

Quelques recettes d'oscillations chimiques et de structures spatiales*

par J.-C. MICHEAU
Université Paul Sabatier, 31000 Toulouse

1. OSCILLATIONS CHIMIQUES

1.1. Objectif

Il s'agit de réaliser la réaction de Briggs et Rauscher, connue sous le nom d'horloge à iode. Elle permet d'observer de magnifiques oscillations temporelles jaune d'or-bleu foncé.

1.2. Matériel nécessaire

Une balance au dixième ; un bécher en pyrex de 2000 ml ; un barreau aimanté ; un agitateur magnétique ; un bain-marie à 60 °C, deux éprouvettes graduées : une de 10 ml, l'autre de 250 ml ; 3 flacons de 500 ml avec bouchons.

1.3. Produits nécessaires

- Iodate de potassium KIO_3 (PM : 214) ;
- Acide perchlorique pour analyse à 70 % min. (d = 1,67 ; PM : 100,46) ;
- Acide malonique (PM : 104,06) ;
- Sulfate de manganèse (II) à une molécule d'eau (PM : 169,01) ;
- Thiodène (indicateur d'iode en iodométrie) ;
- Peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse à 30 % min. - 110 vol. - (d = 1,11 ; PM = 34,01) (dangereux !) ;
- Eau distillée.

1.4. Préparation des trois solutions initiales

Dans le premier flacon de 500 ml placer dans l'ordre :

* Voir la note de l'article précédent.

un fond d'eau distillée, 14,3 g d'iodate de potassium, 8 ml d'acide perchlorique (précautions d'emploi) et compléter avec de l'eau distillée. Laisser un petit espace pour agiter. L'iodate se dissout au bain-marie mais peut recristalliser légèrement au refroidissement. Cet effet est sans importance si la solution est conservée à température ambiante. On obtient ainsi la solution A.

Dans le second flacon, placer 5,2 g d'acide malonique, 1,1 g de sulfate de manganèse et 1 g de thiodène. Rajouter 250 ml d'eau distillée. On obtient ainsi la solution B.

Dans le troisième flacon, placer 100 ml d'eau distillée et 134 ml de peroxyde d'hydrogène. On obtient ainsi la solution C.

Les solutions ainsi préparées peuvent se conserver plusieurs jours, voire plusieurs semaines.

1.5. Réalisation de l'expérience

On place le bécher de 2000 ml équipé d'un barreau aimanté sur l'agitateur magnétique et on y verse successivement et en agitant le contenu des flacons A, B et C. La solution prend une couleur brun clair. Les oscillations commencent après une courte période d'induction (env. 30 s). La solution vire très brusquement au bleu foncé, puis s'éclaircit progressivement pour devenir jaune d'or. Elle s'assombrit ensuite brusquement et un nouveau cycle recommence. Dans de bonnes conditions on observe plus de vingt oscillations (env. 2 oscillations par minute). Lorsque les oscillations sont terminées, la solution est bleue foncée et des vapeurs d'iode se dégagent (précautions de manipulation).

1.6. À éviter...

Une lumière ambiante trop vive (soleil direct, projecteurs...) limite le nombre des oscillations. Une température trop basse ($T < 15\text{ °C}$) ralentit le phénomène. Des valeurs de concentrations trop éloignées de celles indiquées font sortir du domaine d'oscillations. Des traces d'ions Cl^- (eau du robinet) peuvent inhiber la réaction.

2. STRUCTURES SPATIALES CHIMIQUES

2.1. Objectif

Il s'agit de réaliser la célèbre réaction de Bérooussov-Jabotinski dans des conditions non agitées et en couche mince. On observe la propagation d'ondes chimiques très fines et très régulières de couleur bleu et rouge ; éventuellement des spirales rotatives sont présentes.

2.2. Matériel nécessaire

Une balance au dixième ; une boîte de Pétri en pyrex à fond très plat de 100 à 150 mm de diamètre ; deux éprouvettes graduées une de 10 ml et une de 100 ml ; un erlenmeyer de 50 ml ; 3 flacons de 100 ml avec bouchons.

La verrerie doit être propre et exempte d'ions Cl^- qui inhibent la réaction.

2.3. Produits nécessaires

- Bromate de sodium NaBrO_3 (PM : 150,89) ;
- Acide sulfurique concentré 95 % min., $d = 1,83$ pour analyse ;
PM : 98,07 ;
- Acide malonique (PM : 104,06) ;
- Bromure de sodium NaBr (PM : 102,89) ;
- Sulfate de fer (II) à 7 molécules d'eau, ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
PM = 278,01) ;
- Phénanthroline-1,10 à 1 molécules d'eau (PM = 198,23) ;
- Triton X-100 $d = 1,06$. On peut le remplacer par un autre agent mouillant à condition de vérifier l'absence d'ions Cl^- (test au AgNO_3°).

2.4. Préparation des trois solutions initiales

Dans le premier flacon de 100 ml placer 5 g de bromate de sodium, 67 ml d'eau distillée et 1 ml d'acide sulfurique concentré. On obtient ainsi la solution A.

Dans le second flacon, placer 75 ml d'eau distillée, 5 g d'acide malonique et 2,5 g de bromure de sodium. On obtient ainsi la solution B.

Dans le troisième flacon, on place 0,35 g de sulfate de fer, 0,75 g de phénanthroline, 50 ml d'eau distillée et deux gouttes de Triton X-100. On obtient ainsi la solution C.

Les solutions ainsi préparées peuvent se conserver plusieurs semaines.

2.5. Réalisation de l'expérience

On place la boîte de Pétri de 150 mm de diamètre sur une feuille de papier blanc horizontale dans un local bien éclairé. Dans l'erlenmeyer de 50 ml on ajoute successivement 20 ml de la solution A et 5 ml de solution B : le mélange se colore en jaune, on l'agite doucement en attendant (env. 5 mn) que le dégagement de brome cesse. La solution se décolore complètement. On y ajoute ensuite 3 ml de la solution C, on agite et on verse lentement le mélange dans la boîte de Pétri jusqu'à ce que le fond soit complètement recouvert. Des oscillations fugaces bleues-rouges traversent la solution. Puis, des points de germination bleus sur fond rouge apparaissent et commencent à émettre des ondes : il s'agit des structures cibles. Certaines de ces structures cibles se transforment spontanément en ondes spirales : toute spirale est accompagnée de sa spirale symétrique. La structuration spatiale peut durer plusieurs dizaines de minutes. A la fin le contraste s'estompe.

2.6. À éviter...

Une température trop basse ou trop élevée ($15 < T < 25$ °C). Des valeurs de concentrations trop éloignées de celles indiquées. Des traces d'ions Cl^- (eau du robinet). Une boîte de Pétri à fond bombé (verre de montre).

3. STRUCTURES SPATIALES CONVECTIVES

3.1. Objectif

Il s'agit de visualiser la convection thermique naturelle en couche mince (de type Rayleigh-Bénard) à l'aide d'une réaction photochimique. On observe d'étranges boyaux blancs sur fond bleu.

3.2. Matériel nécessaire

Une boîte de Pétri en pyrex à fond très plat de 100 à 150 mm de diamètre ; une microspatule ; 3 flacons de 100 ml avec bouchons ; une éprouvette graduée de 25 ml ; une lanterne de projection (150 W

quartz halogène) pouvant être disposée verticalement, (essayer aussi avec un rétroprojecteur, on éclaire alors la boîte de Pétri par dessous).

3.3. Produits nécessaires

- Bleu de méthylène (PM = 373,90) ;
- Solution aqueuse tamponnée à pH 9 ;
- Acide éthylènediaminetétraacétique, sel disodique à 2 molécules d'eau (PM = 372,24) ;
- Eau distillée.

3.4. Préparation de deux solutions initiales

Dans le premier flacon de 100 ml placer 25 g d'acide éthylènediaminetétraacétique, sel disodique à 2 molécules d'eau dans 90 ml de tampon à pH 9. On obtient ainsi la solution A.

Dans le second flacon, placer 75 ml d'eau distillée et quelques mg (une pointe de microspatule) de bleu de méthylène. On obtient ainsi la solution B bleu foncée.

Les solutions ainsi préparées peuvent se conserver plusieurs semaines.

3.5. Réalisation de l'expérience

On place la boîte de Pétri de 150 mm de diamètre sur une feuille de papier blanc bien horizontale. Dans un flacon de 100 ml on mélange 10 ml de solution A et 10 ml de solution B. On verse lentement le mélange dans la boîte de Pétri jusqu'à ce que le fond soit complètement recouvert. On éclaire ensuite la surface à l'aide de la lanterne. Des boyaux de convection blancs sur fond bleu apparaissent. La structuration spatiale dure pendant l'irradiation. Le contraste s'estompe après que l'irradiation ait été coupée. La solution redevient complètement bleue et peut être réutilisée plusieurs fois.

3.6. À éviter...

Les courants d'air peuvent perturber le processus d'évaporation-convection. Ne pas chauffer trop la surface libre ce qui inhibe la convection. Ne pas concentrer trop le bleu de méthylène car le phénomène se ralentit.

3.7. Contact

G. Lévy & J.-C. Micheau - URA 470 - Université Paul Sabatier
118, route de Narbonne F-31062 Toulouse