

Montage présenté par Raphaël RULLAN  
Mercredi 23 mars 2022

Double correcteur :  
Floris Chevalier  
[floris.chevalier@ens-lyon.fr](mailto:floris.chevalier@ens-lyon.fr)

---

## Correction du Montage de Chimie :

### *Impact environnemental en chimie expérimentale*

---

#### ★ Plan présenté :

#### **I. Application des principes de la chimie verte en vue de la réduction de l'impact environnemental en chimie organique**

*Réaction multicomposante de Biginelli (Actu Chimique mai 2009)*

#### **II. Extraction des métaux et impacts environnementaux**

*Lixiviation du cuivre (BUP 790)*

#### **Manipulation imposée :**

*Détermination d'une enthalpie standard de réaction*

#### ★ Commentaires généraux sur la prestation

Raphaël a présenté un bon montage, riche en phases expérimentales et de manipulations, avec beaucoup de points intéressants abordés autour de la chimie et des impacts environnementaux qui lui sont liés. Les expériences choisies sont pertinentes. La discussion et les réponses scientifiques aux questions furent très satisfaisantes. Nous l'invitons néanmoins à revoir les points suivants pour parfaire ses futurs montages :

##### **• Rigueur scientifique et exhaustivité du discours :**

Il ne faut pas hésiter à prendre le temps d'**aller au bout des choses** et des idées. Souvent Raphaël donnait de très bonnes pistes de réflexions ou de réponses aux questions, sans pour autant les approfondir et montrer qu'il connaissait exactement ce dont il parlait, et c'est dommage car d'un point de vue extérieur le jury pourrait se demander s'il connaît vraiment les réponses aux questions ou s'il reste volontairement évasif/superficiel pour masquer quelque chose qui lui échapperait.

Par exemple, lors de la discussion autour des puissances énergétiques calculées et le coût associé à une synthèse micro-onde vs une synthèse à reflux, on aurait aimé voir les calculs et les valeurs exactes obtenues, que Raphaël avait faits, mais qui ne nous ont pas été présentés. Idem lors de l'introduction, où Raphaël a parlé des principes de la chimie verte mais ne s'est arrêté qu'aux aspects énergétiques et de déchets chimiques (ce qui n'est pas un problème, mais il faut préciser en ce cas qu'on ne donne que deux exemples sur les 12 principes possibles, dont on mettra certains en évidence durant le montage).

### • Fiches supports :

Un soin très particulier doit être mené aux fiches supports utilisées :

→ Les **équations bilans** doivent être complètes ! Dans celle de Biginelli, il manquait les sous-produits comme l'eau et les conditions expérimentales. Un **tableau de quantités de matière** aurait également été souhaitable, pour visualiser directement les équivalents mis en jeu.

→ Il aurait été bien d'avoir des **tableaux récapitulatifs** sur lesquels s'appuyer : par exemple sur la Biginelli, un tableau avec la méthode de chauffage par micro-onde vs celle par reflux, les différents points de chimie verte qu'on coche ou non dans l'un ou l'autre des cas, etc.

→ Il aurait été bien, toujours dans cette réaction de Biginelli, de mettre en **couleurs** différentes les molécules réactives, et leur position dans le squelette du produit final, ce qui aurait été d'un apport pédagogique très pertinent.

→ Attention à la présentation des résultats et à garder le bon **nombre de chiffres significatifs** (ne garder que le premier chiffre de l'incertitude et ne garder que le bon nombre de chiffres significatifs du résultat pour l'atteindre).

→ Pensez à reparcourir et **relire vite fait vos fiches**, cela évitera des erreurs évidentes que le jury pourrait vous reprocher (équilibre d'équations, etc. et choses imprévues comme les dernières fiches où Raphaël avait écrit partout eau de Javel à la place d'eau oxygénée !)

→ Dans les spectres ou courbes présentées, **vérifiez bien toujours qu'il y a les noms des abscisses, des ordonnées, des titres, des légendes**. Les courbes i/E présentées par exemple par Raphaël n'étaient pas pertinentes dans le sens où elles n'étaient pas annotées et on ne savait plus à qui correspondait quoi. Enfin, citer les **sources** dessus, afin de savoir si ces documents sont de votre production ou non ! (cas du diagramme de chimie verte de la Biginelli).

→ Pensez à **mettre votre nom au tableau**. C'est le minimum pour le jury qui viendra vous évaluer, pour s'assurer qu'il a affaire à la bonne personne.

### • A propos des manipulations présentées :

Les manipulations étaient bien choisies, parmi pas mal d'autres possibles (chalcone, bauxite, etc.). Néanmoins, il faut revoir deux choses par rapport à ce qu'a fait Raphaël :

→ Pour l'**électrolyse** à la fin de la lixiviation, cette dernière n'avait pas fonctionné, mais c'est clairement car le courant imposé était insuffisant ! N'hésitez pas à refaire cette manipulation.

→ Pour la manipulation imposée, on aurait aimé voir des choses sur la détermination de l'enthalpie libre standard d'une réaction (le titre imposé !!) plutôt que sur le titrage préliminaire de l'eau oxygénée, qui n'en était pas le cœur et du coup **hors sujet**. C'est dommage que cette dernière partie se soit moins bien passée que tout le reste du montage, qui en aura été terni.

## ★ Retour détaillé sur le contenu du montage

La partie suivante consiste à reprendre point par point les éléments du montage.

**Introduction (durée : 2'30) :** Raphaël contextualise bien le montage, en donnant des exemples d'écologie et de traitements des déchets chimiques, avec la synthèse de l'ibuprofène et ses optimisations à visées de chimie verte. On aurait pu plus insister sur la dichotomie du montage entre première partie de chimie organique et seconde de chimie inorganique, mais également être plus exhaustifs sur les principes de chimie verte.

### I. Application des principes de la chimie verte en vue de la réduction de l'impact environnemental en chimie organique (durée : 10') :

*Réaction multicomposante de Biginelli*

Phases de manipulation présentées : Synthèse complète au micro-onde (4x20") / Présentation de CCM / Essorage sur Büchner / Température de fusion au banc Köfler / Présentation d'un montage de distillation pour récupérer le solvant de synthèse (acétone).

Commentaires / Points à améliorer :

- Cette partie fut très bien menée, on pourrait la parfaire en ajoutant un **tableau récapitulatif et synthétique autour des différents points de chimie verte cochés** (chauffage micro-onde vs reflux (puissances calculées), économie d'atomes, récupération du solvant par distillation, etc). Cela permettra au jury de voir d'un coup d'œil les principes abordés et donnera beaucoup plus de cadre au montage. Aborder un peu plus le calcul des facteurs environnementaux associés à une synthèse serait un gros plus (cf schéma de chimie verte présenté autour de la Biginelli). On pourrait également, à l'instar de ce qui est fait dans la partie suivante, essayer de comparer cette synthèse du composé à d'autres potentielles voies de synthèse, en vue de montrer son apport, d'autres manières moins vertueuses d'obtenir le produit, etc.

- **Mettre en couleurs les différentes parties du squelette du produit** de la Biginelli, associées aux réactifs utilisés, serait un gros plus.

- A nouveau, il faut également aller au fond des choses présentées (si on souhaite comparer les puissances électriques dépensées, il faut que cela soit fait avec les calculs et chiffres à l'appui ; si on présente le montage de distillation pour récupérer l'acétone, il faut s'attarder un peu plus et expliquer le principe ; si on précise qu'on ajoute exactement 12 gouttes de HCl, il faut savoir dire pourquoi précisément, etc).

- Enfin, il est très bien d'inviter le jury à mettre les **lunettes de protection** en début de montage, mais peu pertinent si on les ôte et ne les garde pas soi-même lors du montage !

Quelques questions types : *Mécanisme de la Biginelli ? (complexe et pas forcément élucidé) / Pourquoi mettre un réactif en excès ? Quid de la chimie verte sur ce point ? / Critères d'évaluation de la chimie verte ? Principes ? / Avantages reflux vs micro-ondes ? / Calcul de puissances électriques respectivement dépensées ? Coût ? / Comparaison micro-ondes de cuisine et micro-ondes de laboratoire ? (reflux possible, contrôle et suivi de la température, pression, tubes scellés, précision sur la puissance fournie et la longueur d'onde utilisée (monomode vs multimode) et la manière de les administrer à l'échantillon (pulse vs continu) / Intérêt du produit synthétisé ? (pharmaceutique) / Autres moyens de l'obtenir ? / Révélation de la CCM et absence de l'urée ? (cf pas d'absorption) / Relation entre pureté d'une molécule et couleur ? / Lien entre la catalyse et la chimie verte ?*

## II. Extraction de métaux et impacts environnementaux (durée : 30') :

### *Lixiviation du cuivre*

Phases de manipulation présentées : Précipitation sélective cf pH / Filtration sur Büchner et sur Célite / Electrolyse.

#### Commentaires / Points à améliorer :

- Cette partie est l'occasion d'**ancrer le montage dans un contexte socio-économique**, en parlant de l'extraction de métaux d'un point de vue industriel, et de leur **impact environnemental** dont il faut bien plus parler ici, c'est le moment (cf pollution au mercure dans le cas de l'or, boues rouges dans le cas de l'aluminium). Attention à bien différencier **essorage** (cas de la Biginelli) et **filtration** (cas ici présent).

- Enfin, l'**électrolyse** est à revoir, tant vis-à-vis du courant à appliquer qui était bien trop faible ici, que l'explication des courbes  $i/E$  utilisées.

Quelques questions types : *Pourquoi la conductivité chute-t-elle autant lorsque le fer précipite et pas lorsque c'est le cuivre ? / Méthodes de séparation des métaux en industrie ? / Impacts environnementaux de cela ? (Hg vs orpaillage, boues rouges dans le traitement de l'alumine, y compris en mer méditerranée française jusqu'en 2021 avec l'usine de Gardane, etc.) / Büchner vs fritté ? / Célite ? Origine, taille caractéristique, précautions et utilisation ? / Evaluation du système de filtration d'un point de vue environnemental ? / Cradle-to-cradle ?*

### **Conclusion (durée : 1') :**

La conclusion donnée fut **trop courte et un peu expéditive** : n'oubliez pas que c'est tout aussi important que l'introduction et que c'est ce que retiendra le jury. Il faut donc reprendre soigneusement tous les points importants que l'on a voulu mettre en évidence, les principaux résultats expérimentaux du montage qui leur sont liés, et puis ouvrir le sujet ou l'inscrire dans une progression pédagogique ultérieure.

### III. Manipulation imposée (durée : 20') :

*Détermination d'une enthalpie standard de réaction*

Phases de manipulation présentées : Titrage potentiométrique d'une solution d'eau oxygénée.

Commentaires / Points à améliorer :

- Raphaël a **recentré cette manipulation dans un cadre pédagogique** (L1), et c'est très bien, ces phases de manipulations imposées étant pour vous l'occasion de vous démarquer pédagogiquement en essayant de les restituer dans un cadre scolaire.

- Attention à **bien relire les fiches** ! (cf écrite d'eau de Javel à la place d'eau oxygénée).

- La manipulation imposée portant le nom de détermination d'enthalpie standard de réaction, nous aurions aimé voir des choses présentées précisément à ce sujet. Raphaël a en effet beaucoup trop centré son discours sur le dosage initial de l'eau oxygénée, préalable aux mesures calorimétriques, mais par ce fait s'est mis **hors-sujet vis-à-vis du thème imposé**. Certes, la manipulation calorimétrique n'était peut-être pas passionnante ni vouée au succès, mais il est important de rester centré autour d'elle.

- Attention à la présentation de vos résultats et de leurs incertitudes associées, veillez à avoir le **bon nombre de chiffres significatifs** ! (et n'en garder que le nombre qui permet d'atteindre le premier chiffre de l'incertitude).

Quelques questions types :  $H_2O_2$  est plutôt un oxydant, ici il est utilisé en tant que réducteur, pourquoi ? Lien entre enthalpie libre de réaction et chimie verte ? Principe du titrage ?

Bon courage à vous tous. N'hésitez pas à revenir vers Floris ou moi pour toute question ou conseil.

Bien à vous,

Lilian GUILLEMENEY

[lilian.guillemeney@ens-lyon.fr](mailto:lilian.guillemeney@ens-lyon.fr)