4 Voici les modifications apportées dans le manuel élève :

- Partie B, légende du Doc 2 : les masses ne sont plus mumérotées, et les variables « x » sont désormais toutes nommées « x₀ » ;
- Partie B, titre du Doc 3 : « Ressort lié à deux objets » (au lieu de « Généralisation »).
- Partie C, données : la masse molaire de l'azote a été ajoutée, M(N) = 14,0 g mol⁻¹;
- Partie C, question 2. c. : la question est désormais formulée de la manière suivante « Comment expliquer que la chaîne carbonée reliée à l'atome d'oxygène n'ait quasiment aucun effet sur la position de la bande caractéristique de la liaison O-H d'un alcool en phase gazeuse (3 600 cm⁻¹) ? ».

Partie B. 2^e bloc de questions.

a. Lorsque $m_1 = m_2 = m$, on trouve que $\mu = \frac{m^2}{m+m} = \frac{m}{2}$: la masse réduite correspond donc à la moitié de chacune des masses.

b. Lorsque $m_1 << m_2$, on trouve que $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \approx \frac{m_1 m_2}{m_2} = m_1$: la masse réduite correspond donc à la masse négligeable.

Partie C. 1. a. Par définition, $\sigma = \frac{1}{\lambda}$. Par ailleurs, on sait que pour une onde électromagnétique :

$$\lambda = cT$$

c étant la célérité de l'onde électromagnétique (de la lumière) dans le vide : $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. **b.** On en déduit donc que :

$$\sigma = \frac{1}{cT}$$

c. Puisque la période de l'onde électromagnétique doit coïncider avec celle des oscillations libres de la liaison, on en déduit que :

$$\sigma = \frac{1}{cT} = \frac{1}{2\pi c} \times \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

et donc :

$$k = \mu \times 4\pi^2 \sigma^2 c^2$$

Pour la molécule de monoxyde de carbone, on peut calculer la masse réduite :

$$\mu = \frac{m(C) \times m(O)}{m(C) + m(O)}$$

$$\mu = \frac{M(C)}{N_A} \times \frac{\frac{M(O)}{N_A}}{\frac{M(C)}{N_A} + \frac{M(O)}{N_A}} = \frac{M(C) \times M(O)}{N_A \times (M(C) + M(O))}$$
A.N.:
$$\mu = \frac{12,0 \times 16,0}{6,02 \times 10^{23} \times (12,0 + 16,0)} = 1,14 \times 10^{-23} \text{ g} = 1,14 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

On en déduit donc : $k = 1.14 \times 10^{-26} \times 4\pi^2 \times (2170 \times 10^2)^2 \times (3.0 \times 10^8)^2 = 1.91 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

- 2. a. Dans la masse réduite n'intervient *a priori* que la masse de chaque atome de la liaison impliquée, et pas le reste de la molécule.
- b. L'argument précédemment utilisé n'est rigoureusement utilisable que pour une espèce diatomique. Pour les espèces polyatomiques, les masses du (ou des) groupe(s) d'atomes lié(s) à chaque atome interviennent en fait (un peu) dans la masse réduite de la liaison étudiée. Ainsi, pour une molécule de la classe fonctionnelle des aldéhydes, l'atome de carbone du groupe fonctionnel n'est lié qu'à une seule chaîne alkyle, tandis que pour une cétone, le même atome de carbone est lié à deux chaînes alkyle. Il en résulte, en général, une masse réduite « équivalente » plus grande pour l'atome de carbone de la liaison C=O d'une cétone, et donc :

$$\mu(\mathrm{CO}_{\mathsf{c\acute{e}tone}}) = \frac{1}{\frac{1}{m(\mathrm{O})} + \frac{1}{m(\mathrm{C}_{\mathsf{c\acute{e}tone}})}} > \frac{1}{\frac{1}{m(\mathrm{O})} + \frac{1}{M(\mathrm{C}_{\mathsf{ald\acute{e}hyde}})}} = \mu(\mathrm{CO}_{\mathsf{ald\acute{e}hyde}})$$

Si l'on suppose désormais que la force de la liaison chimique, donc kC=O reste sensiblement le même, on en déduit :

$$T(CO_{c\acute{e}tone}) \ge T(CO_{ald\acute{e}hyde})$$
 et donc $\sigma(CO_{c\acute{e}tone}) \le \sigma(CO_{ald\acute{e}hyde})$

c. Dans le cas d'une liaison O-H (ou C-H ou N-H), puisque $m(H) \ll m(O)$ (approximation d'autant meilleure que l'atome d'oxygène est en plus lié à une chaîne alkyle), alors :

$$\mu(O-H) \approx m(H)$$
 (cf. B. 2^{ème} partie, question b.)

Quel que soit le groupe alkyle lié à l'atome d'oxygène, la masse réduite du système se réduit à la masse de l'atome d'hydrogène. Puisque par ailleurs, la force de la liaison étudiée est toujours la même, on en déduit que la période, et donc le nombre d'onde caractéristique de l'absorption de cette liaison ne dépend quasiment pas de l'alcool.

3. a. Désormais, les deux atomes engagés dans la liaison ont tous, en première approximation, une masse équivalente :

$$m(O) \approx m(C) \approx m(N)$$

Dans tous les cas :

 $\mu \approx \frac{m(N)}{2}$ (l'azote étant de masse intermédiaire entre l'oxygène et le carbone)

- b. Le seul paramètre qui varie significativement entre les trois séries de valeurs est la multiplicité de la liaison. Puisque la masse réduite est la même, c'est donc que le facteur qui varie ici est la force de la liaison. On en déduit donc que cette dernière évolue directement avec la multiplicité de la liaison.
- c. On peut préciser les choses, puisque :

$$\sigma(\text{triple}) > \sigma(=) > \sigma(-)$$
, c'est que $T(\text{triple}) < T(=) < T(-)$

Or μ ≈ cte, donc cette inégalité équivaut à :

$$k(triple) > k(=) > k(-)$$

Ce qui signifie donc que la force d'une triple liaison est plus importante que celle d'une double liaison, qui est elle-même plus importante que celle d'une simple liaison. Ceci est un résultat effectivement avéré (validé par l'expérience, notamment pas calorimétrie).