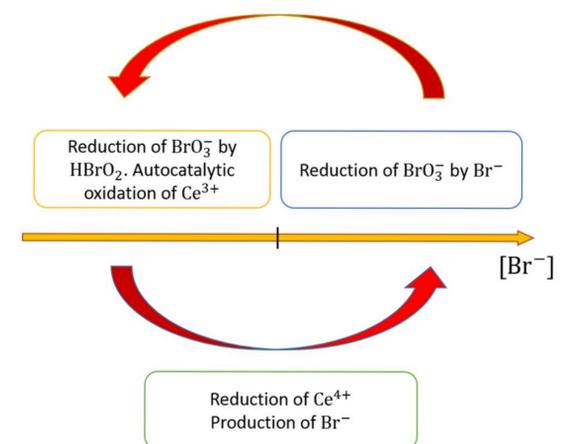


Figure 1: Schéma simplifié du mécanisme réactionnel de la réaction BZ décrivant l'évolution des 3 cycles avec le cérium comme catalyseur[4]

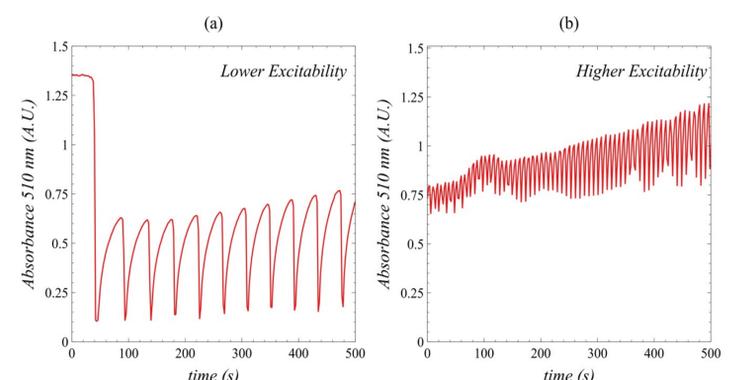


Figure 2: graphique montrant la variation de la période d'oscillation dans des systèmes avec différente excitabilité[5]

Source [1]: A. M. Zhabotinsky. (s. d.). Consulté 26 février 2025, à l'adresse <https://ux.uis.no/~ruoff/Zhabotinsky.html>

[2]: OpenLibrary.org. (s. d.). Ilya prigogine. Open Library. Consulté 26 février 2025, à l'adresse https://openlibrary.org/authors/OL2677387A/Ilya_Prigogine

[3]: Boris pavlovitch beloussov. (2025). In Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Boris_Pavlovitch_Beloussov&oldid=223167522

[4], [5], [11]: Barzykina, I. (2020). Chemistry and mathematics of the belousov–zhabotinsky reaction in a school laboratory. *Journal of Chemical Education*, 97(7), 1895–1902. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00906>

**UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES – FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE CHIMIE**

ELMI NUR Degan, MBIDA Christelle et PROFETTO Marco

Systèmes dissipatifs et cycles biochimiques

Un lien avec notre corps ?

La réaction BZ est un exemple fascinant de chimie oscillante qui présente une analogie avec des cycles biochimiques essentiels, comme le **cycle de Krebs**, responsable de la production d'énergie dans les cellules, ou le **rythme circadien**, qui régule notre horloge biologique. Son étude ouvre la voie à de nombreuses applications, comme la modélisation des rythmes biologiques, l'analyse des réactions dans les **écosystèmes aquatiques** et la conception de matériaux inspirés des systèmes auto-organisés. Ainsi, loin d'être un simple solvant, l'eau joue un rôle clé dans les réactions chimiques complexes qui structurent le vivant et l'environnement.

Pourquoi l'eau est importante?

L'eau n'est pas qu'un solvant, mais un **composant essentiel** des réactions chimiques. Elle facilite la **diffusion des molécules**, stabilise les échanges d'ions et permet aux réactions de se poursuivre sans blocage. C'est grâce à elle que certains systèmes chimiques oscillent au lieu de s'arrêter, créant des **dynamiques ordonnées à partir du désordre moléculaire**.

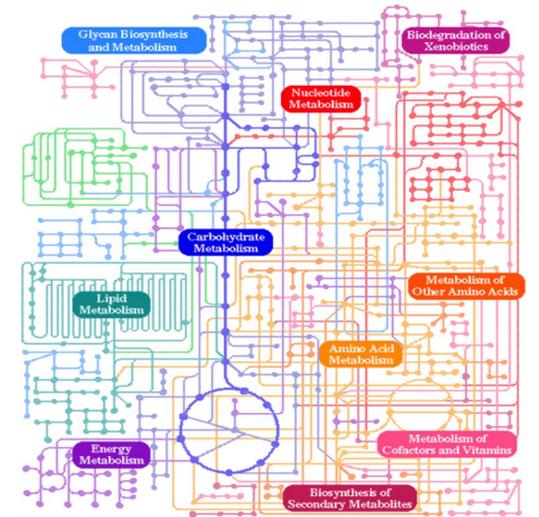


Figure 3: Schéma représentant les parcours réactionnels possibles dans le métabolisme.[6]

D'une expérience à un océan de données !

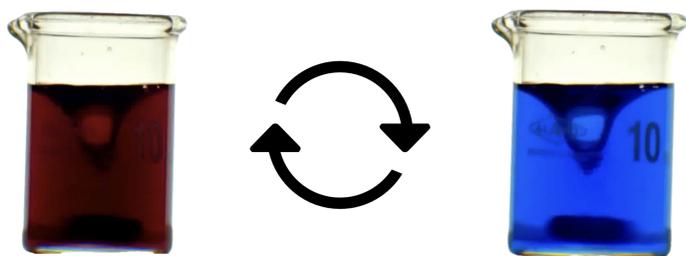


Figure 4: illustration du changement de couleur avec la ferroïne comme catalyseur[7]

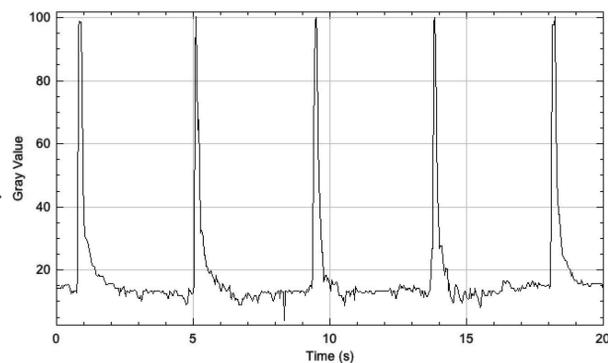


Figure 5: graphique montrant l'évolution de la coloration en fonction du temps (s) pour la réaction BZ catalysée par la ferroïne dans un milieu homogène agité.[8]



Figure 6: Oscillations spatiales dans une boîte de Pétri montrant la réaction de BZ. Les motifs colorés illustrent la dynamique chimique complexe et l'auto-organisation du système[9]

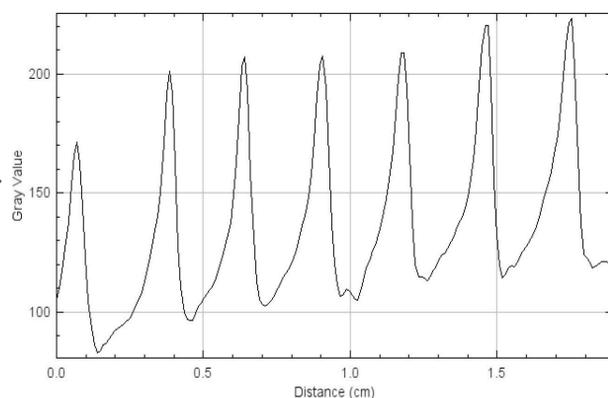


Figure 7: graphique montrant l'évolution de la coloration en fonction de la distance (cm) pour la réaction BZ catalysée par la ferroïne dans un milieu non-agité[10]

Des équations pour mieux comprendre la chimie vivante

Bruxellateur et Oregonateur: quand la modélisation prédit les oscillations chimiques

Pour décrire comment la réaction BZ évolue dans le temps, les chercheurs utilisent des **modèles mathématiques sophistiqués**, appelés **Bruxellateur** et **Oregonateur**. Ces modèles reposent sur des **équations différentielles non linéaires**, qui permettent de prédire comment les concentrations des substances impliquées changent et génèrent des oscillations.

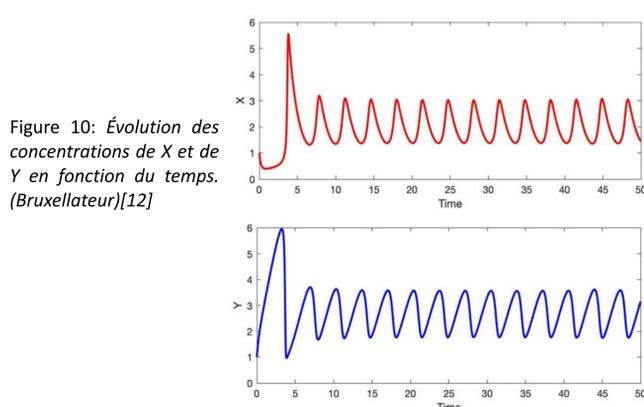


Figure 10: Évolution des concentrations de X et de Y en fonction du temps. (Bruxellateur)[12]

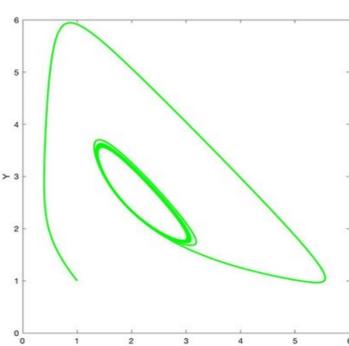


Figure 9: Évolution de Y en fonction de X dans les mêmes conditions. (Bruxellateur)[13]

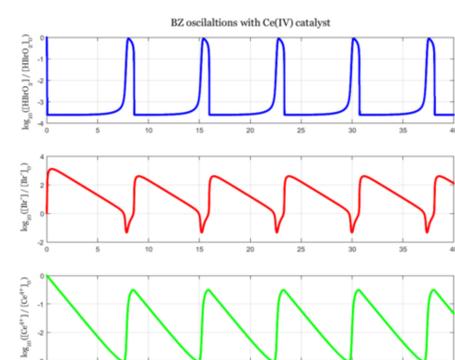


Figure 8: « Dépendance temporelle des concentrations des réactifs de la réaction BZ, calculée à l'aide du modèle Oregonator en résolvant numériquement les équations de Field-Noyes » en présence de Cerium [11]