

# LA TECHNOLOGIE MICRO-ONDES AU SERVICE DE LA CHIMIE VERTE

## Partie 1 : Comment fonctionne le four à micro-ondes ?

### A/ Principe de fonctionnement

**1)** Sous l'action des micro-ondes, les molécules d'eau vont se mettre à changer d'orientation ; cette mise en mouvement des molécules d'eau va produire de la chaleur que va chauffer ou cuire les aliments

**2)** Dans le document 1, on indique que les molécules d'eau changent d'orientation 2450000000 fois par seconde, ce qui correspond à une fréquence de 2,45.10<sup>9</sup> Hz (= 2,45 GHz)

La fréquence est en effet le nombre de fois que le phénomène périodique se répète en 1 seconde

**3) Détermination de la longueur d'onde :**

$$c = \lambda \times \nu \rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{2,45 \cdot 10^9} = \boxed{0,12 \text{ m}}$$

Cette longueur d'onde est bien comprise entre 1 mm et 1 m : ce sont des micro-ondes d'après le document 3.

**4)** Cette fréquence appartient à une bande de fréquences que l'on peut utiliser sans demande d'autorisation auprès des autorités pour des applications industrielles, scientifiques, médicales, ou domestiques.

### B/ Micro-ondes, quelles précautions prendre ?

**1)**

$$d = \frac{P_{mW}}{S}$$

Avec

d : la densité de puissance en mW/m<sup>2</sup>

P : la puissance en mW

S : la surface en m<sup>2</sup>

A 20 cm du micro-onde

$$d = \frac{P_{mW}}{S} \rightarrow P_{mW} = d \times S = 1,7 \cdot 10^2 \times 1,2 \cdot 10^{-3} = 0,204 = \boxed{2,0 \cdot 10^{-1} \text{ mW}}$$

$$P_{dBm} = 10 \times \log(P_{mW}) = 10 \times \log(0,204) = \boxed{-6,9 \text{ dBm}}$$

A 100 cm du micro-onde

$$P_{mW} = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = 10^{\frac{-20}{10}} = 10^{-2} = \boxed{1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mW}}$$

$$d = \frac{P_{mW}}{S} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{1,2 \cdot 10^{-3}} = \boxed{8,3 \text{ mW/m}^2}$$

**2)** Si le four fonctionne lorsqu'il est vide sa densité de puissance, à 20 cm de la porte, est de 2,7 W/m<sup>2</sup> ; cette densité est pratiquement 16 fois plus grande que lorsque le four contient un aliment (0,17 W/m<sup>2</sup> )

**3)** Deux précautions à indiquer sur une notice de four à micro-ondes :

- vérifier régulièrement les joints d'étanchéité du four
- ne pas rester devant le four lors de son fonctionnement.
- ne pas faire fonctionner le four à vide

## Partie 2 : L'estérification aux micro-ondes, quels avantages ?

### A/ Etude du mécanisme

**1)** L'étape 2 est une addition nucléophile :

- les électrons du site nucléophile de l'alcool (doublet non liant de l'atome d'oxygène) sont attirés par le site électrophile de l'atome de carbone du groupe carboxyle. Les électrons de la double liaison du groupe carboxyle sont ensuite attirés par le site électrophile de l'atome d'oxygène

**2)** l'acide sulfurique est un catalyseur : il permet d'accélérer la réaction .

### B/ Comparaison des protocoles

**1) Concernant la synthèse par chauffage à reflux**

**1.1.** D'après les coefficients de l'équation de la réaction d'estérification, 1 mole d'acide réagit avec 1 mole d'alcool : donc 0,14 mol d'alcool réagit avec 0,14 mol d'acide éthanóique ; ce dernier est en excès de  $0,35 - 0,14 = 0,21$  mol.

**1.2.**

Si la réaction était totale, on devrait obtenir 0,14 mol d'ester :

$$m_{\text{ester}} = n_{\text{ester}} \times M_{\text{ester}} = 0,14 \times 130 = 18,2 \text{ g}$$

$$\rho_{\text{ester}} = \frac{m_{\text{ester}}}{V_{\text{ester}}} \rightarrow V_{\text{ester}} = \frac{m_{\text{ester}}}{\rho_{\text{ester}}} = \frac{18,2}{0,87} = 21 \text{ mL}$$

Le volume théorique d'ester est de **21 mL**

Rendement de la réaction :

$$\text{rend} = \frac{V_{\text{expérimentale}}}{V_{\text{théorique}}} = \frac{15,5}{21} = 0,74 = \mathbf{74\%}$$

Dans le cas d'un mélange équimolaire, le rendement est de 67% : en utilisant un réactif en excès, on augmente le rendement.

**2) Concernant la synthèse par micro-ondes**

**2.1.** Dans le montage à reflux, la température du milieu réactionnel atteint 120 °C ; dans le micro-onde cette température atteint 180°C, soit 60°C de plus.

**2.2.** Le document 5 indique qu'une augmentation de dix degrés permet de diviser par deux le temps de réaction. Donc une augmentation de 60°C permet de diviser le temps par 2

A 120° C, la synthèse dure 45 min = 2700 s

A 130° C, la synthèse dure  $\frac{2700}{2} = 1350$  s

A 140° C, la synthèse dure  $\frac{1350}{2} = 675$ s

A 150° C, la synthèse dure  $\frac{675}{2} = 337,5$  s

A 160° C, la synthèse dure  $\frac{337,5}{2} = 168,75$  s

A 170° C, la synthèse dure  $\frac{168,75}{2} = 84,375$  s

A 180° C, la synthèse dure  $\frac{84,375}{2} = \boxed{42,2 \text{ s}}$

**2.3. Moyenne des résultats :** R = 92 %

$$UR = t \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,3 \times \frac{2,9}{\sqrt{10}} = 2 \%$$

$$\boxed{R = (92 \pm 2) \%} \rightarrow \boxed{90 \% \leq R \leq 94 \%}$$

### **3) Consommation d'énergie**

**3.1.** Énergie consommée lors du chauffage à reflux (puissance de 250 W pendant 45 min)

$$E = P \times t = 250 \times 45 \times 60 = 675\,000 \text{ J} = \boxed{6,8 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

**3.2.** Énergie consommée lors du chauffage à reflux (puissance de 1000 W pendant 42 s)

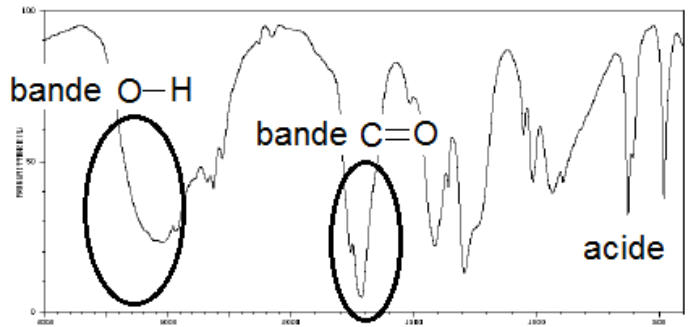
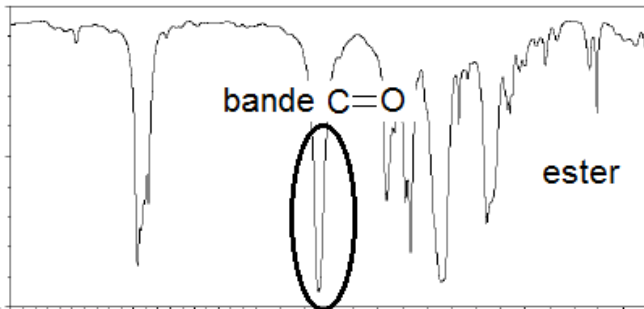
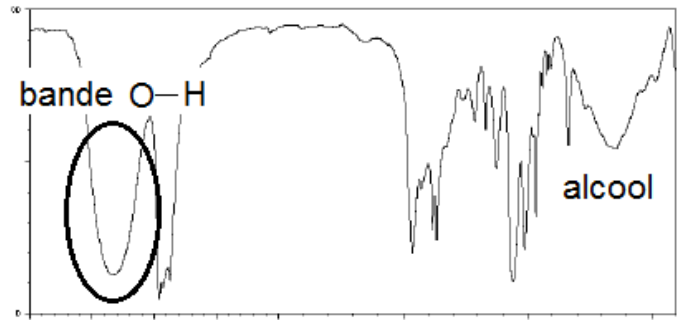
$$E = P \times t = 1000 \times 40 = 40\,000 \text{ J} = \boxed{4,0 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

### **C/ En quoi la technologie micro-ondes répond-elle à certains critères de la chimie verte ?**

En partant d'un mélange équimolaire, le rendement de la réaction avec four à micro-onde est très supérieur à celui de la réaction avec montage à reflux. De plus il n'est pas nécessaire d'utiliser un réactif en excès.

La synthèse par micro-ondes, permet d'économiser l'énergie.

**D/ Etude des spectres infrarouges des réactifs et produits.**



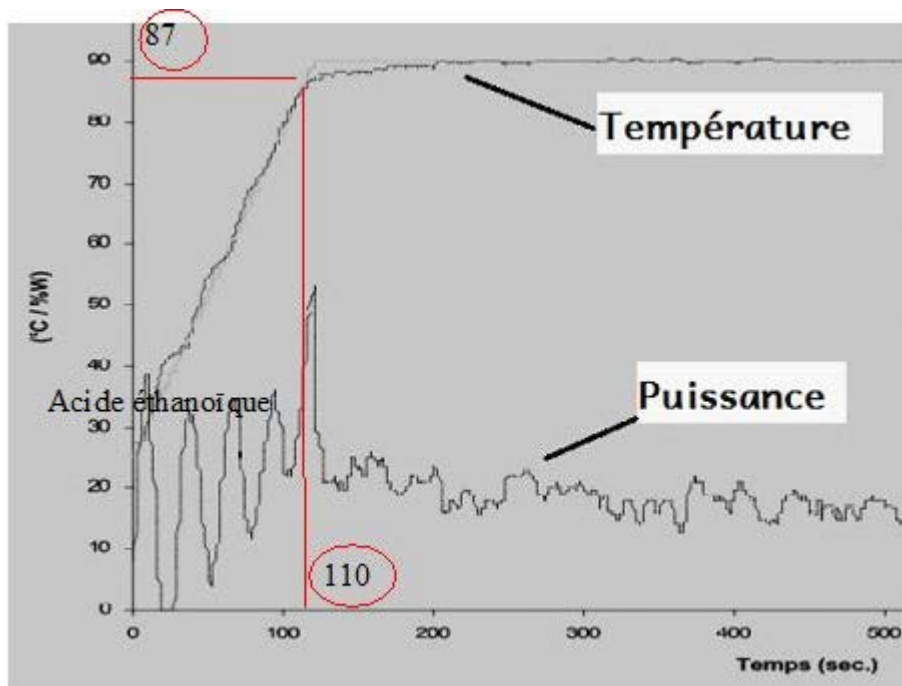
**Partie 3 : Le micro-ondes SYNTHOS 3000 ?**

**1)** La grandeur réglée est la température du mélange ; la grandeur réglante est la puissance et la valeur de consigne est 90°C.

**2)** La température initiale du mélange est égale à 25 °C.

La température finale est 90 °C. La température du mélange doit croître de  $90 - 25 = 65$  °C.

$65 \times 0,95 = 62$  °C ;  $25 + 62 = 87$  °C. Le graphe indique environ 110 s.



**3)** Une réaction peut être exothermique ou endothermique