

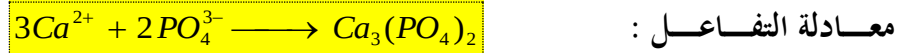
## تتبع تحول كيميائي

Suivi d'une transformation chimique

(I) التقدم الأقصى لتفاعل كيميائي.

(1) تجربة.

نضيف إلى حجم  $V_1 = 20 \text{ mL}$  من محلول  $S_1$  لنترات الكالسيوم  $(Ca_{aq}^{2+} + 2NO_3^-)$  تركيزه  $C_1 = 0.2 \text{ mol/L}$  , حجم  $V_2 = 15 \text{ mL}$  من محلول  $S_2$  لفوسفات الصوديوم  $(3Na^+ + PO_4^{3-})$  تركيزه  $C_2 = 0.2 \text{ mol/L}$  . يحدث تفاعل و يتكون راسب أبيض هو فوسفات الكالسيوم  $Ca_3(PO_4)_2$  .



: معادلة التفاعل

(2) الجدول الوصفي. Le tableau descriptif

كمية مادة أيونات الكالسيوم البدئية:  $n_i(Ca^{2+}) = C_1.V_1 = 4.10^{-3} \text{ mol} = 4 \text{ mmol}$

كمية مادة أيونات الفوسفات البدئية:  $n_i(PO_4^{3-}) = C_2.V_2 = 3.10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$

العلاقة بين كميات المدة المتفاعلة وكمية المادة الناتجة هي:

$$\frac{n(Ca^{2+})}{3} = \frac{n(PO_4^{3-})}{2} = \frac{n(Ca_3(PO_4)_2)}{3} = x$$

يسمى  $x$  تقدم التفاعل و يسمح بتحديد كميات المادة للمتفاعلات و النواتج.

| معادلة التفاعل                                       |                 |                   | التقدم     |              |
|------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|------------|--------------|
| $3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2$ |                 |                   | المادة     | البدئية      |
| $n(Ca^{2+})$                                         | $n(PO_4^{3-})$  | $n(Ca_3(PO_4)_2)$ | 0          | 0            |
| 4                                                    | 3               | 0                 | x          | خلال التحويل |
| $4 - 3x$                                             | $3 - 2x$        | x                 | $x_{\max}$ | النهائية     |
| $4 - 3x_{\max}$                                      | $3 - 2x_{\max}$ | $x_{\max}$        |            |              |

(3) التقدم الأقصى و المتفاعل المحد. Avancement maximal Réactif limitant.

\* تعريف: نسمي المتفاعل المحد، المتفاعل الذي يختفي أولا و يسبب بذلك في توقف

التفاعل و يأخذ  $x$  عند نهاية التفاعل قيمته القصوى، تسمى التقدم الأقصى  $x_{\max}$  .

تطبيق:

باعتبار أيونات الكالسيوم المتفاعل المحد يكون:  $4 - 3x_{1\max} = 0$  و بذلك:  $x_{1\max} = 1.33 \text{ mmol}$

باعتبار أيونات الفوسفات المتفاعل المحد يكون:  $3 - 2x_{2\max} = 0$  و بذلك:  $x_{2\max} = 1.5 \text{ mmol}$

يوافق التقدم الأقصى أصغر قيمة و بذلك  $x_{\max} = 1.33 \text{ mmol}$  و المتفاعل المحد هو:  $Ca^{2+}$  .

(4) الخليط الستوكيومترى. Le mélange stoechiométrique

\* تعريف: يكون الخليط البدئي التفاعلي استوكيومترى، إذا كانت كميات مادة المتفاعلات متوفرة

حسب المعاملات الستوكيومترية لمعادلة التفاعل، تختفي في هذه الحالة جميع المتفاعلات عند نهاية التفاعل.

تطبيق: لنحسب حجم محلول فوسفات الصوديوم اللازم إضافته ليكون الخليط السابق ستوكيومتريا.

$$\frac{n_i(Ca^{2+})}{3} = \frac{n_i'(PO_4^{3-})}{2} = x_{\max}$$

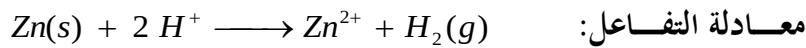
بذلك:  $n_i' - 2 x_{\max} = 0$  و منه:  $n_i' = 2 x_{\max} = 2.66 \text{ mmol}$

الحجم اللازم  $V'$  هو:  $V' = \frac{n_i'}{C} = 13.3 \text{ mL}$

## (II) تحديد التقدم الأقصى من خلال ضغط غاز.

\* تجربة:

ندخل في حوجلة، تحتوي على 20mL من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه  $C=5 \text{ mol/L}$ ، قطعة من فلز الزنك كتلتها  $m = 0.11 \text{ g}$ . نغلق الحوجلة أثناء التفاعل و نقيس الضغط داخلها. الضغط البدئي في الحوجلة هو الضغط الجوي  $P_0 = 1025 \text{ hPa}$  و الضغط فيها عند نهاية التفاعل هو  $P_f = 1062 \text{ hPa}$ .



كمية مادة الزنك البدئية:  $n_i(Zn) = \frac{m}{M} = 0.11 / 65.4 = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

كمية مادة  $H^+$  البدئية:  $n_i(H^+) = C \cdot V = 0.1 \text{ mol}$

\* الجدول الوصفي للتفاعل:

| $Zn + 2 H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$ |                   |              |            | معادلة التفاعل |              |
|--------------------------------------------|-------------------|--------------|------------|----------------|--------------|
| $n(Zn)$                                    | $n(H^+)$          | $n(Zn^{2+})$ | $n(H_2)$   | التقدم         | الحالة       |
| $1.7 \cdot 10^{-3}$                        | 0.1               | 0            | 0          | 0              | البدئية      |
| $1.7 \cdot 10^{-3} - x$                    | $0.1 - 2x$        | $x$          | $x$        | $x$            | خلال التفاعل |
| $1.7 \cdot 10^{-3} - x_{\max}$             | $0.1 - 2x_{\max}$ | $x_{\max}$   | $x_{\max}$ | $x_{\max}$     | النهائية     |

تحديد التقدم الأقصى  $x_{\max}$ :

و حسب معادلة الحالة للغازات الكاملة:  $n(H_2) = x_{\max}$

كمية مادة الهواء البدئية في الحوجلة.  $P_0 \cdot V = n_0 \cdot R \cdot T$

و  $P_f \cdot V = n_f \cdot R \cdot T$  بحيث:  $n_f = n_0 + n(H_2) = n_0 + x_{\max}$

و بذلك:  $\Delta P = P_f - P_0 = x_{\max} \cdot \frac{R \cdot T}{V}$

في ظروف التجربة يحتل الغاز المتكون حجما  $V = 1.1 \text{ L}$  عند درجة الحرارة  $T = 293 \text{ K}$ .

بذلك:  $x_{\max} = \frac{\Delta P \cdot V}{R \cdot T} =$