

Comment faire de la cuisine un laboratoire de physique-chimie ?

Résumé L'approche pédagogique DIY (« do it yourself ») présentée dans cet article propose un TP réalisable avec des produits et des équipements domestiques et/ou prêtés par la structure d'enseignement. Ce sujet, couramment enseigné en chimie organique au niveau Licence, associe un mets à une réaction chimique et à une mesure physique. Il s'agit du sirop de sucre inversé préparé dans un four micro-onde par hydrolyse du sucre de table en présence d'acide citrique. La mesure du pouvoir rotatoire permet de suivre l'avancement de la réaction d'hydrolyse. En échangeant sa blouse blanche contre un tablier de cuisine et en empruntant un polarimètre « maison » fabriqué dans son établissement de formation, l'étudiant(e) peut planifier son TP, choisir ses conditions expérimentales et suivre l'avancement de la réaction entre deux repas. La transposition de ce TP du laboratoire à la cuisine est exposée et met en exergue les potentialités pédagogiques de l'approche choisie.

Mots-clés Travaux pratiques, DIY, hydrolyse acide, saccharose, suivi cinétique, micro-onde, polarimétrie.

Abstract How to turn the kitchen into a physics-chemistry laboratory?

The DIY (« do it yourself ») pedagogical approach presented here offers achievable practical work with domestic products and equipment and/or loaned by the teaching structure. This practical work subject, commonly taught in organic chemistry at Bachelor's level, associates a meal with a chemical reaction and a physical measurement. It is inverted sugar syrup prepared in a microwave oven by hydrolysis of table sugar in the presence of citric acid. The measurement of rotational power allows following the progress of the hydrolysis reaction. By exchanging his white coat for a kitchen apron and borrowing a "homemade polarimeter" made in his training institution, the student can plan his practical work, choose his experimental conditions, and follow the progress of the reaction between two meals. The transposition of this experience from the laboratory to the kitchen is shown and highlights the pedagogical potential of the chosen approach.

Keywords Practical works, DIY, acid hydrolysis, saccharose, kinetic following, microwave, polarimetry.

L'enseignement pratique en chimie comme en physique ne peut se concevoir sans que les apprenants puissent avoir accès au montage expérimental, à la manipulation et aux équipements de mesure.

Pourtant, un très grand nombre d'apprenants dans le monde n'ont pas accès aux équipements et aux paillasses de laboratoires. Faute de moyens financiers pour investir et entretenir les salles de TP de physique et de chimie, les universités délivrent un enseignement scientifique trop théorique en transformant majoritairement les heures de travaux pratiques (TP) en heures de travaux dirigés (TD). Cet accommodement est d'autant plus fréquent que les effectifs sont importants. D'ici 2030, une explosion de la démographie estudiantine est attendue, tout particulièrement sur le continent africain [1]. Pour combler ces lacunes et contrer ces dérives, il est primordial de concevoir par des approches innovantes l'enseignement pratique à distance dans ces disciplines scientifiques. Sans omettre qu'avec la pandémie de Covid-19, le développement de l'enseignement pratique à distance est devenu une évidence pour tous les apprenants des quatre coins du monde, quel que soit le niveau d'équipement des établissements. Cette pandémie a eu un effet stimulant sur le processus de réflexion et la mise en application par les équipes pédagogiques.

L'avènement et l'expansion des FabLab dans les années 2010 a vu les pratiques DIY (« do it yourself ») émerger de tout horizon, de la cuisine à la mode en passant par la santé [2-3]. Il est donc naturel que l'enseignement s'en saisisse afin de répondre à de nouvelles problématiques pédagogiques ou sociétales. Un temps réservées aux écoles primaires, précurseurs en la matière notamment au travers des projets « La main à la pâte » [4-5], ces approches prennent peu à peu pied

au sein de l'université. L'approche DIY, dans laquelle l'étudiant « fait », le place évidemment au centre de l'apprentissage, acteur de chaque instant car constructeur de son savoir.

Le présent « TP à la maison » invite la réalisation expérimentale au domicile de l'étudiant à partir de produits et équipements domestiques d'une part et de la possibilité d'emprunter à son établissement de formation du matériel scientifique « fait par impression 3D en atelier par soi-même ou par ses collègues » d'autre part. Il correspond à l'une des approches développées dans le cadre d'un travail collaboratif entre chimistes et physiciens, mené ces deux dernières années entre l'Université Jean Monnet (Saint-Etienne, France) et l'Université d'Abomey-Calavi (Cotonou, Bénin) (programme ADESFA 2019-2021).

Les compétences d'apprentissage visées sont :

- conduire une expérience chimique : choisir les conditions expérimentales, mettre en œuvre la réaction chimique, et suivre son avancement ;
- vérifier expérimentalement la loi cinétique de la réaction ;
- utiliser un appareil de mesure et savoir en décrire son fonctionnement ;
- déterminer les incertitudes de mesure.

La problématique soulevée ici est donc de permettre à l'étudiant de réaliser le suivi de l'hydrolyse acide du saccharose à la maison par polarimétrie en moins de 30 minutes. Pour cela, nous avons présenté une approche théorique de la réaction et de son suivi, ce qui nous a permis de faire émerger les freins à la délocalisation de ce TP du laboratoire à la maison. Nous avons alors proposé des solutions expérimentales et organisationnelles afin de dépasser ces difficultés. La fabrication du polarimètre peut être conduite à travers un atelier de physique type FabLab. Le service de réservation et de prêt du matériel scientifique DIY peut être facilement mis en place via

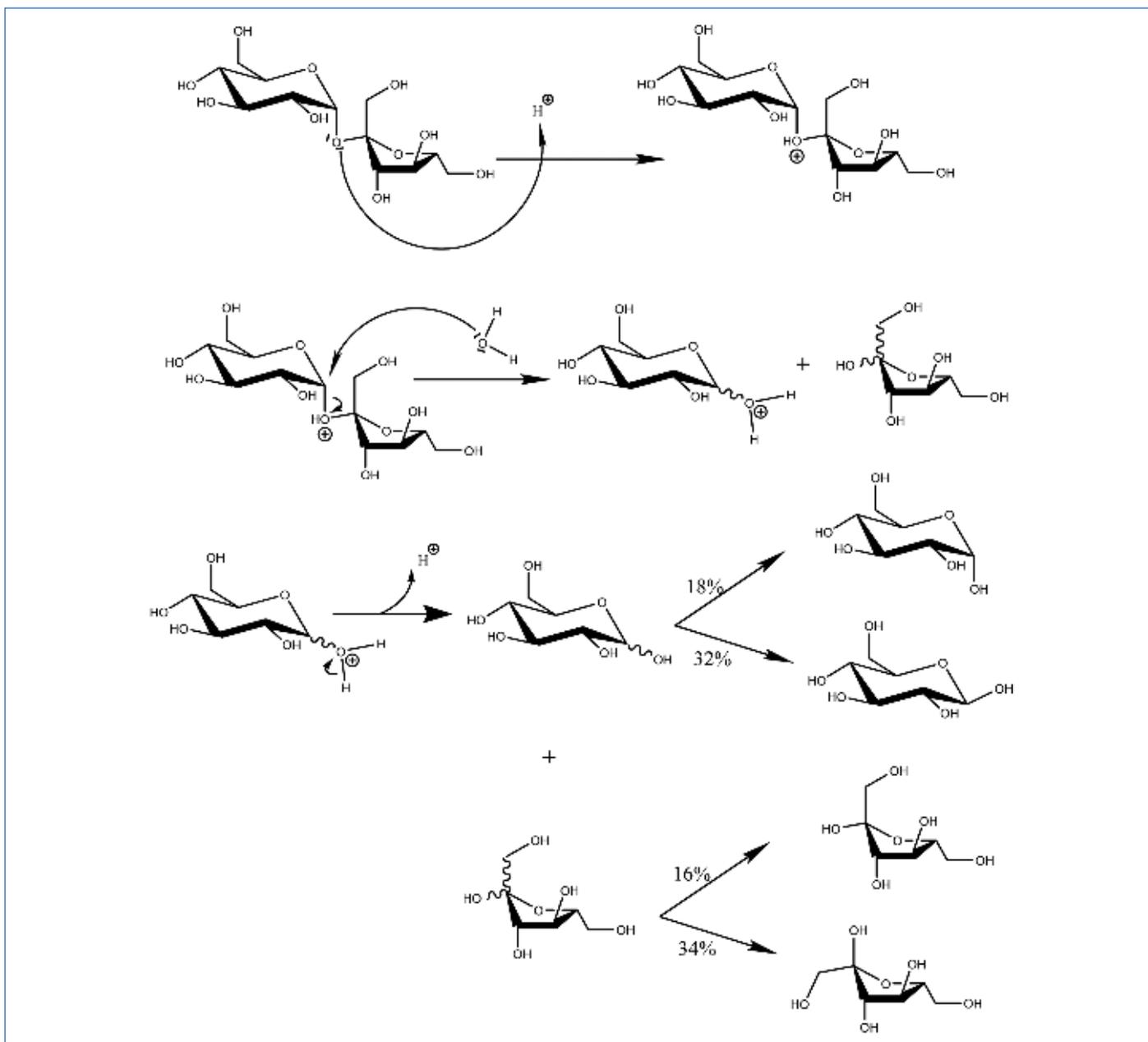


Figure 1 - Schéma réactionnel de l'hydrolyse du saccharose catalysée en milieu acide.

la plateforme numérique et le service technique du département de chimie de l'établissement. Les résultats expérimentaux présentés ici montrent que ce TP peut réellement être effectué dans la cuisine de l'étudiant. Un premier test effectué sur un échantillon d'étudiants volontaires a prouvé la faisabilité de ce concept. La variabilité des conditions expérimentales peut permettre de transformer ce TP en une approche projet.

Présentation de la réaction chimique et de son suivi [6]

Le nom de la molécule du sucre de table est le saccharose. C'est un disaccharide composé de D-glucose et de D-fructose. En milieu aqueux et en présence d'acide ou d'enzymes (invertases) ou encore sous l'effet de la lumière, la liaison osidique entre ces deux oses se rompt. Le mécanisme réactionnel de cette décomposition en milieu aqueux acide correspond à celui d'une hydrolyse avec catalyse acide. Comme décrit sur la figure 1, il se déroule en trois étapes :

- la protonation de l'atome d'oxygène de la liaison osidique,

- l'attaque nucléophile de l'eau sur l'atome de carbone anomérique et la rupture de la liaison osidique en faveur du fructose,

- la déprotonation de l'atome d'oxygène apportée par la molécule d'eau.

En fin de réaction, un mélange équimolaire des deux oses est obtenu. Le D-glucose se présente sous ses deux formes anomères dans les proportions suivantes : 18 % α -D-glucopyranose et 32 % β -D-glucopyranose, tout comme le D-fructose : 16 % α -D-fructofuranose et 34 % β -D-fructofuranose.

Toutes les molécules de cette réaction sont chirales et possèdent une activité optique caractérisée par le pouvoir rotatoire spécifique, $[\alpha]_D^T$ (T : température ambiante ; D : longueur d'onde de la raie D du sodium). Les valeurs du pouvoir rotatoire spécifique sont indiquées dans le *tableau*.

Au cours de la réaction d'hydrolyse, le pouvoir rotatoire de la solution varie des valeurs positives aux valeurs négatives. Cette réaction est appelée « réaction d'inversion » et le mélange obtenu « sucre inverti ». Son pouvoir rotatoire spécifique à 25 °C est égal à -19,8° [7].

Tableau - Pouvoirs rotatoires spécifiques des sucres de l'expérience [7].

Molécule	Pouvoir rotatoire spécifique $[\alpha]_D^{25\text{ °C}}$ en $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^3$
saccharose	+ 66,5
α -D-glucopyranose	+ 112
β -D-glucopyranose	+ 18,7
α -D-fructofuranose	- 4,8
β -D-fructofuranose	- 133

À partir de la connaissance du pouvoir rotatoire spécifique $[\alpha]_D^T$ et de la concentration c des espèces, il est possible de calculer le pouvoir rotatoire théorique de la solution à partir de la loi de Biot [8] :

$$\alpha = [\alpha]_D^T \cdot l \cdot c \quad (\text{éq. 1})$$

où l : longueur de la cuve en dm et c en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

La mesure en continu du pouvoir rotatoire permet ainsi de suivre aisément la cinétique de la réaction. La fraction massique X de saccharose hydrolysé est égale au taux de variation du pouvoir rotatoire (éq. 2). L'ordre 1 de la réaction peut être vérifié et les constantes cinétiques peuvent être déterminées sur des temps compris entre 30 min et 2 h en fonction de la concentration en acide :

$$X = (\alpha_t - \alpha_0) / (\alpha_f - \alpha_0) \quad (\text{éq. 2})$$

Dans ce TP « maison », le four micro-onde domestique est utilisé pour chauffer rapidement la solution sucrée (quelques secondes à quelques minutes), comme on a l'habitude de le faire pour tout aliment contenant des molécules polaires telles que l'eau.

Présentation de l'outil de mesure

Principe de fonctionnement d'un polarimètre commercial à pénombre de Laurent

Dans un polarimètre classique de Laurent, une lumière monochromatique non polarisée passe au travers d'un polariseur puis d'un analyseur dont les axes sont orientés à 90° l'un de l'autre. Une cuve de solution à étudier est alors introduite entre polariseur et analyseur (figure 2). Si la solution est optiquement active (ie si elle possède un pouvoir rotatoire non nul), elle engendre une rotation du plan de polarisation de la lumière et une partie de l'intensité lumineuse est détectée après l'analyseur.

Afin de mesurer le pouvoir de rotation du liquide dans la cuve, l'utilisateur change l'orientation de l'analyseur pour annuler l'intensité lumineuse traversant le dispositif. Ainsi, l'angle de rotation lu sur l'analyseur correspond au pouvoir rotatoire de la solution présente dans la cuve. Connaissant le pouvoir rotatoire spécifique de la solution, la longueur d'onde du rayonnement et la longueur de la cuve, on peut alors facilement remonter à la concentration de la solution en utilisant la loi de Biot (éq. 1). Il est aussi bon de noter que, dans la plupart des polarimètres de Laurent, on ajoute une lame demi-onde après le polariseur afin d'augmenter la sensibilité du dispositif.

Vers un polarimètre « maison »

Pour que l'étudiant puisse suivre par polarimétrie la réaction d'hydrolyse du saccharose chez lui, il est nécessaire de mettre à sa disposition un polarimètre transportable et à faible coût fonctionnant sur le principe du polarimètre de Laurent.

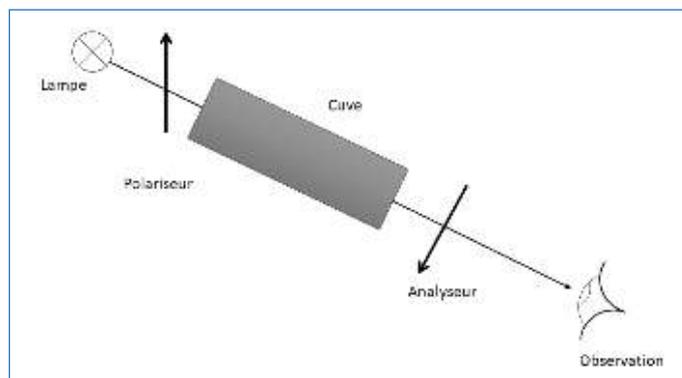


Figure 2 - Schéma de fonctionnement d'un polarimètre.

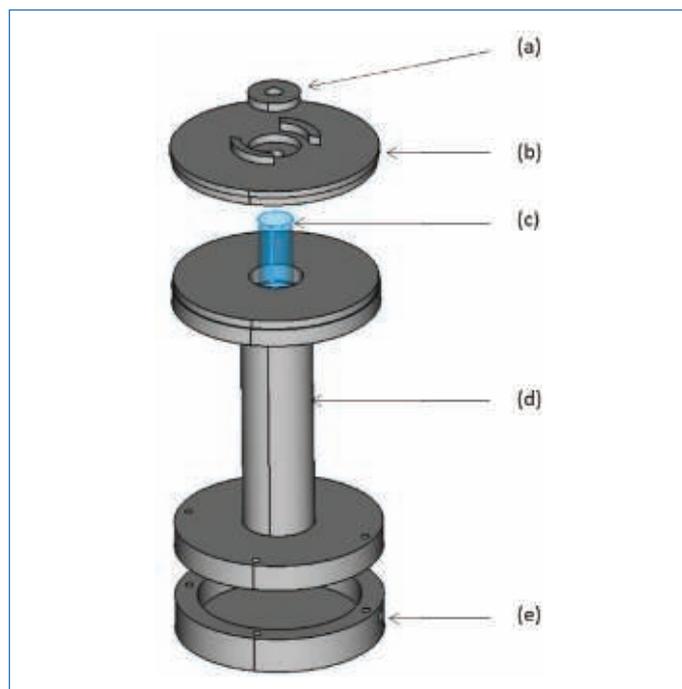


Figure 3 - Éléments constitutifs du polarimètre « maison » : (a) analyseur, (b) couvercle, (c) couvercle, (d) corps, et (e) socle du polarimètre.

Le polarimètre présenté ici est fabriqué en atelier par les étudiants au sein du département de physique ; il répond aux exigences précédemment citées (figure 3).

Pour ce faire, un compromis entre coût et précision a été réalisé sur chaque élément afin d'arriver à un instrument permettant une mesure de pouvoir rotatoire assez fiable pour suivre l'avancement d'une réaction telle que l'hydrolyse du sucre lors d'un TP de Licence.

La source de lumière que nous avons choisie d'utiliser est une LED jaune (LAMP 383-2UYC/S400-A9, 589 nm \pm 15 nm) ; nous avons ensuite choisi des films gélatines polariseurs et analyseurs. La cuve est remplacée par une éprouvette en verre simple à fond plat. Le châssis de l'appareil a été dessiné et conçu en atelier type Fablab par des étudiants de Licence de physique et imprimé en 3D en acide polylactique (PLA). Il comprend trois parties : le corps dans lequel est maintenue la cuve, en dessous de laquelle est fixé le polariseur. Sous le corps se visse un socle dans lequel se trouve le système d'éclairage sur pile ou batterie. Sur le corps s'emboîte un bouchon, percé, et possédant un logement dans lequel est positionné l'analyseur, afin d'observer au travers de ce dernier la lumière émise par la LED et passant par l'ensemble du dispositif (figure 3). Le système d'emboîtement du bouchon lui permet

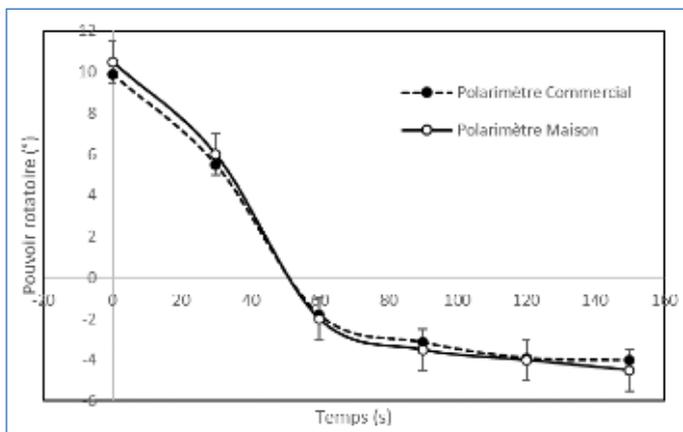


Figure 4 - Comparaison du pouvoir rotatoire obtenu entre polarimètres maison et commercial en fonction de la durée de traitement sous micro-onde à une puissance de 440 W et une concentration en acide citrique à 2 mol.L^{-1} .

de tourner indépendamment du corps afin de régler l'angle entre le polariseur et l'analyseur. Le coût total estimé de l'appareil est de 20 euros.

Le protocole opératoire de la mise en place de l'expérience et du suivi cinétique de l'hydrolyse du sucre de table est décrit dans l'annexe 1. La procédure d'utilisation du polarimètre est présentée dans l'annexe 2 et son protocole de fabrication est décrit dans l'annexe 3*.

Résultats et analyses

Les principaux résultats permettant de mettre en évidence que le TP d'hydrolyse du saccharose en milieu acide peut être réalisé et suivi au domicile de l'étudiant sont présentés ci-après.

Correspondance entre le polarimètre commercial et le polarimètre maison

Les mesures de pouvoir rotatoire des polarimètres maison et commercial, présentées dans la figure 4, montrent qu'il y a une forte correspondance entre les deux séries de données à l'incertitude près. D'autre part, les pouvoirs rotatoires mesurés correspondent bien aux valeurs théoriques calculées aux temps initial et final de la réaction si la durée de traitement n'excède pas 90 s dans les conditions de l'expérience. Au-delà de ce temps, l'évaporation de l'eau de la solution sucrée est observée. L'augmentation de concentration en sucre inverti conduit alors à des valeurs négatives plus grandes qu'attendues.

L'utilisation du four à micro-onde de cuisine

Les résultats présentés sur la figure 5 montrent que la cinétique de réaction peut être contrôlée sur des temps courts en fonction de la puissance du micro-onde. Pour une concentration en acide citrique égale à 2 mol.L^{-1} et une puissance du micro-onde fixée à 320 W, l'avancement maximal de la réaction est atteint en moins de 3 min. Une puissance plus élevée permet de raccourcir la durée de la réaction mais risque de provoquer une évaporation de l'eau. Comme vu sur la série de résultats présentés en figure 4, l'évaporation de l'eau explique l'obtention de valeurs absolues du pouvoir rotatoire supérieures à la valeur théorique.

En quelques essais chez soi, il est montré que le four à micro-onde permet de mettre en œuvre et de contrôler la réaction d'hydrolyse sur des temps d'expérience très courts sans

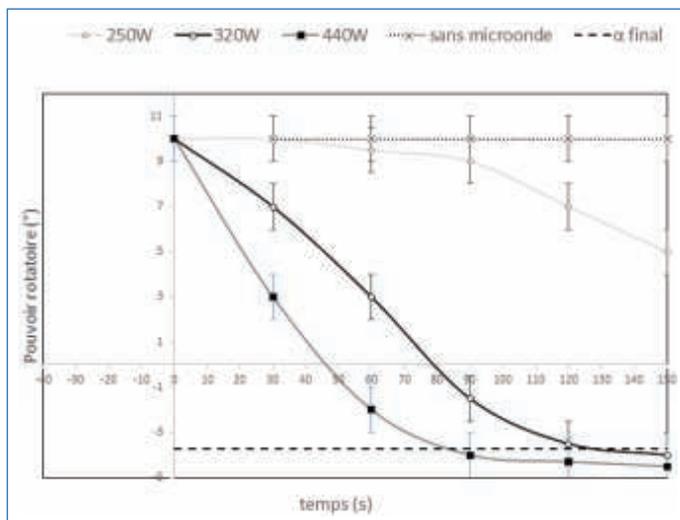


Figure 5 - Pouvoir rotatoire en fonction du temps obtenu pour différentes puissances de micro-onde, avec le polarimètre maison et pour une concentration en acide citrique à 2 mol.L^{-1} .

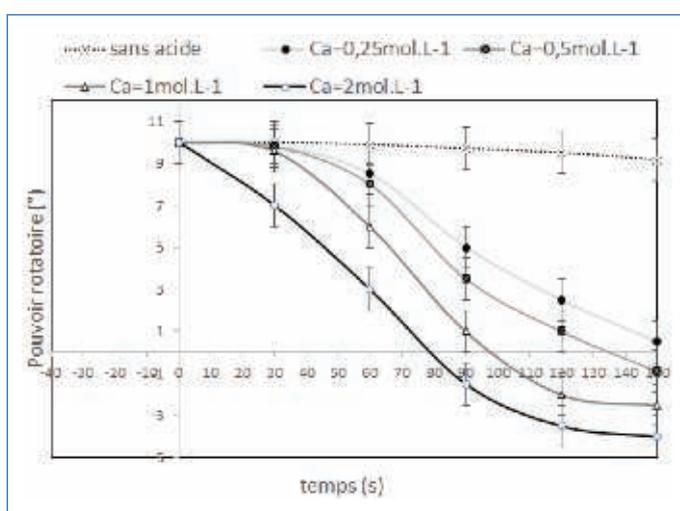


Figure 6 - Pouvoir rotatoire obtenu avec le polarimètre maison en fonction de la durée de traitement sous micro-onde à une puissance fixée à 320 W à différentes concentrations en acide citrique.

engendrer d'artefacts si les deux paramètres (puissance, temps) sont bien choisis.

Exemple de l'effet d'un paramètre sur la réaction

Une fois les conditions optimales de traitement sous micro-onde définies, l'effet d'autres paramètres, tels que l'effet de la concentration en acide citrique, peuvent être suivis avec le polarimètre maison. L'effet catalytique de l'acide sur l'avancement de la réaction est démontré en figure 6. Sans acide, l'hydrolyse totale du saccharose nécessite plusieurs heures ; sa cinétique est dite lente. En ajoutant l'acide, elle devient rapide : 2 minutes suffisent à former du sucre inverti. Cette troisième étape d'essais permet d'assoir le concept de ce TP à la maison et met en évidence toute sa potentialité pédagogique.

Mise en place de la séance de TP et retour d'expériences

L'organisation de la séance de TP et la définition des rôles est très similaire à celles d'un projet expérimental tutoré où l'étudiant entreprend et l'enseignant fixe le cadre et accompagne le questionnement.

Le rôle de l'étudiant est moteur ; il se charge de :

- vérifier que le TP peut se réaliser à la maison,
- programmer la séance d'essais,
- réserver auprès du département de chimie un kit (polarimètre maison, acide citrique),
- choisir une hypothèse de travail,
- établir un protocole,
- réaliser les expériences,
- interpréter et valider l'hypothèse de travail,
- rédiger un rapport d'expériences.

Le rôle de l'enseignant est celui de tuteur : il guide et apporte son soutien. Il définit la période d'essais avant, pendant et après laquelle il se charge chronologiquement de :

- exposer le sujet et le format du TP aux étudiants,
- construire l'espace de travail numérique associé,
- mettre à disposition les ressources tutorielles (vidéo + fiche descriptive),
- organiser la procédure de réservation du matériel,
- organiser des réunions d'avancement de projet,
- tutorer via un forum de discussion ou en animant des réunions d'avancement,
- réceptionner et corriger les rapports des étudiants,
- proposer une correction aux étudiants.

La faisabilité du concept a été testée sur un premier échantillon d'une quinzaine d'étudiants durant une période d'un mois avec deux kits de matériel en prêt. Cette expérience a été proposée en fin de semestre aux trente-cinq étudiants inscrits à l'UE « Interface Chimie Biologie » de la L2 Chimie de l'Université Jean Monnet sur la base du volontariat, en octroyant un bonus allant jusqu'à un point sur vingt sur la note de l'UE après évaluation du travail rendu. L'espace numérique de l'UE hébergé sur la plateforme « Moodle » a été enrichi par l'enseignant avec des ressources vidéos (supports théorique et pratique [9]) et des activités « sondage », « rendez-vous », « devoirs » et « feedback ». La possibilité de travailler en binôme a été permise, les groupes ont été créés en conséquence. Les kits de matériel (polarimètre et acide citrique) ont été retirés par les étudiants aux horaires convenus auprès du service technique du département de chimie pour des prêts d'une durée comprise entre trois à sept jours. Les délais de prêt et de compte-rendu ont été bien respectés et les polarimètres rendus en l'état. Les résultats du « feedback » montrent que 100 % des participants ont aimé mener un TP chez eux, 80 % d'entre eux ont préféré appliquer leur propre protocole à partir de l'hypothèse de travail choisie. Ils ont consacré entre une et deux heures.

La plus grande difficulté rencontrée par les étudiants a été de détecter le point d'extinction de la lumière sur le polarimètre maison. Pour faire face à ce problème, une nouvelle version du polarimètre dans lequel la détection de l'extinction se fera via le capteur de luminosité d'un smartphone est en train d'être développée. Les comptes-rendus ont été évalués de qualité très variable, peu satisfaisante à très satisfaisante. L'essai « témoin » a très souvent été omis dans la mise en œuvre des protocoles réalisés. Les résultats de ce premier test sur la mise en place d'un « TP à la maison » ont permis d'évaluer des niveaux de compétences plus larges et de révéler très clairement des points critiques de l'enseignement.

Pour aller plus loin...

Nous avons pu montrer qu'il est possible de transposer un TP classique de chimie organique de niveau Licence vers une

expérience DIY, de transformer aisément sa cuisine en une paillasse de laboratoire, et finalement de renforcer la confiance des étudiants vis-à-vis des approches pratiques en sciences.

Le TP présenté ici et ses objectifs peuvent être déclinés de différentes manières :

- détermination de la loi de vitesse de l'hydrolyse du saccharose,
- détermination du degré d'avancement de la réaction dans les différentes conditions expérimentales,
- évaluation de l'énergie nécessaire à la quantitativité de la réaction,
- comparaison de l'effet catalytique d'autres acides domestiques (vinaigres),
- estimation des propriétés organoleptiques du sucre inverti et comparaison avec d'autres édulcorants (sucralose, saccharine, stéviol...),
- proposition d'une méthode de mesure scientifique du pouvoir sucrant.

Ce qui nous conduit à proposer un autre titre pour ce TP DIY : « Un sucre inverti en vaut deux ».

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet ADESFA 2019-2021 « Tech-Lab campus d'Abomey-Calavi » co-financé par le Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères et le Fonds de solidarité ADESFA (« Appui au développement de l'enseignement supérieur français en Afrique ») – collaboration universitaire scientifique entre l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) et l'Université Jean Monnet, Université de Lyon (France).

* Le fichier des annexes est téléchargeable librement sur www.lactualitechimique.org (page liée à cet article).

[1] Compte-rendu de la conférence « Afrique : quelles perspectives pour l'enseignement supérieur et la recherche français ? », EducPros l'Étudiant, CD & B, 16 fév. 2018.

[2] F. Bell, E. McQuaid, M. Alistar, Alganyl: cooking sustainable clothing, *Diseña*, 2022, 20, art. n°4, <https://doi.org/10.7764/disena.20.Article.4>

[3] D. Lewis, History and perspective on DIY closed looping, *J. Diabetes Sci. Technol.*, 2019, 13(4), p. 790-793.

[4] G. Charpak, *La main à la pâte. Les sciences à l'école primaire*, Flammarion, 1996, www.livre-rare-book.com/book/5472345/128094 (consulté le 25 mars 2022).

[5] Fondation La main à la pâte, <https://fondation-lamap.org/> (consulté le 25 mars 2022).

[6] ADESFA - TP Hydrolyse du saccharose - Théorie, POD-UJM, <https://pod.univ-st-etienne.fr/video/0187-adesfa-tp-hydrolyse-du-saccharose-theorie/> (consulté le 18 mars 2022).

[7] M. Terrien, J. Fournier, *Chimie du petit déjeuner*, Cultures et Techniques, 1998, www.decitre.fr/livres/chimie-du-petit-dejeuner-9782951016859.html (consulté le 18 mars 2022).

[8] B. Fosset, J.-B. Baudin, F. Lahitète, Chapitre 7 – Configurations et conformations des molécules, *Chimie tout-en-un PCSJ* (4^e éd.), Dunod, 2016, p. 437.

[9] ADESFA - TP Hydrolyse du saccharose - Pratique, POD-UJM, <https://pod.univ-st-etienne.fr/video/0188-adesfa-tp-hydrolyse-du-saccharose-pratique/> (consulté le 18 mars 2022).

Théophile OLAYÉ¹, assistant de recherche, **M.W.Y. Ornelia Elodie DASSI¹**, ingénieure de conception en procédés, **Geoffroy BOKO²**, technicien de recherche, **Fifa T. Diane BOTHON³**, enseignante-chercheuse, **C. Pascal AGBANGNAN DOSSA¹**, enseignant-chercheur, **Clément A. KOUCHADE²**, enseignant-chercheur, **Baptiste MOINE^{4*}**, enseignant-chercheur, et **Corinne JÉGAT^{5*}**, enseignante-chercheuse.

¹École Polytechnique, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi (Bénin).

²Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi (Bénin).

³Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi (Bénin).

⁴Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire Hubert Curien, Saint-Etienne (France).

⁵Université de Lyon, Université Jean Monnet, Faculté des Sciences et Techniques, Saint-Etienne (France).

* corinne.jegat@univ-st-etienne.fr ;
baptiste.moine@univ-st-etienne.fr

Compléments à l'article « Comment faire de la cuisine un laboratoire de physique-chimie ? », par C. Jégat *et al.* (*L'Act. Chim.*, 2022, 476, p. 37)

Annexe 1 – Protocole expérimental de l'hydrolyse du sucre sous micro-onde suivie par polarimétrie

Le matériel et les produits utilisés dans ce TP sont présentés sur la figure 7.



Figure 7 - Présentation du plan de travail à la cuisine. En encart : polarimètre maison emprunté à l'établissement.

Matériel et produits

- Sucre de table et acide citrique (achetés en épicerie). L'utilisation de solutions aqueuses d'acide citrique est recommandée par rapport au jus de citron pour suivre la réaction sur un temps court (inférieur à 5 min). L'acide citrique est irritant, et même s'il n'est pas dangereux, il doit être manipulé avec précaution. Coût de l'acide citrique : environ 10 €/kg.
- Verrerie : un verre de mesure et trois verres de table.
- Deux petites cuillères.
- Thermomètre à sucres.
- Four micro-onde domestique : modèle Jeken WP700P17 (fréquence 2,45 GHz ; puissance 700 W ; consommation 1 22 W). Nous avons réglé la puissance de l'appareil à trois niveaux différents estimés à 250, 320 et 440 W. À plus forte puissance, la perte de masse de la solution est supérieure à 10 % dès les premiers temps de suivi.
- Balance de cuisine ou cuillère de mesure.
- Polarimètre maison avec une éprouvette de 10 cm de hauteur et 25 mm de diamètre.

Méthode

La température de la pièce est mesurée.

25 g de solution de saccharose à 300 g.L⁻¹ et 25 g d'eau ou de solution aqueuse d'acide citrique à une concentration comprise entre 48 et 384 g.L⁻¹ sont versés dans un verre. Le mélange est agité à la main puis rapidement placé dans le four à micro-onde. Le four est mis en marche à la puissance souhaitée ; le chronomètre est déclenché dans le même temps, (t_0).

À la fin de la programmation de chauffe marquant le temps final de la réaction (t_f), la température du mélange est mesurée et le mélange est laissé refroidir jusqu'à température ambiante. Le mélange est alors pesé puis en partie déversé dans l'éprouvette, qui est alors placée dans le polarimètre et le pouvoir rotatoire est mesuré.

L'expérience est renouvelée autant de fois que nécessaire sous différentes conditions de traitement sous micro-onde (puissance, temps) ou avec différentes concentrations en acide citrique en fonction de l'étude menée.

Avec une cuve de 1 dm, les pouvoirs rotatoires attendus d'une solution de saccharose à 150 g.L⁻¹ (0,438 mol.L⁻¹) et de la solution de sucre inverti correspondante (79 g.L⁻¹ de D-glucose et 79 g.L⁻¹ de D-fructose) sont respectivement égaux à + 9,98° et - 3,13° et calculés comme suit :

$$\text{- à } t_0, \alpha = 66,5 \cdot 1 \cdot 0,150 = 9,98^\circ$$

$$\text{- à } t_{final}, \alpha = -19,8 \cdot 1 \cdot 0,158 = -3,13^\circ.$$

Annexe 2 – Procédure d'utilisation du polarimètre maison (conçu et produit par impression 3D au département de physique)

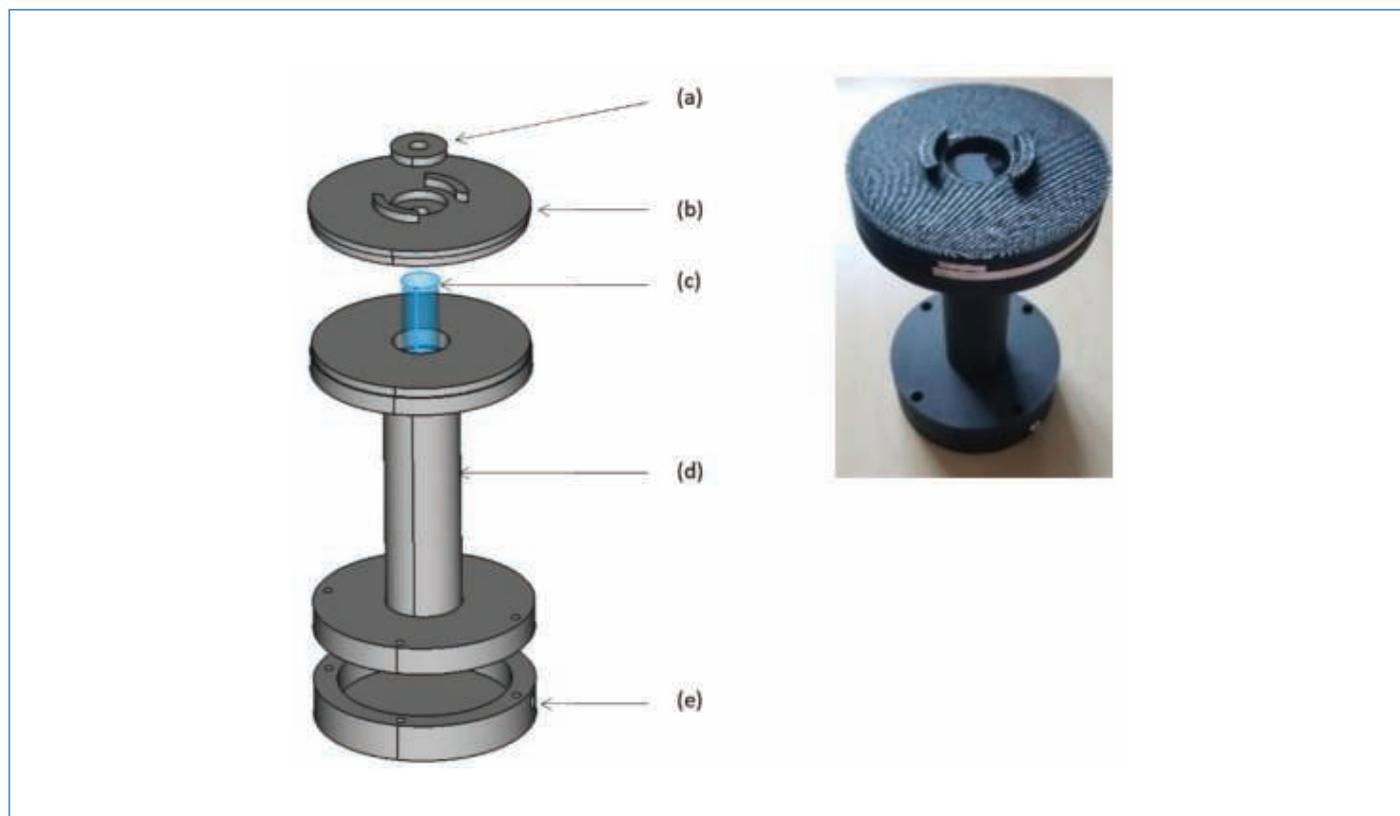


Figure 8 - Éléments constitutifs du polarimètre maison : (a) analyseur, (b) couvercle, (c) cuve, (d) corps, et (e) socle du polarimètre.

Le polarimètre est constitué :

- d'une source LED jaune (LAMP 383-2UYC/S400-A9, 589 nm \pm 15 nm),
- d'un polariseur et d'un analyseur en film gélatine,
- d'une éprouvette en verre à fond plat (c).

Le corps (d) permet de maintenir la cuve, sous laquelle est fixé le polariseur. Sous le corps se visse un socle (e) dans lequel se trouve le système d'éclairage sur pile ou batterie. Sur le corps s'emboîte un bouchon (b), percé, et disposant d'un logement dans lequel on vient disposer l'analyseur (a) (figure 8).

L'observation de la lumière émise par la LED et passant par l'ensemble du dispositif se fait au travers de l'analyseur.

Le fonctionnement du polariseur est relativement simple et proche du fonctionnement d'un polarimètre de Laurent classique. Préparer au moins 50 mL de solution sucrée (eau ou solution acide + sucre).

1. Faire le zéro de l'appareil sur l'eau.

- Remplir la cuve d'eau jusqu'au niveau marqué par le bas du scotch puis l'introduire dans le corps de l'appareil.
- Positionner le couvercle sur le corps du polarimètre, puis l'analyseur dans son logement, sur le couvercle.
- Allumer la lumière LED au moyen de l'interrupteur sur le côté du socle.
- Fixer le couvercle à la graduation zéro en positionnant le centre de la graduation du couvercle face au centre de la graduation du corps.
- Tourner l'analyseur (en laissant fixe le couvercle afin que la graduation reste à zéro) jusqu'à l'extinction de la lumière (orange).
- Enlever délicatement l'ensemble couvercle-analyseur afin que l'analyseur reste en place dans son logement.

2. Mesure de l'angle de rotation de la solution à tester.

- Remplir la cuve de la solution à tester jusqu'au niveau marqué par le bas du scotch puis l'introduire dans le corps de l'appareil.
- Reposer délicatement l'ensemble couvercle-analyseur en se repositionnant sur la graduation « zéro ».
- Regarder en direction de la lumière et tourner l'ensemble couvercle-analyseur jusqu'à l'extinction de la lumière (orange au violet).
- Relever le nombre de graduations parcourues par l'ensemble couvercle-analyseur (nouvelle position du centre de l'échelle du couvercle sur la graduation du corps). Notez que si vous avez tourné l'ensemble couvercle-analyseur dans le sens des aiguilles d'une montre, la solution est dextrogyre ; dans le sens inverse la solution est lévogyre.
- Enlever délicatement l'ensemble couvercle-analyseur.
- Vider et rincer la cuve.

Annexe 3 – Procédure de fabrication du polarimètre maison

Le polarimètre utilisé pour le suivi de l'hydrolyse du saccharose a été réalisé dans le cadre d'un stage de Licence 3, au sein du FabLab du département de physique. Tous les éléments nécessaires pour le reproduire se trouvent en partage sur le lien suivant : www.thingiverse.com/thing:5410331

Matériel nécessaire pour le montage du polarimètre

- Les quatre pièces constitutives du polarimètre (*figure 8*) : porte analyseur, bouchon, corps et socle, toutes imprimées en PLA (acide polylactique) sur une imprimante 3D.
- Une cuve en verre à fond plat de 150 mm de hauteur et 25 mm de diamètre.
- Deux disques de film gélatine polarisant de 20 mm de diamètre.
- Quatre écrous à visser M4.
- Quatre vis M4.
- Deux bandes de papier millimétré plastifié de 5 mm de large, une de longueur 80 mm, l'autre de longueur 20 mm.
- Une carte pour microcircuit vierge de 30 mm x 30 mm.
- Une LED jaune (LAMP 383-2UYC/S400-A9).
- Un interrupteur à bascule.
- Une résistance de 350 Ω .
- Pistolet à colle.

Montage de la partie électrique

Le montage électrique du système d'éclairage du polarimètre est très simple. Il s'agit de placer en série la pile, la LED jaune, la résistance de 350 Ω afin de protéger la LED tout en optimisant son éclairage et l'interrupteur. La LED et la résistance sont montées et soudées sur une carte microcircuit vierge.

Assemblage du polarimètre

Avant de commencer l'assemblage, il est nécessaire d'avoir imprimé l'ensemble des quatre pièces principales (porte-analyseur, bouchon, corps et socle). Suivre ensuite la procédure ci-après :

- Insérer un disque de film gélatine polarisant dans le porte analyseur.
- Coller au fond de la cavité du corps le second disque film gélatine polarisant.
- Coller sur la partie basse de la tranche du bouchon la petite bande de papier millimétré plastifié.
- Coller sur la partie haute de la tranche du corps la grande bande de papier millimétré plastifié.
- Monter le circuit en positionnant l'interrupteur dans la cavité transversale réservée à cet effet dans le socle (*figure 9*).
- Visser les quatre écrous dans les cavités réservées à cet effet sur le pourtour de la face inférieure du corps.
- Insérer la LED jaune dans la cavité réservée à cet effet au centre de la face inférieure du corps et la fixer au pistolet à colle.
- Refermer le socle en prenant garde de ne pas coincer les fils connectant la pile ou l'interrupteur.
- Visser le socle sur le corps au moyen des quatre vis M4. Le polarimètre est alors prêt à l'utilisation.

Temps d'impression : 20 heures environ pour les quatre pièces.

Temps de montage : 2 heures.

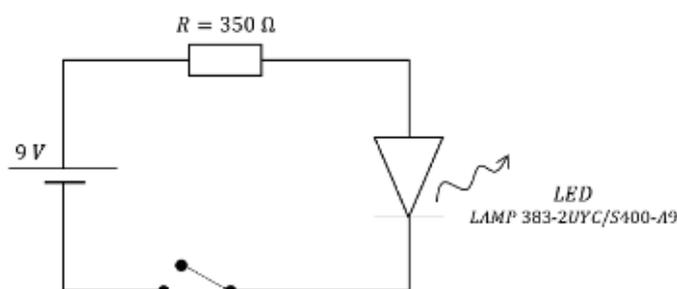


Figure 9 - Système d'éclairage du polarimètre.