

Option PCST

CHIMIE VERTE & DEVELOPPEMENT DURABLE



Fascicule de Travaux Pratiques

Enseignant (cours/TD et TP)

Pierre-Etienne ROUET pierre-etienne.rouet@universite-paris-saclay.fr

Remarques générales à lire impérativement !

LE PORT DE LA BLOUSE, DES LUNETTES ET DES GANTS EST OBLIGATOIRE EN SALLE DE TP

Cette option se déroule sur 8 séances :

- 3 séances dédiées aux cours et exercices d'application + consignes de sécurité
- 4 séances consacrées aux TP
- 1 séance de contrôle des connaissances

Durant ces TP, vous effectuerez des expériences de chimie verte, ces dernières relevant toutes de principes physico-chimiques que vous aurez à expliquer.

Règles au laboratoire :

- Déposer toutes ses affaires (manteau, veste, sac, ...) au fond de la salle de TP
- N'apporter sur la paillasse de travail que le matériel nécessaire (feuilles, trousse, calculatrice, règle)
- Avoir sa blouse en coton et ses lunettes de protection (aucun prêt ne sera envisagé)
- Avoir les cheveux longs attachés, sous la blouse, ainsi que le foulard
- Ne pas boire ni manger dans la salle de TP et ne pas apporter de bouteille / gourde sur la paillasse
- Travailler dans le calme et proprement
- Nettoyer la verrerie au sol s'il y a de la casse
- Prendre soin du matériel et de la verrerie
- Se renseigner sur les produits chimiques utilisés (toxicité, risques, ...) et agir en fonction
- Avertir rapidement l'enseignant en cas de souci, malaise ou trouble durant la séance
- Attendre les consignes collectives en cas d'incident majeur

En fin de manipulation :

- Rincer toute la verrerie à l'acétone dans le bidon « organique » puis à l'eau du robinet
- Jeter les déchets dans les poubelles adéquats (déchets solides, liquides, souillés ou non)
- Nettoyer les paillasses et montrer votre poste de travail à l'enseignant
- Nettoyer les parties communes

Le non-respect de ces règles entraînera automatiquement une sanction sur les notes des comptes rendus de TP.

Les manipulations de Travaux Pratiques sont obligatoires. En conséquence, toute absence non justifiée à un TP empêche l'attribution d'une note finale. En cas d'absence prévisible et **justifiée**, l'étudiant **en accord avec l'enseignant** doit venir à une autre séance. Les **TP** se font en **binôme**. Un **compte rendu** est remis à l'enseignant à la fin de la séance.

COMMENT REDIGER UN COMPTE RENDU DE TRAVAUX PRATIQUES ?

Un compte rendu de TP doit permettre à quelqu'un qui n'a jamais lu ni fait le TP de comprendre ce que vous avez fait et pourquoi vous l'avez fait. Le compte-rendu ne doit pas être un plagia du protocole qui vous a été distribué en début de séance. Nous ne demandons pas de rédactions longues (type dissertation), un beau schéma et une courte explication pertinente valent mieux qu'un long discours.

N°1 : titre du TP

Commencez par mettre un titre à votre TP, en général ce titre est déjà présent sur le photocopié donné par l'enseignant.

N°2 : introduction - objectif du TP

Ecrire en quelques mots ce que vous allez chercher à faire dans ce TP et pourquoi.

N°3 : hypothèse(s) retenue(s)

Ecrire le plus clairement possible vos idées permettant de répondre à l'objectif du TP. Prévoyez dans cette étape les expériences permettant de vérifier vos idées, vous pourrez ainsi lister le matériel principal dont vous aurez besoin.

N°4 : liste du matériel

Rédiger la liste du matériel dont vous avez besoin.

N°5 : expérience

Faire attentivement les expériences.

N°6 : schéma de l'expérience

Faire le ou les schémas des expériences que vous avez faites afin de vérifier vos hypothèses. Expliquer les étapes s'il y en a (dans ce cas commencer chaque étape par un verbe à l'infinitif). Les schémas doivent être clairs, de taille raisonnable, à la règle et propres.

N°7 : observation et interprétation

Vos expériences vous ont-elles permis de conclure quant à vos hypothèses ? Expliquez.

Remarque : Vous pouvez rectifier vos hypothèses si besoin. Avoir une hypothèse fausse n'est pas une erreur mais laisser une hypothèse fausse en est une !

Attention à ne pas confondre observation et interprétation : j'observe que ... (c'est l'observation) donc j'en conclus que ... (c'est l'interprétation).

N°8 : conclusion générale

Faire une conclusion, elle représente un résumé de ce que l'on a découvert en TP. Elle doit être courte et doit répondre aux objectifs fixés dans le n°2.

TABLES DE DONNÉES SPECTROSCOPIQUES

Infrarouge

Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) repose sur l'absorption de la lumière par la plupart des molécules dans la région de l'infrarouge du spectre électromagnétique et en convertissant cette absorption en vibration moléculaire. Cette absorption correspond spécifiquement aux liaisons présentes dans la molécule. Avec un spectromètre, cette absorption du rayonnement infrarouge par le matériau de l'échantillon est mesurée en fonction de la longueur d'onde (sous la forme de nombres d'onde, typiquement de 4000 à 600 cm^{-1}).

Le résultat est un spectre qui donne une "empreinte chimique" distinctive qui peut être utilisée pour visualiser et identifier des échantillons organiques et inorganiques.

Table spectroscopique IR simplifiée :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H alcool libre	3500 - 3700	forte, fine
O-H alcool lié	3200 - 3400	forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large
N-H amine	3100 - 3500	moyenne
N-H amide	3100 - 3500	forte
N-H amine ou amide	1560 - 1640	forte ou moyenne
C _{tri} - H	3000 - 3100	moyenne
C _{tét} - H	2800 - 3000	forte
C = O ester	1700 - 1740	forte
C = O amide	1650 - 1740	forte
C = O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C = O acide	1680 - 1710	forte

Remarque :

C_{tri} signifie que l'atome de carbone est trigonal, c'est-à-dire relié à trois voisins.

C_{tét} signifie que l'atome de carbone est tétraédrique, c'est-à-dire relié à quatre voisins.

Utilisation du banc Kofler pour mesurer une température fusion

La prise du point de fusion d'un solide au banc Kofler, c'est à dire la mesure de sa température de fusion, est rapide et simple à mettre en œuvre. C'est pourquoi cette mesure est un critère de pureté très répandu au laboratoire. En effet, un produit pur présente un point de fusion bien net : la transition solide-liquide a lieu sur un intervalle de moins d'un degré. En revanche, un produit impur présente une transition moins nette, à une température toujours différente de la température de fusion du produit pur. Ce résultat général est prévu par la thermodynamique.



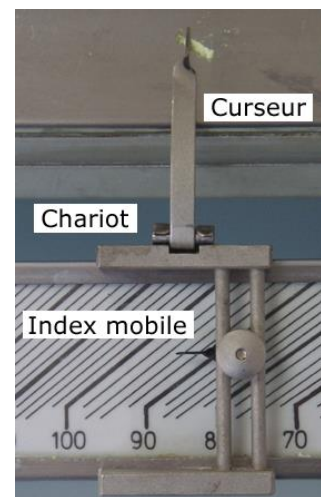
Le banc Kofler est avant tout une plaque chauffante, il est donc impératif de respecter les précautions suivantes :

- Il doit être manipulé sans gants. En effet, un contact, même furtif, des gants en latex avec la partie chaude de la plaque peut les faire fondre sur la peau et provoquer des brûlures importantes.
- Il doit être placé loin des solvants volatils et inflammables.
- Il faut le placer à l'abri des courants d'air, loin des fenêtres et des portes en particulier.

Le banc Kofler doit être allumé 30 à 45 minutes avant la mesure, ceci afin de permettre l'établissement du gradient de température le long de la plaque.

Pour effectuer la mesure, on commence par un étalonnage :

- Déposer une pointe de spatule de solide sec étalon finement broyé (dont la température de fusion est proche de celle du produit étudié) à droite du banc (zone froide).
- Déplacer le solide assez lentement vers la gauche en formant une diagonale pour laisser l'équilibre thermique entre le solide et la plaque s'établir.
- Repérer la température de fusion à l'apparition de la première goutte de liquide (on la relève en déplaçant horizontalement le chariot jusqu'à ce que le curseur soit à la frontière entre solide et liquide. La température de fusion est alors indiquée par l'index mobile. L'œil est à la verticale de l'index pendant la lecture pour éviter l'erreur de parallaxe (cf. photo ci-dessous). Une fois l'index positionné, il ne faut plus y toucher.
- Une fois la température de fusion du solide étalon relevée, nettoyer la plaque en deux temps : on déplace d'abord le liquide et le résidu solide vers la zone froide puis vers l'extérieur du banc avec un coton sec.
- Déposer une pointe de spatule de solide étudié aux alentours de sa température de fusion (sur le versant froid).
- Répéter les opérations précédentes jusqu'à observation de la fusion du solide.
- Placer le curseur à cette frontière solide-liquide et lire la température de fusion à l'aide de l'index.
- En fin de manipulation, nettoyer la surface parcourue lors de la mesure avec un coton imbibé d'une faible quantité d'éthanol. Il faut éviter de déplacer le résidu vers la zone chaude pour plusieurs raisons : cela peut carboniser le produit sur la plaque et y laisser des traces indélébiles. Cela peut également vaporiser le produit dont les vapeurs peuvent être toxiques. Avant d'entreprendre une nouvelle mesure, on prend soin de vérifier que le banc est revenu à l'équilibre thermique.



TP 1 : Synthèse d'une chalcone sans solvant

Réaction de Claisen (aldolisation-crotonisation) : synthèse d'une chalcone

Manipulations commentées de chimie organique – Jacques Drouin

Liste du matériel	Liste des produits chimiques
Mortier + pilon Spatule Pompe à vide Fiole à vide Buchner Papier filtre rond adapté pour Buchner Papier filtre Verre de montre Ballon monocol 50 mL Réfrigérant à eau + tuyau Chauffe ballon avec agitation + support Agitateur magnétique Balance	4-méthoxybenzaldéhyde (CAS 123-11-5) 4'-méthylacétophénone (CAS 122-00-9) Hydroxyde de sodium (en pastilles) Ether Ethanol 95% Eau distillée

Mode opératoire

- Dans un mortier en porcelaine, placer 680 mg de 4-méthoxybenzaldéhyde, 670 mg de 4-méthylacétophénone et 200 mg d'hydroxyde de sodium solide.
- Broyer le mélange avec un pilon pendant 5 à 10 minutes jusqu'à ce que le mélange se solidifie, change de couleur et se morcelle en petits fragments.
- Ajouter 10 mL d'eau distillée et mélanger le tout en récupérant le maximum de produit présent sur les parois du mortier à l'aide d'un pilon ou d'une spatule.
- Filtrer la suspension à l'aide d'un verre fritté ou d'un filtre Büchner et rincer le mortier et le pilon avec 5 mL d'eau distillée qui sont aussi filtrés. Laver le solide avec une nouvelle fois 5 mL d'eau distillée, tasser avec un papier filtre par-dessus et laisser sécher sous pression réduite pendant 10 min.
- Peser le solide obtenu.

Purification par recristallisation

- Recristalliser le solide à chaud dans l'éthanol à 95%. Placer le solide et un minimum d'éthanol dans un ballon monocol de 50 mL surmonté d'un réfrigérant à eau et chauffer le mélange jusqu'à solubilisation du solide. Ajouter de l'éthanol si nécessaire. Attention de ne pas trop mettre d'éthanol au risque de ne pas pouvoir observer la recristallisation.
- Un fois la solubilité atteinte, arrêter le chauffage et laisser refroidir doucement.
- Filtrer la suspension à l'aide d'un verre fritté ou d'un filtre Büchner et rincer le ballon avec 5 mL d'eau distillée froide.
- Le produit obtenu doit être sous forme de poudre jaune brillante.
- Peser le solide obtenu.
- Mesurer la température de fusion du solide sur le banc Kofler.
- Réaliser le spectre IR du produit obtenu et le comparer à ceux des réactifs.
- Réaliser une CCM (éluant pentane/éther : 2/1) et révéler sous UV.

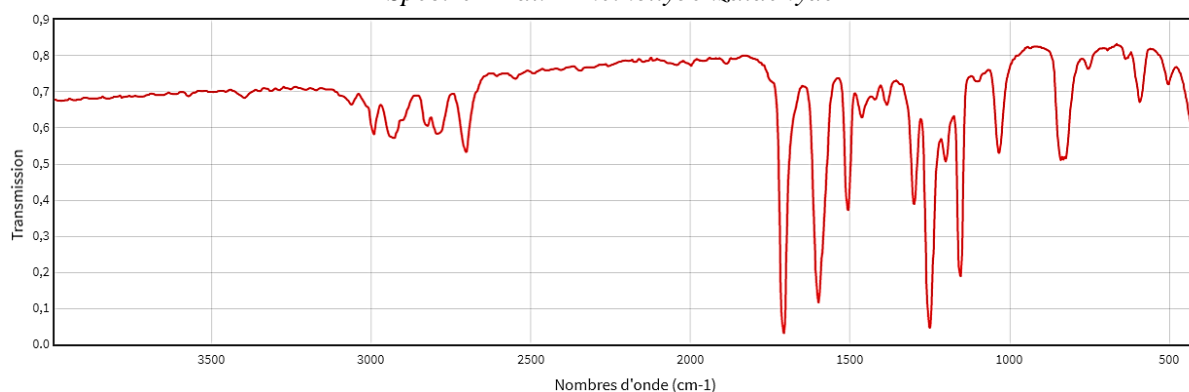
Travail à effectuer

- Compléter ce tableau :

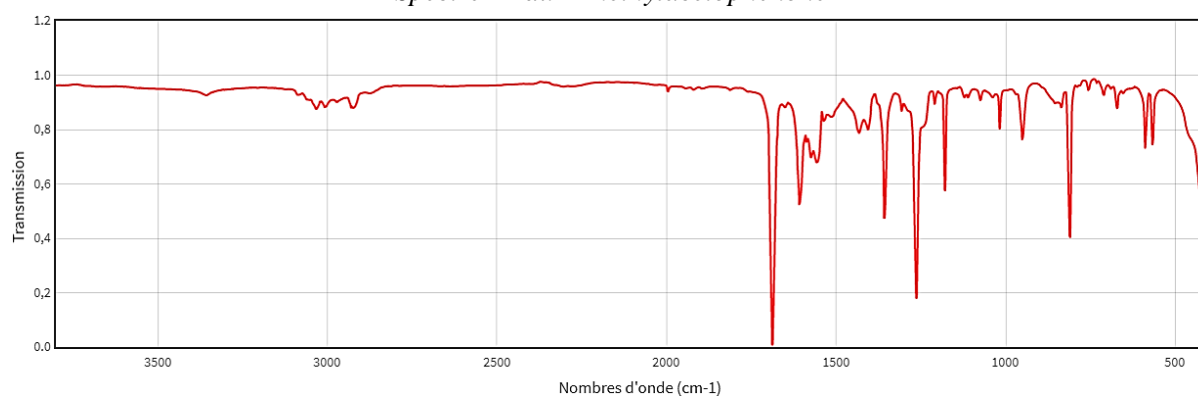
Réactifs	M (en g.mol ⁻¹)	Densité	m (en g) ou V (en mL)	n (en mol)
4-méthoxybenzaldéhyde (Structure topologique)				
4-méthylacétophénone (Structure topologique)				
Hydroxyde de sodium (Structure)				
Produit obtenu (Structure topologique)				

- Calcul du rendement de la réaction avant et après recristallisation.
➤ Calculer l'U.A de cette réaction ainsi que le *facteur E*.
➤ Caractérisation en I.R des réactifs et du produit obtenu.
➤ Détermination de la température de fusion du produit obtenu (*litt.* 94-96°C).
➤ Caractérisation par CCM (éluant pentane/éther : 2/1) et révélation sous UV.
➤ Déterminer le mécanisme de la réaction effectuée.

Spectre IR du 4-méthoxybenzaldéhyde



Spectre IR du 4-méthylacétophénone



TP 2 : Synthèse d'une colle à papier à partir de réactifs verts

Extraction de la caséine du lait

Chimie du petit déjeuner – Marie Terrier & Josette Fournier

Les caséines sont des protéines qui constituent la majeure partie des composants azotés du lait. La première phase de la fabrication du fromage est leur précipitation par adjonction d'un acide (ou de présure). Le mot caséine est issu du latin caseus, « fromage ».

Liste du matériel	Liste des produits chimiques
Bécher 250 mL Agitateur magnétique Plaque chauffante magnétique Thermomètre Papier pH Spatule Pompe à vide Fiole à vide Buchner Papier filtre rond adapté pour Buchner Papier filtre Verre de montre Erlenmeyer 50 mL Balance	Lait Acide éthanoïque 10% vol. Acétone Hydroxyde de calcium Carbonate de calcium Eau distillée

Mode opératoire

- Prélever 100 mL de lait et l'introduire dans un bécher de 250 mL.
- Faire chauffer ce lait, tout en remuant modérément avec une baguette en verre (jusqu'à environ 40°C).
- Toujours en remuant modérément, ajouter petit à petit de l'acide éthanoïque à 10% vol., de manière à ce que le pH atteigne 4,6. On peut toujours vérifier le pH avec un pH-mètre ou un papier pH.
- Filtrer ce que l'on obtient sous Büchner jusqu'à l'obtention d'une poudre humide blanchâtre.
- Mettre le précipité dans un bécher et ajouter environ 10 ml d'acétone.
- Agiter et essorer de nouveau.
- Sécher la caséine au maximum en la pressant entre deux papiers filtres ou papiers absorbants.
- Afin de préparer la colle de caséine, mélanger dans un erlenmeyer environ 5 g de caséine précédemment obtenue avec 1,5 g d'hydroxyde de calcium et 0,7 g de carbonate de calcium.
- Ajouter 4 ml d'eau distillée et agiter jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.
- Faire un essai de collage avec deux morceaux de papier ou de carton.

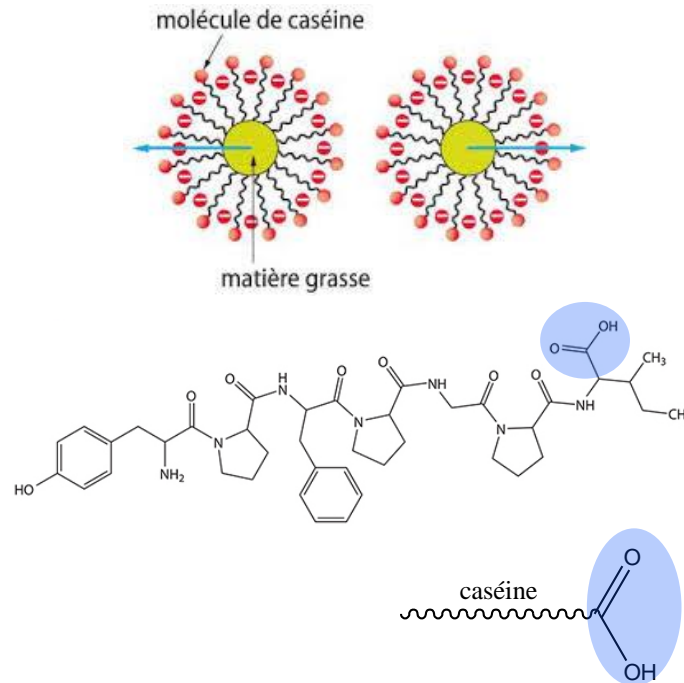
Travail à effectuer

- Expliquer les différentes étapes chimiques de ces processus (« déstructuration » du lait puis réaction vers la formation d'une colle de caséine).
- Que trouve-t-on dans la phase organique ?
- Que trouve-t-on dans la phase aqueuse acidifiée ?

- Quelle réactivité il y a-t-il entre la caséine obtenue et l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$?
- Représenter l'état colloïdal « gel » sous forme d'un schéma.

Données

- La matière grasse du lait est composée majoritairement de triglycérides (molécules à longues chaînes carbonées hydrophobes).
- La caséine est une molécule qui possède une fonction $-\text{COOH}$ et une longue chaîne hydrophobe comme sur le schéma ci-dessous.



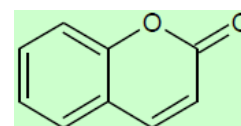
- Le caséinate de calcium dans l'eau forme un état colloïdal nommé « gel » car ce composé ne se solvate pas bien dans l'eau. Il s'agit d'un réseau solide amorphe au sein duquel le solvant est dispersé.

TP 3 : Synthèse verte d'un dérivé de la coumarine

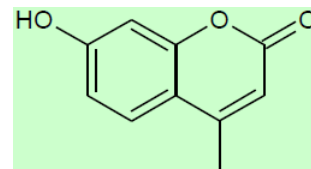
Green synthesis of a Fluorescent Natural Product

Douglas M. Young, Jacob J. C. Welker, and Kennett M. Doxsee. *Journal of Chemical Education* Vol 88 N°3 March 2011 p319-321

La coumarine est cette molécule représentée ci-contre. On trouve, dans la nature, de nombreux dérivés de la coumarine. Ils sont utilisés dans le domaine de la parfumerie (odeur de foin coupé) ou dans l'industrie pharmaceutique.

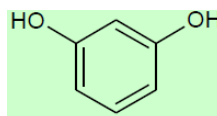
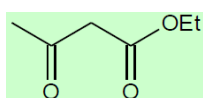


Cette synthèse « verte et rapide » est celle de la 4-méthylumbelliférone représentée ci-contre. Cette molécule est également fluorescente : excitation dans l'UV et émission dans le bleu en milieu basique, le violet en milieu neutre et le vert en milieu acide. Vous vérifierez cette propriété en fin de synthèse.



La synthèse « classique » se fait dans le toluène au reflux avec de l'acide sulfurique et des dérivés du phosphore.

On réalise un mélange quasiment équimolaire de 3-oxo butanoate d'éthyle liquide et de résorcinol solide (1,3-diphénol), représentés ci-dessous.



On introduit également une résine acide (Amberlit IRN 77), qui catalyse la réaction. Le simple chauffage de ces trois constituants déclenche la réaction qui est achevée en une vingtaine de minutes.

Liste du matériel	Liste des produits chimiques
2 * Plaque chauffante Sabots de pesée (ou coupelles en plastique) Balance 2 * Erlenmeyer 25 mL Erlenmeyer 50 mL Erlenmeyer 100 mL Pipette jaugée 1 mL Pincettes et noix Baguette en verre Spatule Cristallisateur pour bain eau glacée Pompe à vide Fiole à vide Verre fritté (si possible, sinon Buchner et papier filtre) Verre de montre 4 tubes à essais 3 pipettes plastiques 3 mL Lampe UV 360 nm Banc Kofler	Résorcinol solide (1,3-diphénol) (CAS 108-46-3) 3-oxobutanoate d'éthyle (CAS 141-97-9) Résine acide (Amberlite IRN-77) Ethanol Eau distillée Solution de HCl dilué (10^{-3} M) Solution de carbonate de sodium 10% mass. Solution d'hydrogénocarbonate de sodium 10% mass.

Mode opératoire

- Allumer la plaque chauffante.
- Peser séparément 800 mg de résorcinol dans un petit sabot de pesée et 1 g de résine Amberlit IRN 77 dans un grand sabot de pesée.
- Verser les dans le petit erlenmeyer de 25 ml et ajouter 1,0 ml de 3-oxobutanoate d'éthyle prélevé à la pipette jaugée.
- Le mélange est déposé sur la plaque. Vous pouvez maintenir l'erlenmeyer avec les doigts (mais attention à la plaque !).
- En même temps, faire chauffer 15 mL d'éthanol dans un erlenmeyer de 25 et 40 ml d'eau dans un erlenmeyer de 100 mL. Le chauffage déclenche la réaction qui se signale par des légères émissions de bulles.
- Mélanger régulièrement le milieu réactionnel avec une baguette de verre. Le mélange se solidifie en fin de réaction (comme un caramel en train de prendre). Il faut compter une bonne vingtaine de minutes de chauffage pour arriver en fin de synthèse.
- Ajouter alors prudemment environ 2 à 3 mL d'éthanol chaud pour dissoudre la coumarine (sans mesurer précisément sinon il va refroidir). La résine restera insoluble (ce qui est un avantage car elle peut resservir plusieurs fois (économie « verte »)).
- Transférer le liquide surnageant dans un erlenmeyer propre de 50 mL (n'entraînez pas de résine).
- Rincer la résine avec environ 2 mL d'éthanol et transférez l'éthanol dans l'erlenmeyer propre.
- Tout en maintenant le liquide au chaud, introduire prudemment de l'eau chaude jusqu'à observer un léger trouble dans le liquide (amorçage de la précipitation de la coumarine ; il faut une vingtaine de mL d'eau avant que l'aspect trouble, laiteux, persiste).
- Laisser alors le liquide refroidir sur la paillasse puis dans un bain de glace.
- Filtrer sur verre fritté (ou Büchner) et rincer le solide (filtré) avec quelques mL d'eau.
- Sécher au maximum le solide et mesurer sa masse et sa température de fusion (*température de référence 185-187°C*).

Caractérisation de la fluorescence

- Dissoudre une pointe de spatule de votre coumarine dans 10 mL d'alcool.
- Répartir ce volume dans trois petites tubes à essais.
- Verser dans le premier 1 mL de HCl dilué.
- Verser dans le deuxième 2 mL de carbonate de sodium à 10% en masse.
- Verser dans le dernier 2 ml de solution de bicarbonate à 10% en masse.
- Eclairez en UV (360 nm) et observer.

Si vous avez manipulé proprement, vos mains ne doivent pas être fluorescentes par éclairage UV ! A vérifier...

Travail à effectuer

- Compléter ce tableau :

Réactifs	M (en g.mol ⁻¹)	Densité	m (en g) ou V (en mL)	n (en mol)
...				
...				
...				
Produit obtenu (Structure topologique)				

- Ecrire l'équation-bilan de cette synthèse.
- Déterminez le rendement de la synthèse.
- Calculer le facteur E de votre synthèse. Conclusion ?
- Calculer l'utilisation atomique UA de votre synthèse. Conclusion ?
- Quelle est l'origine des bulles observées ?
- Expliquez les rôles des solvants alcool et eau utilisés dans cette synthèse (contrairement à la synthèse d'origine qui utilise du toluène).

TP 4 : Optimisation de procédé – estérification avec déplacement d'équilibre

Synthèse de l'éthanoate d'isoamyle par catalyse acide

La chimie expérimentale : chimie organique et minérale – Romain Barbe & Jean-François Le Maréchal

Un expérimentateur souhaitant synthétiser un produit chimique recherche les conditions expérimentales optimales pour réaliser la réaction : quel état initial du système lui garantit un rendement maximal dans l'état final ? Déplacer l'équilibre d'une réaction consiste à modifier un ou plusieurs paramètres de façon à favoriser la formation d'un produit désiré. En chimie organique, cela correspondra la plupart du temps à jouer sur la température, la concentration ou la mise en excès d'un réactif ou en défaut d'un produit. L'expérimentation proposée ci-dessous se situe dans ce dernier cas. Il s'agit de déplacer l'équilibre d'estérification en éliminant l'eau au fur et à mesure de sa formation. Le dispositif utilisé s'appelle un tube décanteur de Dean-Stark. Son fonctionnement repose sur le principe de la distillation d'un hétéroazéotrope. Il s'agit ici de l'hétéroazéotrope eau / cyclohexane.

Liste du matériel	Liste des produits chimiques
Appareil de Dean-Stark Bicol 100 mL Entonnoir en verre Barreau aimanté Chauffe-ballon (drysin) avec agitation + support Pincettes et noix Ampoule à décarter Erlenmeyer 100 mL Papier filtre plissé pour entonnoir Spatules Micro-ondes pour synthèse	Cyclohexane 3-méthylbutan-1-ol Acide éthanoïque pur Acide paratoluènesulfonique (APTS) solide Solution de NaHCO ₃ saturée Eau distillée Sulfate de sodium anhydre

Mode opératoire

Le facteur cinétiquement déterminant de cette réaction est l'élimination de l'eau. Celle-ci est favorisée si le milieu réactionnel bout fortement (bain chauffant à 130 °C), et si la vapeur produite par ce chauffage ne se condense pas avant d'atteindre le tube décanteur. Pour cela, il est recommandé de calorifuger le tube de verre qui amène les vapeurs au tube latéral en le recouvrant de papier aluminium.

- Assembler l'appareil de Dean-Stark avec un ballon bicol de 100 mL.
- Remplir de cyclohexane le collecteur latéral.
- En utilisant un entonnoir, introduire par le col latéral du ballon 11,0 mL de 3-méthylbutan-1-ol, 6,0 mL d'acide éthanoïque et 15 mL de cyclohexane.
- Retirer l'entonnoir et ajouter une pointe de spatule d'acide paratoluènesulfonique (APTS) solide.
- Mettre à reflux (bain d'huile à 130°C).
- Calorifuger (avec une feuille d'aluminium par exemple) le tube en verre qui conduit les vapeurs vers le réfrigérant à eau.
- Observer que le liquide qui se forme dans la partie latérale du Dean-Stark forme deux phases.

- Quand le volume d'eau recueilli est stable (au bout de 45 minutes à une heure), arrêter le chauffage.
- Mesurer le volume d'eau.
- Verser le mélange dans une ampoule à décanter et laver la phase organique avec 20 mL d'eau distillée. Récupérer la phase organique dans un erlenmeyer et y ajouter 20 mL d'une solution saturée d'hydrogénocarbonate de sodium.
- Agiter et séparer les deux phases à l'aide de l'ampoule à décanter.
- Sécher la phase organique sur sulfate de sodium anhydre.
- Filtrer par gravité et évaporer le cyclohexane sous pression réduite dans un ballon taré.
- Peser le brut de réaction et calculer le rendement.

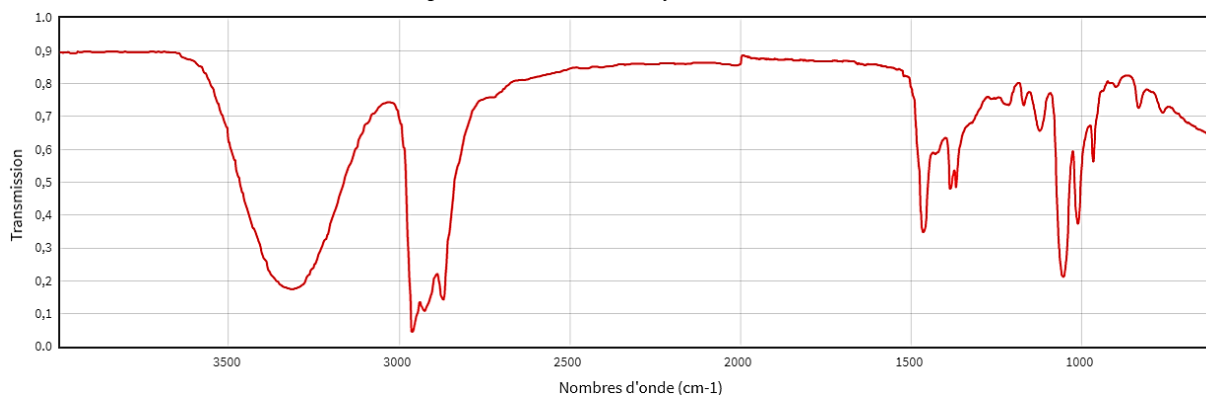
Travail à effectuer

- Compléter ce tableau :

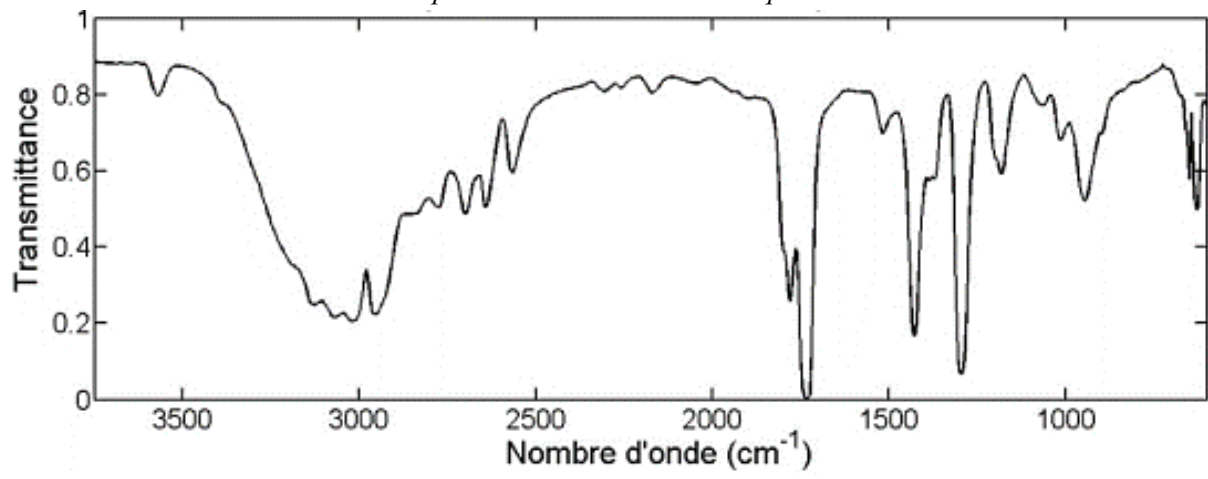
Réactifs	M (en g.mol ⁻¹)	Densité	m (en g) ou V (en mL)	n (en mol)
...				
...				
...				
Produit obtenu (Structure topologique)				

- Ecrire l'équation-bilan de cette synthèse.
- Déterminez le rendement de la synthèse.
- Calculer le facteur E de votre synthèse. Conclusion ?
- Calculer l'utilisation atomique UA de votre synthèse. Conclusion ?

Spectre IR du 3-méthylbutan-1-ol



Spectre IR de l'acide éthanoïque



Les 12 principes de la « chimie verte »

