

But

Faire le point sur votre travail de MPSI-MP2I et des vacances d'été

Modalités

Document à déposer sur **Cahier de Prépa** (après connexion) entre le lundi 17 août et le **jeudi 3 septembre** :
1^e version de MCOT (Mise en Cohérence des Objectifs du TIPE) en **format PDF**

NB : Avant le 17 août, vous ne pourrez pas vous connecter à Cahier de Prépa.

Contenu

- ♦ Votre **nom**
- ♦ Le **titre** de votre sujet
- ♦ Une **introduction** indiquant en quoi votre sujet est en **lien avec le thème de l'année** (Sobriété, efficacité, optimisation) et la **raison** qui vous a conduit à **choisir** ce sujet
- ♦ Une **bibliographie commentée*** :

Vos recherches bibliographiques doivent vous permettre d'identifier **2 à 10 documents** (articles scientifiques référencés, des ouvrages, des périodiques, des conférences scientifiques, des pages WEB **fiables** ! ...) qui vous apportent le **contexte scientifique** et les **éléments clés** (*principes généraux, expérimentations, lois et concepts, voire certaines questions restant en suspens ou des sujets controversés*) en lien avec votre sujet.

Il s'agit de rédiger la **synthèse des informations** issues de ces **sources** qui seront **citées par des numéros** et **listées en fin de synthèse**.

- ♦ Une **problématique**
- ♦ La liste de vos **objectifs*** (modélisation – étude théorique / programmation informatique – simulation numérique / manipulation avec protocole(s) / contact(s) extérieur(s)) en précisant ceux que vous avez déjà réalisés et ceux qu'ils vous restent à faire.

* Vous trouverez ci-après deux exemples de bibliographie commentée et d'objectifs de TIPE.

A consulter sur SCEI <https://www.scei-concours.fr/> pour connaître les attendus de l'épreuve de TIPE

- ♦ Attendus pédagogiques session 2026
- ♦ Rapport TIPE 2021

Exemples de bibliographie commentée et d'objectifs de TIPE :

1^{er} exemple :

Étude expérimentale et modélisation d'une réaction oscillante

Bibliographie commentée

Pour la majorité des réactions chimiques, il y a une évolution vers un état d'équilibre de manière monotone. Cependant, ce n'est pas le cas de la célèbre réaction de Belousov Zhabotinsky (BZ), qui présente des oscillations visibles entre plusieurs états colorés pendant plusieurs minutes.

Les oscillations de couleur de la solution siège de la réaction [1], peuvent être interprétées comme un signal périodique. Les changements de couleur observés peuvent être quantifiés par la mesure d'une grandeur physique telle que le potentiel électrique ou l'absorbance.

Cette réaction fut découverte par hasard, au début des années 1950, par le chimiste russe Belousov. Lorsqu'il voulut faire part de sa découverte, celle-ci fut rejetée. [2] Certains chimistes ont d'abord cru que la réaction violait le deuxième principe de la thermodynamique, car les oscillations chimiques semblaient impliquer un retour spontané vers un état antérieur. En réalité, il n'y a aucune contradiction : elle est un système hors équilibre dissipatif, alimenté par l'énergie chimique des réactifs. Elle produit de l'entropie tout au long du processus, et les oscillations ne sont qu'un comportement dynamique permis loin de l'équilibre. [3] Il faut envisager cette réaction comme un « jouet marcheur sur rampe » qui descend une pente tout en alternant les changements de couleur ; et à la fin lorsque le jouet est en bas de la rampe, la réaction est terminée. [2]

L'évolution des concentrations des constituants d'une réaction oscillante peut être décrite par un système d'équations différentielles couplées. Ces équations différentielles sont obtenues via des lois de vitesse relatives à la cinétique chimique, et suivent le modèle proie-prédateur de Lotka-Volterra [4] Le théorème de Cauchy-Lipschitz permet d'établir que ce système possède des solutions globales définies sur un temps infini et de plus périodiques. La linéarisation du système permet de montrer l'existence de deux points d'équilibre du système : l'un stable, l'autre instable qui correspondent à des concentrations particulières des constituants de la réaction. Ces équations étant non linéaires, une résolution numérique est nécessaire. [5]

Le caractère oscillant d'une réaction chimique impose une boucle de rétro-action, c'est-à-dire, que la concentration d'au moins une des espèces présentes influe sur la vitesse d'une des étapes où elle intervient en tant que produit. [6]

Cette réaction constitue ainsi un modèle canonique d'oscillateur auto-entretenu. De manière analogue, le rythme veille-sommeil est contrôlé par une horloge circadienne dont la période vaut environ un jour, reposant sur des boucles de rétroaction impliquant des gènes. [7]

L'un des apports majeurs de l'étude de la réaction BZ est la mise en évidence du caractère endogène des oscillations : celles-ci persistent en l'absence de toute stimulation externe périodique, tout comme le rythme veille-sommeil, ce qui montre que ce dernier résulte d'un oscillateur interne et non d'une simple réponse passive à l'alternance jour-nuit.

Références bibliographiques

[1] UNIVERSITÉ DU LITTORAL-CÔTE D'OPALE : Etude d'une réaction chimique oscillante : http://purple.univ-littoral.fr/etudes/TPL3cph/reaction_oscillante.pdf

[2] THE ROYAL INSTITUTION : Réaction de Belousov-Zhabotinsky et deuxième principe de la thermodynamique : Cette réaction enfreint-elle la deuxième loi de la thermodynamique? : <https://www.youtube.com/watch?v=pXZ-UTfTaOw>

- [3] UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES-FACULTÉ DES SCIENCES, DÉPARTEMENT DE CHIMIE : Systèmes dissipatifs et réaction de Belousov-Zhabotinsky: applications dans l'eau et les cycles biochimiques : https://sciences.brussels/printemps/wp-content/uploads/sites/2/2025/03/Poster_2025-Sciences.pdf
- [4] EPREUVE COMMUNE DE TIPE-PARTIE D : Systèmes chimiques oscillants : https://lycee-champollion.fr/IMG/pdf/systemes_chimiques_oscillants-3.pdf
- [5] GRÉGORY VIAL : Le système proie-prédateur de Volterra-Lotka : <https://w3.ens-rennes.fr/math/people/gregory.vial/files/cplts/volterra.pdf>
- [6] CHRISTIAN VIDAL : La réaction chimique créatrice de rythmes et de formes : Bulletin de l'Union des Physiciens, Association des professeurs de Physique et de Chimie, 742, (1992), 346
- [7] REPERT & WEAVER : Coordination of circadian timing in mammals : Nature, 2002, 935-941

Problématique retenue

Comment vérifier expérimentalement la pertinence d'une modélisation mathématique d'une réaction chimique oscillante ?

Objectifs du TIPE du candidat

Je me propose :

- de réaliser expérimentalement cette réaction oscillante, et de mesurer sa période,
- de modéliser mathématiquement l'évolution de la concentration de certains constituants de la réaction via des lois de vitesse relatives à la cinétique chimique,
- de comparer les résultats expérimentaux obtenus, notamment la période, avec ceux issus d'une résolution numérique du système d'équations couplées,
- de conclure sur la pertinence du modèle utilisé.

2^e exemple : La Percolation

Bibliographie commentée

A l'origine, la percolation désigne le phénomène d'écoulement d'un fluide à travers un matériau poreux, comme de l'eau à travers du sable ou un gaz à travers un masque à gaz.[1][2]

On peut modéliser mathématiquement ce phénomène par un graphe aléatoire. Les sommets de ce graphe sont des sites (cavités présentes dans le matériau) pouvant contenir du fluide percolant à travers le matériau. Les arêtes modélisent les liens entre ces sites, pouvant laisser passer le fluide d'un site à un autre.

Dans ce graphe, chaque arête possède une probabilité p d'être "ouverte", (la même pour toute), i.e de laisser passer le fluide. Un tel modèle possède la remarquable propriété de posséder une probabilité dite "critique" notée p_c . Si $p > p_c$, il y a percolation à travers le matériau, c'est à dire le fluide versé sur le matériau s'écoule dans celui-ci et le traverse de part en part. Si $p < p_c$, il n'y a pas percolation, donc l'écoulement d'un fluide versé sur le matériau s'arrête dans le matériau et le fluide ne le traverse pas. [3][4]

Un matériau est dit poreux lorsqu'il contient des pores, c'est à dire des sites ou des cavités de taille variable pouvant contenir d'autres espèces, tel que des fluides. On nomme porosité les propriétés des pores d'un tel matériau, comme leur présence, tailles ou leur nombre. Pour modéliser un matériau poreux, on utilise un graphe de dimension 3, où chaque sommet est un point à coordonnées entières.

Dans un tel graphe, chaque sommet est relié à 6 autres sommets donc 6 chemins potentiels pour l'écoulement du fluide. On peut représenter l'écoulement du fluide dans un matériau donné à l'aide d'un probabilité p qu'à le matériau à laisser passer le fluide entre deux pores donc d'une probabilité p qu'une arête du graphe soit ouverte. Ce modèle permet d'approcher la réalité physique de la percolation. [3]

La perméabilité d'un matériau est sa faculté à laisser un fluide s'écouler en lui ou à en bloquer la percolation, et la facilité d'un fluide à traverser un matériau.

Plus les pores d'un matériau poreux sont gros et nombreux, plus ils pourront contenir du liquide et plus ils auront de chance d'être reliés les uns les autres. Ils permettrons donc de laisser le fluide s'écouler à travers le dit matériau, lié à la probabilité p introduite précédemment. [6]

La probabilité de passage p et la porosité du matériau considéré sont donc liés en analysant la constitution du matériau et les caractéristiques de ses pores, influençant l'une comme l'autre la porosité du matériau. Il n'existe cependant aucune formule connue à ce jour liant l'une à l'autre. [6]

Références bibliographiques

[1] C. ROUSSEAU : Passera, passera pas? : Accromoth, Vol. 9, hiver-printemps 2014.

[2] J.M. VALLÉE : Etude de la porosité et de la perméabilité : <https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/scenarii/TP>, consulté le 13 novembre 2025.

[3] P. CROTTI : Une introduction à la théorie de la percolation

[4] G. GRIMETT : Percolation : Springer 1999

[5] W. WERNER : Percolation et modèle d'Ising : Cours spécialisés, vol. 16, Société mathématique de France, 2009

[6] MORGANE GILLARD : Percolation : qu'est-ce que c'est ? : <https://futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-percolation-12645/>, consulté en septembre 2025

[7] MURIELLE JARRY ET PIERRE CAMPET : Modélisation d'un feu de forêt : https://www.mathom.fr/mathom/sauvageot/Modelisation/Graphes/Feux_foret.pdf, consulté le 25 mai 2026

Problématique retenue

Comment le modèle mathématique de la percolation permet-elle de comprendre certains phénomènes critiques présents dans la nature ?

Objectifs du TIPE du candidat

On se proposera de :

- Étudier le modèle de la Percolation et en comprendre ses premières propriétés.
- Implémenter en langage Python un algorithme permettant de vérifier ces propriétés et de modéliser la percolation d'un fluide à travers un matériau.
- Vérifier expérimentalement cette modélisation à l'aide de matériaux perméables ou de pavages aléatoires.