

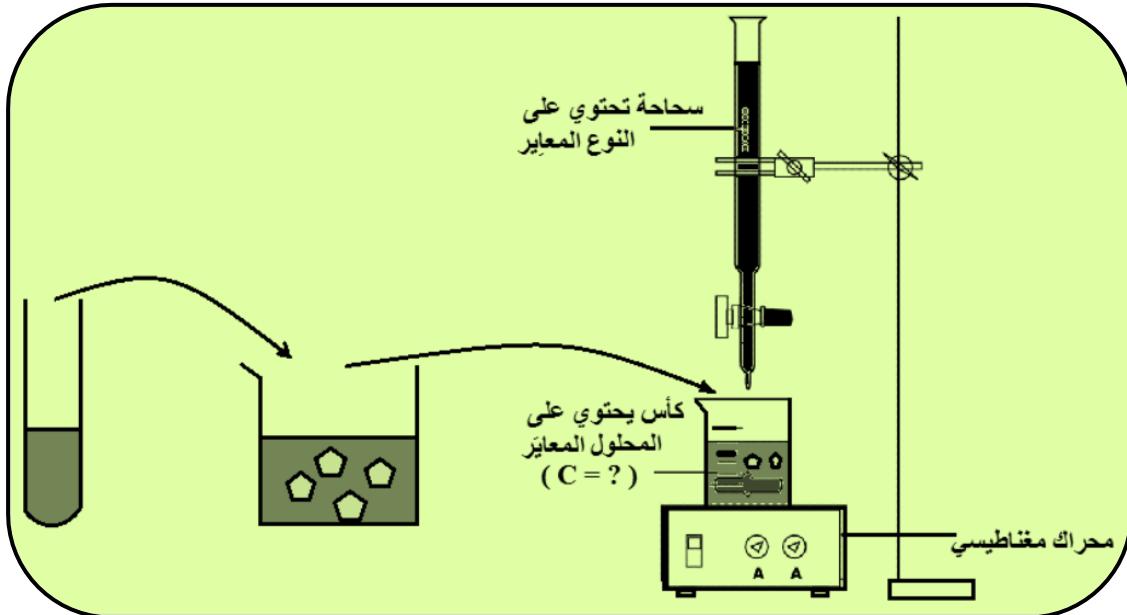
## التابع الزمني لتحول كيميائي - سرعة التفاعل

لتبّع التطور الزمني لتحول مجموعة كيميائية ، يجب معرفة كمية مادة الأنواع الكيميائية للمجموعة في كل لحظة . هناك عدّة تقنيات ، بعضها كيميائية كالمعايرة و أخرى فيزيائية ( قياس الكتلة أو الحجم أو الضغط أو الموصولة ..... ) .

#### **1. التتبع الزمني لتطور مجموعة كيميائية بواسطة المعايرة :**

ننتبع كمية مادة أحد الأنواع الكيميائية للمجموعة (ناتج أو متفاعل) بدلالة الزمن . إذا كان هذا النوع قابلاً للمعايرة ، يمكن معايرته عند لحظات متواتلة خلال تطور المجموعة .

في البداية نحضر الخليط التفاعلي ، وخلال مدد زمنية متولدة نأخذ عينة من الخليط ونعايرها بعد توقيف التفاعل بعملية الغطس ( وضع العينة في الماء المثلج ) .



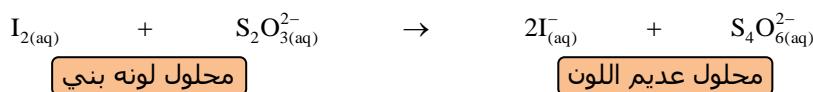
**١.١) مثال : التتبع الزمني لتفاعل أيونات اليودور  $I_{(aq)}^-$  و الماء الأوكسجيني  $H_2O_{2(aq)}$**

$$\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})} + 2\text{I}_{(\text{aq})}^- + 2\text{H}_{(\text{aq})}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\ell)} + \text{I}_{(\text{aq})}_2$$

معادلة التفاعل هي :

ثنائي اليود  $I_2$  المكون يجعل الخليط يأخذ لوناً بنياً تتزايد شدته مع تقدم التفاعل .

I<sub>2</sub><sup>(aq)</sup> قابل للمعايرة بواسطة محلول ثيوکبريتات الصوديوم (2Na<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> + S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup><sub>(aq)</sub>) . تفاعل المعايرة ، السريع ، له المعادلة :



لنعتبر  $(t_2 - t_1)$  كمية مادة ثانوي اليود المتواجدة في العينة المأخوذة عند لحظة معينة  $t$  من أجل معايرتها. التركيز الموللي ، المعروف ، لمحلول ثيوکربيريات الصوديوم و  $V_E$  الحجم المضاف من هذا محلول عند التكافؤ .

$$n_{I_2}(t) = \frac{n_E(S_2O_3^{2-})}{2} = \frac{C.V_E}{2}$$

لدينا اذن :

لإنشاء جدول للتقدير يصف كميا حالة المجموعة خلال التفاعل . لنتعتبر  $(t)$  تقدم التفاعل عند اللحظة  $t$  :

$\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$	+	$2\text{I}_{(\text{aq})}^-$	+	$2\text{H}_{(\text{aq})}^+$	$\rightarrow$	$2\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$	+	$\text{I}_{2(\text{aq})}$	معادلة التفاعل
$n_{\text{H}_2\text{O}_2}(0)$		$n_{\text{I}^-}(0)$		$n_{\text{H}^+}(0)$		وافرة		0	كمية المادة البدئية (mol)
$n_{\text{H}_2\text{O}_2}(0) - x(t)$		$n_{\text{I}^-}(0) - 2x(t)$		$n_{\text{H}^+}(0) - 2x(t)$		وافرة		$x(t)$	كمية المادة عند اللحظة t (mol)

تقديم التفاعل عند لحظة  $t$  يساوي كمية مادة ثانوي اليود المتكون عند هذه اللحظة :

$$n_{I_2}(t) = x(t)$$

معرفة  $(t_2)$  تكفي اذن لتحديد حصيلة المادة للخلط التفاعلي عند اللحظة المعنية .

## 1 - تمارين تطبيقي :

نحضر الخليط التفاعلي عند لحظة تعتبرها أصلًا للتاريخ  $t = 0$  و المكون من :

- 50,0mℓ من محلول للماء الأوكسيجيني تركيزه المولى  $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .

- 1,0mℓ من محلول حمض الكبريتك تركيزه المولى  $3,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .

- 50,0mℓ من محلول لبودور البوتاسيوم تركيزه المولى  $0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .

نوزع الخليط بالتساوي على عشرة أنابيب اختبار ، حيث كل أنبوب به الحجم  $1 \text{ mL}$  ( نهمل الحجم لحمض الكبريتك أمام حجوم المحاليل الأخرى ) .

العينة الرابعة تخضع لعملية الغطس (trempe) عند اللحظة  $t = 360 \text{ s}$  ، ثم نعاير ثانوي اليود المكون بواسطة محلول لثيوکبريتات

الصوديوم ذي التركيز المولى  $C = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .

يختفي اللون الأزرق الناتج عن إضافة النشا للعينة عند إضافة الحجم  $V_E = 7,5 \text{ mL}$  .

1 ) أحسب كمية مادة ثانوي اليود المتواجد في العينة عند اللحظة  $t = 360 \text{ s}$  .

2 ) استنتاج كميات المادة لكل من الماء الأوكسيجيني ، أيونات البوتاسيوم وأيونات الهيدروجين المتواجدة في أنبوب الاختبار عند هذه اللحظة .

### الحل

$$n_{I_2}(360) = 0,15 \text{ mmol}$$

$$n_{H_2O_2}(360) = 0,26 \text{ mmol} ; n_{I^-}(360) = 9,70 \text{ mmol} ; n_{H^+}(360) = 2,70 \text{ mmol}$$

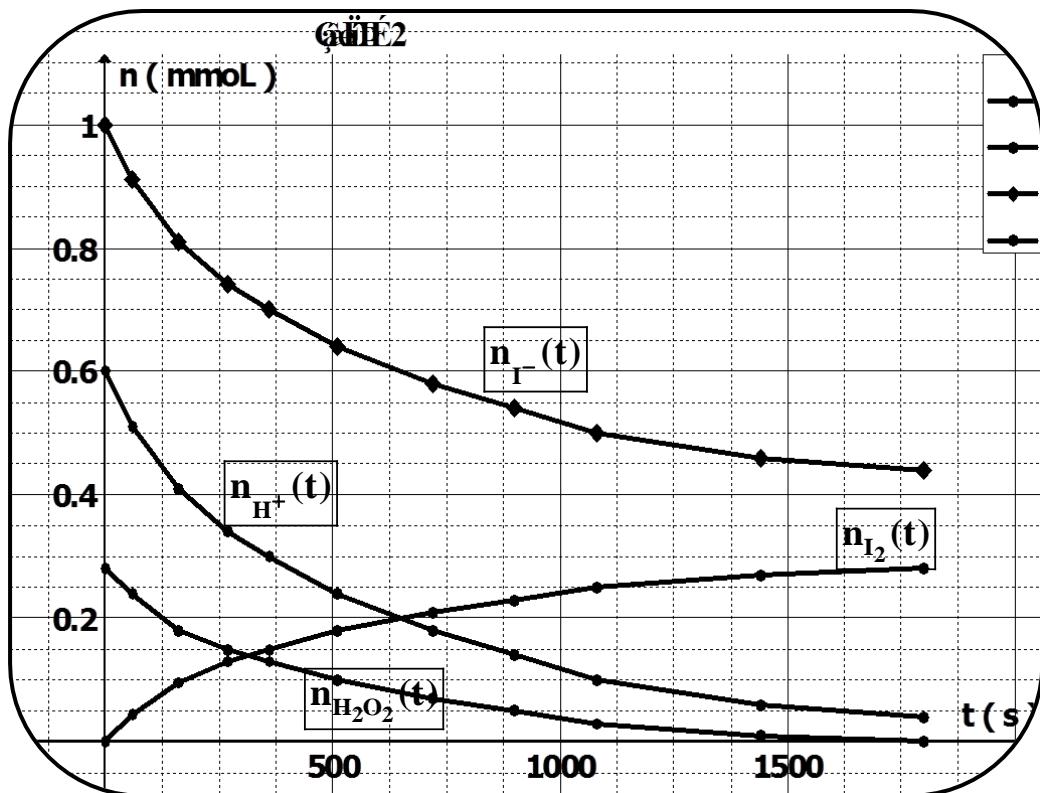
## 2 - مكونات الخليط التفاعلي في كل لحظة :

للحصول على كمية مادة كل نوع كيميائي عند لحظات مختلفة ، يجب أن نعيد العمليات الحسابية التي قمنا بها في التمارين التطبيقي بالنسبة لمختلف هذه اللحظات .

انطلاقاً من قيم  $(V_E(t))$  نحصل على جدول القيم التالية ( الوثيقة 1 ) ، حيث يمكن رسم المنحنيات الموافقة ( الوثيقة 2 ) .

$t(\text{s})$	$V_E(t) \text{ mL}$	$n_{I_2}(t) \text{ (mmol)}$	$n_{H_2O_2}(t) \text{ (mmol)}$	$n_{I^-}(t) \text{ (mmol)}$	$n_{H^+}(t) \text{ (mmol)}$
0	0	0	0,28	1,00	0,60
60	2,2	0,044	0,24	0,91	0,51
160	4,8	0,096	0,18	0,81	0,41
270	6,5	0,13	0,15	0,74	0,34
360	7,5	0,15	0,13	0,70	0,30
510	9,0	0,18	0,10	0,64	0,24
720	10,5	0,21	0,07	0,58	0,18
900	11,5	0,23	0,05	0,54	0,14
1080	12,5	0,25	0,03	0,50	0,10
1440	13,5	0,27	0,01	0,46	0,06
1800	14,0	0,28	0,00	0,44	0,04

### الوثيقة 1



## 2) التتبع الزمني لتطور مجموعة كيميائية بواسطة قياسات فيزيائية :

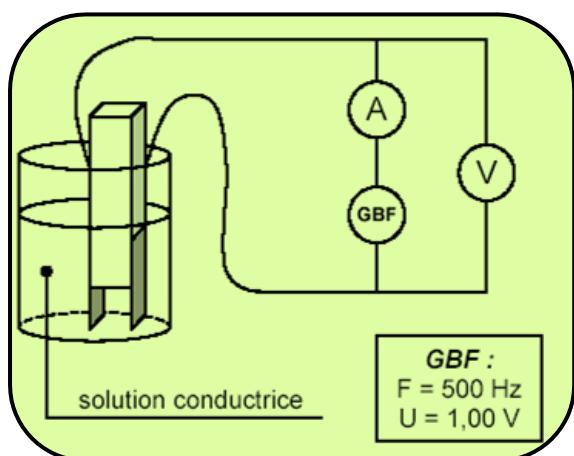
عندما تكون أحد المقادير الفيزيائية (بصرية ، ميكانيكية ، كهربائية ) مرتبطة ببساطة علاقة بالتركيز المولى لأحد أو عدة أنواع كيميائية للخلط التفاعلي . فإن قياس هذه المقادير يمكن من تحديد التركيز و بذلك تتبع التغيرات الزمنية . من أهم هذه المقادير المرتبطة بكمية مادة ناتج أو متفاعل هناك :

- المواصلة إذا كان التفاعل ينتج أو يستهلك أيونات .
- pH إذا كان التفاعل ينتج أو يستهلك أيونات  $H_3O^+$  أو  $HO^-$  .
- الضغط أو الحجم بالنسبة لغاز .

### 2.1) التتابع باستعمال المواصلة :

إذا كان الوسط التفاعلي ذا طبيعة أيونية ، يمكن تتبع قيمة المواصلة G خلال تطور المجموعة :

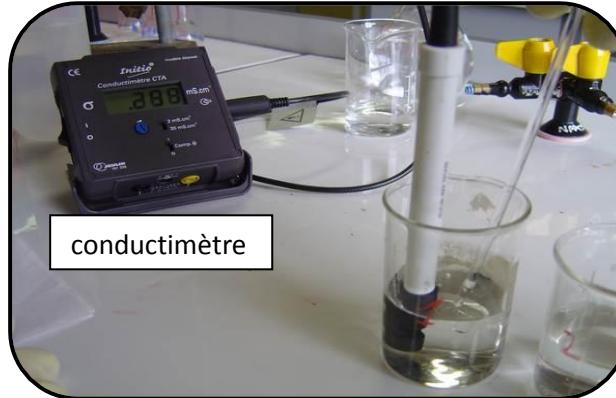
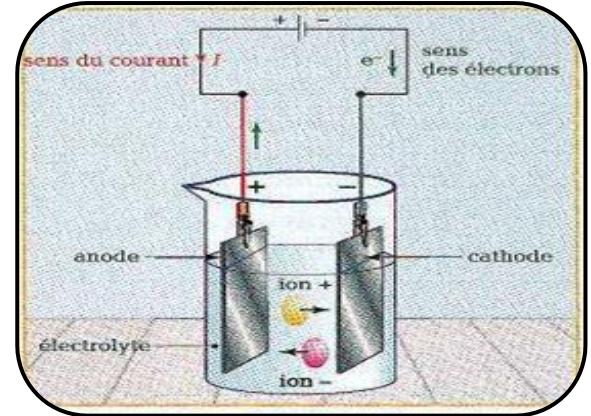
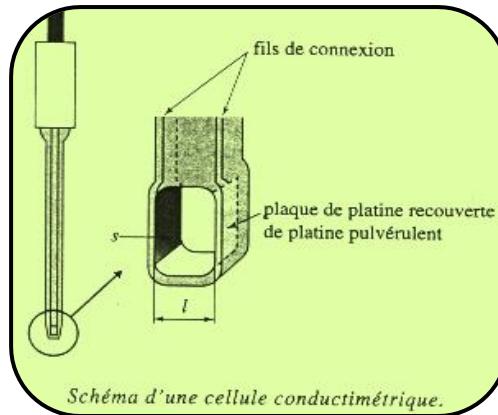
$$G = \frac{I}{U}$$



I شدة التيار الفعالة المارف في الوسط التفاعلي بوحدة الامبير (A) .  
U التوتر الفعال الموجود بين مربطي إلكرودي خلية القياس بوحدة الفولط (V) .  
G مواصلة الوسط التفاعلي بوحدة السيمنس (S) .  
مواصلة محلول إلكتروليتي مرتبطة بطبيعة محلول وكذا خلية القياس ، حيث تتحقق العلاقة :

$$k = \frac{S}{\ell} \quad \text{مع} \quad G = k \cdot \sigma$$

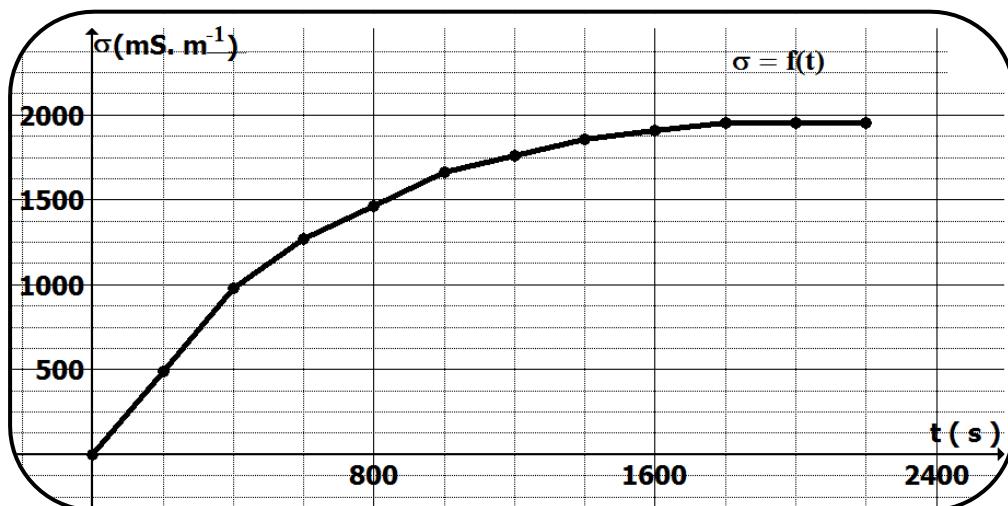
k ثابتة خلية القياس ، S المساحة المغมورة من الإلكترودين و  $\ell$  المسافة بينهما .  
 $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$  موصالية الخلط التفاعلي بوحدة  $(S \cdot m^{-1})$  مع :  
 $\lambda_i$  الموصالية المولية الأيونية للأيون  $i$  بوحدة  $(mol \cdot m^{-3})$  .  
 $[X_i]$  التركيز المولى للأيون  $i$  بوحدة  $(S \cdot m^2 \cdot mol^{-1})$  .



- \***نشاط تجاري:** في محلول يتكون من الماء والإيتانول ، 2 - كلورو - 2 - مثيل بروبان  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$  الذي نرمز له ب  $\text{RCl}$  ، يخضع لتفاعل حلمأة معادلته هي :
$$\text{RCl}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\ell)} \rightarrow \text{ROH}_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$$
- التفاعل ينتج أيونات  $\text{H}^+_{(\text{aq})}$  و  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  ، مما يؤدي إلى تزايد الموصولة  $\sigma$  للوسط التفاعلي .
- ندخل في كأس 225ml لخلط يتكون من 200ml من الماء المقطر و 25ml من الإيتانول ثم نضعه في حمام مريم درجة حرارته 20°C .
- نضيف للخلط 1ml ( أي كمية المادة  $n_0 = 9,2\text{mmol}$  ) من  $\text{RCl}$  .
- نعيّر مقياس الموصولة ( $\sigma = 0$ ) ثم نغمر خلية القياس في الخليط التفاعلي بعد تحريكه ليصبح متجانسا .
- ندون في الجدول التالي نتائج قياسات موصولة الوسط التفاعلي بعد تمام كل 200s :

	التاريخ(s)	الموصولة ( $\sigma(t)$ $(\text{mS.m}^{-1})$ )
2000	1800	1600
1955	1955	1905
	1400	1856
	1200	1759
	1000	1661
	800	1466
	600	1270
	400	977
	200	489
	0	0

خط المبيان الممثل للمنحنى :  $\sigma = f(t)$



# هذا الملف تم تحميله من موقع Talamid.ma

عند ضبط مقاييس الموصلية ، هذا الأخير يشير مباشرة إلى الموصلية ( $\sigma$ ) للوسط التفاعلي . الأيونات المتواجدة في الخليط

$$\sigma(t) = \lambda_{(H^+)} \cdot [H^+]_{(t)} + \lambda_{(Cl^-)} \cdot [Cl^-]_{(t)}$$

هي  $H_{(aq)}^+$  و  $Cl_{(aq)}^-$  وبذلك فإن الموصلية  $\sigma(t)$  تحقق العلاقة :

لتنشئ جدولًا لتقدير التفاعل :

$RC\ell_{(aq)}$	+	$H_2O_{(\ell)}$	$\rightarrow$	$ROH_{(aq)}$	+	$H_{(aq)}^+$	+	$Cl_{(aq)}^-$	المعادلة
$n_0$		وافرة		0		0		0	كمية المادة عند $t=0$
$n_0 - x(t)$		وافرة		$x(t)$		$x(t)$		$x(t)$	كمية المادة عند $t > 0$
0		وافرة		$n_0$		$n_0$		$n_0$	كمية المادة في الحالة النهائية

اعتماداً على الجدول الوصفي نكتب : مع  $V$  حجم الخليط التفاعلي .

$$[H^+]_{(t)} = [Cl^-]_{(t)} = \frac{x(t)}{V}$$

ومنه :

في خليط من الماء والإيتانول الموصليات المولية الأيونية  $\lambda_{H^+}$  و  $\lambda_{Cl^-}$  غير معروفة ، لذا لا يمكن تحديد التقدم  $x$  انطلاقاً من العلاقة السابقة .

لقياس موصلية خليط تفاعلي مماثل تم تحضيره عدة أيام من قبل ، بحيث يمكن اعتبار أن التحول قد توقف كلياً وأن تقدم التفاعل النهائي هو :

$$\sigma(t) = (\lambda_{H^+} + \lambda_{Cl^-}) \cdot \frac{x(t)}{V} \quad \text{و} \quad \sigma_f = (\lambda_{H^+} + \lambda_{Cl^-}) \cdot \frac{n_0}{V}$$

إذن لدينا :

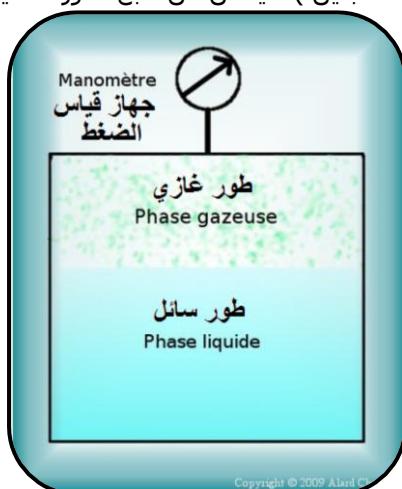
$$\frac{\sigma(t)}{\sigma_f} = \frac{x(t)}{n_0}$$

و منه نتوصل إلى :

بقياس الموصلية  $\sigma(t)$  نتمكن من تتبع، و باستمرار  
تقدّم تفاعل الحلبة

## 2.2 التتبع بقياس ضغط غاز أو الحجم :

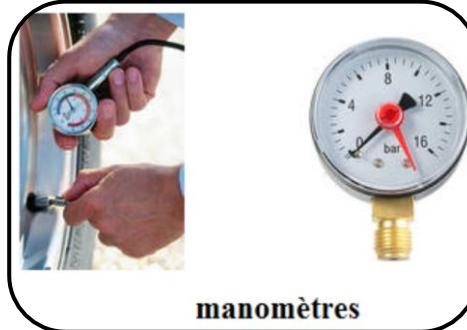
عندما تتدخل في التفاعل أنواع كيميائية غازية ويصاحب هذا التفاعل تغير كمية المادة الغازية للمجموعة ، فإن دراسة ضغط الخليط الغازي عند درجة حرارة و حجم ثابتين ( أو دراسة الحجم عند درجة الحرارة و ضغط ثابتين ) ، يمكن من تتبع تطور الخليط التفاعلي .



Lors de l'étude d'une transformation chimique, on assimile chaque gaz à un **gaz parfait** qui répond à la loi:

$$PV=nRT$$

P : pression en Pa  
V : volume en  $m^3$   
n : quantité de matière en mol  
R : constante des gaz parfait = 8,31 S.I.  
T : température en K



## التمرين التطبيقي الأول :

عند درجة الحرارة  $20^{\circ}\text{C}$  و في حوجلة حجمها  $V = 500\text{mL}$  و محكمة السد . نتبع باستعمال مانومتر لقياس الضغط ، التحول الذي يحدث بين حجم  $V' = 200\text{mL}$  من محلول حمض الكلوريدريك  $(\text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^{+} + \text{Cl}_{(\text{aq})}^{-})$  ذي التركيز المولى  $C = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  و كتلة  $m(\text{Mg}) = 0,9\text{g}$  من المغنيزيوم .



$$\text{R} = 8,31 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{mg}) = 24 \text{ g.mol}^{-1}$$

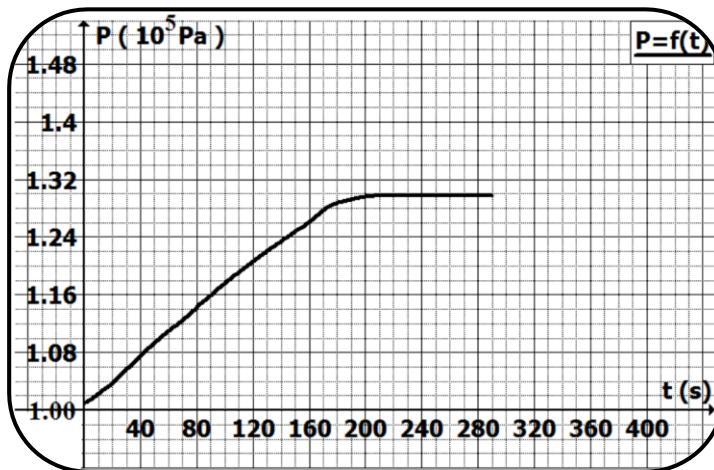
نعطي :  $\text{R} = 8,31 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  ، ثابتة الغازات الكاملة : 1

أحسب كمية المادة البدئية للمتفاعلات . 2

حدد المترافق المحد ؟ علل جوابك . 3

الضغط الجوي في الشروط التجريبية هو  $P_{\text{atm}} = 1,009 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  . نقيس الضغط للغاز الموجود في الحوجلة لحظات مختلفة ، و نعطي قيمة العلاقة :  $P = P_{\text{atm}} + P_{\text{H}_2}$

فنحصل على المحننى التالي الممثل لتغيرات الضغط  $P$  بدلالة الزمن :  $P = f(t)$



1 - أوجد التعبير الحرفي للتقدم  $x$  بدلالة  $P_{\text{H}_2}$  .

2 - استنتج التقدم الأقصى  $x_{\text{max}}$  للتتفاعل .

## التمرين التطبيقي الثاني :

ندرس التطور الزمني لتفكك الماء الأوكسيجيني إلى الماء و ثاني الأوكسيجين بوجود حفاز ز عند لحظة  $t = 0$  التركيز المولى من الماء الأوكسيجيني هو  $[H_2O_2]_0 = 60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  ز درجة حرارة المجموعة الكيميائية تبقى ثابتة طيلة التفكك . نقيس الحجم  $V(t)$  لثاني الأوكسيجين المتتصاعد ، تحت ضغط ثابت يساوي  $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  . بالنسبة لحجم  $V_s = 20 \text{ mL}$  من محلول ، نحصل على المحننى التالي الممثل لتغيرات  $V(t)$  بدلالة الزمن .

1 - معادلة تفاعل تفكك الماء الأوكسيجيني .

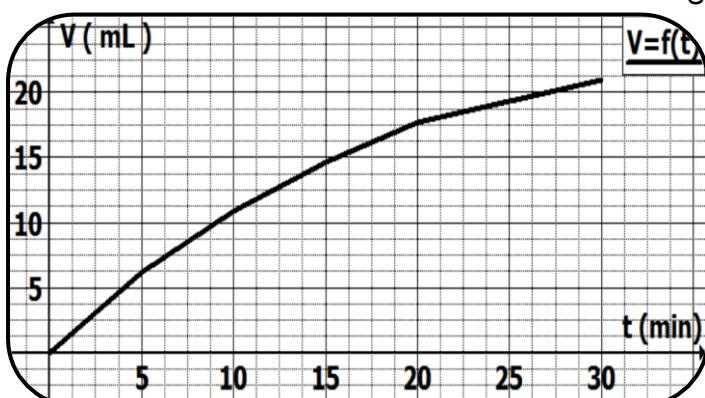
2 - حدد تقدم التفاعل في اللحظات :

$$t_4 = 20 \text{ min}, \quad t_3 = 15 \text{ min}, \quad t_2 = 10 \text{ min}, \quad t_1 = 5 \text{ min}$$

$$t_5 = 30 \text{ min}$$

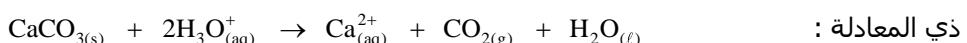
نعطي الحجم المولى للغازات في شروط التجربة :

$$V_m = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$$



## التمرين التطبيقي الثالث :

نضع في حوجلة الكتلة  $m_0 = 2,00\text{g}$  من كربونات الكالسيوم ثم نصب عليها الحجم  $V_S = 100\text{ml} = 100\text{cm}^3$  من محلول حمض الكلوريدريك  $(\text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^-)$  ذي التركيز المولى  $C = 100\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ . فنلاحظ تصاعد غاز ثانوي أوكسيد الكربون ، المتكون نتيجة التفاعل



ذى المعادلة :  
حجم محلول لا يتغير ؛ نحصل على الغاز المتتصاعد بواسطة تركيب مناسب ثم نقيس حجمه  $V_{\text{CO}_2}$  ، عند درجة الحرارة  $T = 20^\circ\text{C}$  و تحت الضغط  $P = 101,3\text{kPa}$ .

بعد مرور المدة  $\Delta t = 46\text{s}$  يساوى  $V_{\text{CO}_2} = 51,2\text{ml}$  . حدد كمية المادة للمجموعة الكيميائية عند هذه اللحظة .

$$R = 8,314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \quad , \quad M(\text{CaCO}_3) = 100\text{g.mol}^{-1}$$

نعطي : اتبع المراحل التالية :

أ) أنشئ الجدول الوصفي للتفاعل .

ب) أوجد تعبير تقدم التفاعل  $x(t)$  بدلالة  $(t)$  .

ج) أنجز التطبيق العددي باستعمال الوحدات المناسبة .

د) حدد كميات المادة للأنواع المشاركة في التفاعل .

هـ) فكر في الأنواع التي لم تشارك في التفاعل .

## التمرين التطبيقي الرابع : تحديد كميات المادة لمجموعة متفاعلة عند لحظة معينة .

أحادي أوكسيد الكربون  $\text{CO}$  غاز يتفاعل مع الحديد ليكون مركبا صيغته  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  ، الذي يسمى خماسي كربونيل الحديد . عند  $T = 200^\circ\text{C}$  ، وفي الظلام ، خماسي كربونيل الحديد الغازي يتفكك ببطء إلى حديد صلب وأحادي أوكسيد الكربون الغازي نضع في حوجلة سعتها  $V = 250\text{ml}$  بدئيا فارغة كمية المادة  $n_0 = 2,0\text{mmol}$  من خماسي كربونيل الحديد . نسد فوهة الحوجلة ثم نسخنها حتى تصل درجة الحرارة القيمة  $200^\circ\text{C}$  و نحافظ على هذه القيمة .

نسجل الضغط الكلي  $P$  داخل الحوجلة بدلالة الزمن ، فنجد عند اللحظة  $t = 20\text{min}$  الضغط  $P = 105,0\text{kPa}$  .

نعتبر الغازات كاملة و نعطي :  $R = 8,314\text{J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  .

$$x(t) = \frac{1}{4} \left( \frac{P(t) \cdot V}{R \cdot T} - n_0 \right) \quad (1)$$

2) حدد كميات المادة للأنواع الكيميائية للمجموعة .

## 3 . ) سرعة تفاعل كيميائي :

### 1 . 3 ) تعريف :

ليكن  $x(t)$  تقدم التفاعل عند لحظة  $t$  ، إذا كان التفاعل يحدث في وسط مائي حجمه  $V$  ، نعرف السرعة الحجمية للتفاعل عند

$$v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx(t)}{dt} \quad \text{اللحظة } t \text{ بالعلاقة :}$$

$\frac{dx(t)}{dt}$  تمثل المعامل الموجه لمماس المنحنى  $x = f(t)$  عند اللحظة المعنية  $t$  .

ملحوظات :

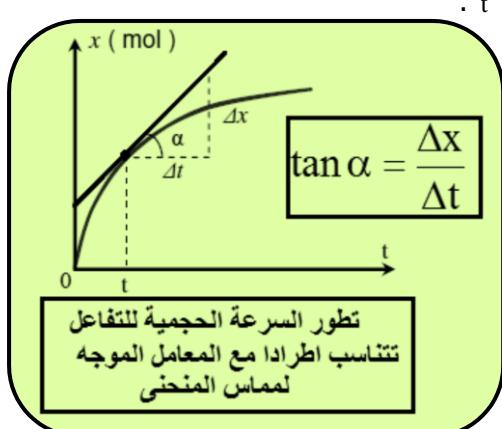
- سرعة التفاعل مقدار موجب

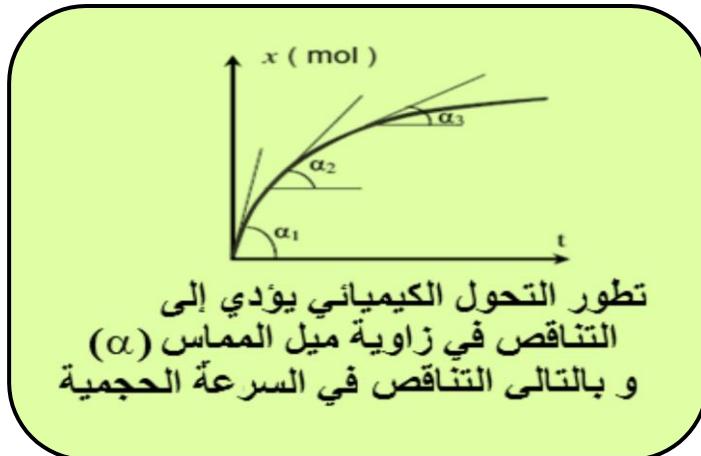
- غالبا يعبر عن حجم محلول بوحدة الليتر ( $\ell$ ) ، لذا يعبر عن السرعة الحجمية للتفاعل بوحدة :  $\text{mol} \cdot \ell^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

- إذا كان التفاعل بطينا جدا ، يعبر عن السرعة الحجمية للتفاعل بوحدة :  $\text{mol} \cdot \ell^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  أو  $\text{mol} \cdot \ell^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

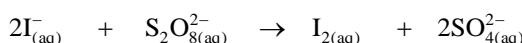
## 3 . 2 ) تطور سرعة التفاعل المندرج لتحول كيميائي :

إن المعامل الموجه لمماس المنحنى  $x = f(t)$  يتناقص من لحظة إلى أخرى مع مرور الزمن ، وهذا يعني أن سرعة التفاعل تتناقص حتى تنعدم عند نهاية التفاعل .

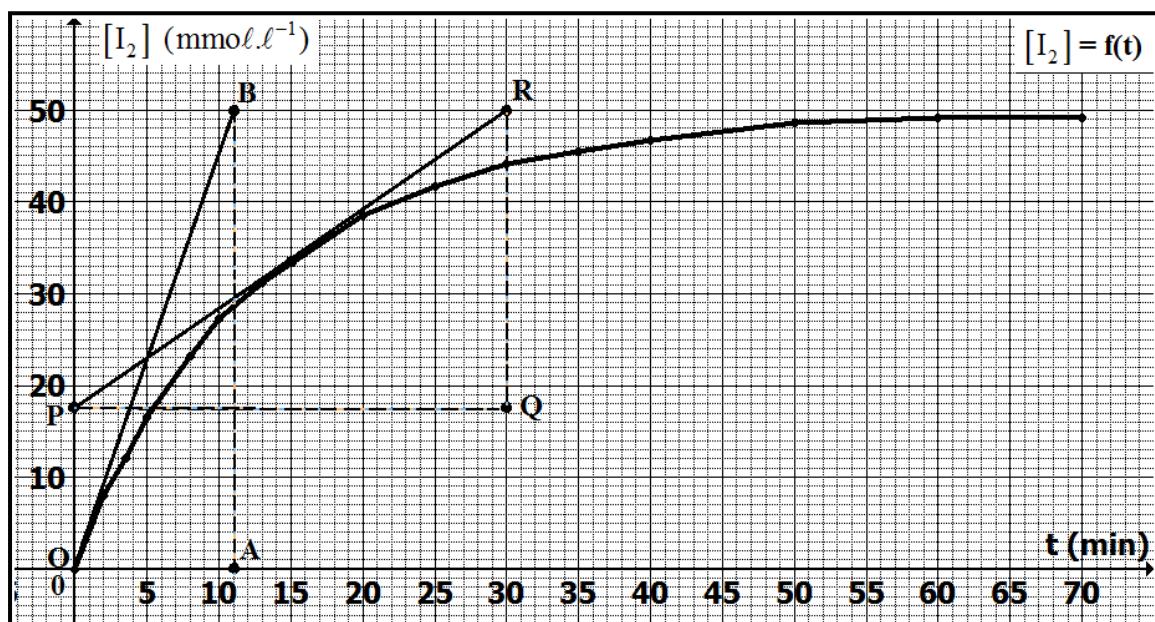




**مثال :** لنعتبر تفاعل أيونات اليودور  $I_{(aq)}^-$  مع أيونات بيروكسوبيريودات  $S_2O_8^{2-}_{(aq)}$ . حيث هذه الأخيرة تؤكسد الأولى حسب



معادلة التفاعل التالية :  
هذا التفاعل بطيء لذا يمكن تتبعه بمعايرة ثاني اليود المتكون ، حيث نحصل على المبيان الممثل في الشكل التالي :



لنشئ الجدول الوصفي للتفاعل :

				المعادلة الكيميائية
$2I_{(aq)}^-$	$+ S_2O_8^{2-}_{(aq)}$	$\rightarrow I_{2(aq)}$	$+ 2SO_4^{2-}_{(aq)}$	كمية المادة البدئية
$n_{I^-}(0)$	$n_{S_2O_8^{2-}}(0)$	0	0	كمية المادة عند لحظة $t$

نلاحظ أن تقدم التفاعل عند لحظة  $t$  يساوي كمية مادة ثاني اليود المتكونة عند هذه اللحظة :

$$x(t) = [I_2]_t . V$$

و بذلك فإن :

اعتمادا على تعريف السرعة الحجمية للتفاعل نكتب :

$$v(t) = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{d(V[I_2])}{dt} \right)$$

حجم محلول ثابت ، ومنه :

$$v(t) = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{d(V[I_2])}{dt} \right)_t = \frac{V}{V} \cdot \left( \frac{d[I_2]}{dt} \right)_t = \left( \frac{d[I_2]}{dt} \right)_t$$

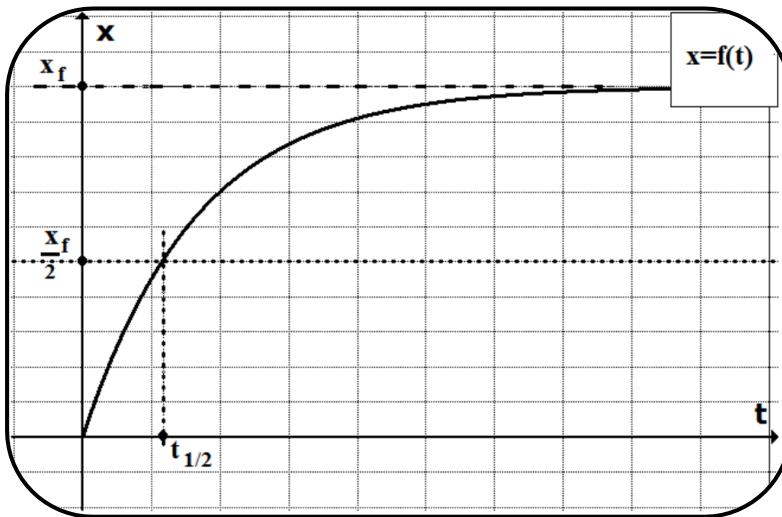
لنعتبر  $\alpha$  ثابتة و  $f(t)$  دالة ذات المتغير  $t$  مشتقة ثابتة متعدمة ، لدينا :

$$\frac{d(\alpha \cdot f)}{dt} = \alpha \cdot \frac{df}{dt}$$

إذن السرعة الحجمية للتفاعل في هذا المثال تساوي المشتقة بالنسبة للزمن للتركيز المولى لثنائي اليود .  
مبياناً السرعة الحجمية للتفاعل عند لحظة  $t_1$  تساوي المعامل الموجه (أو ميل ) لمماس المنحنى  $[I_2] = f(t)$  عند النقطة ذات الأقصوى  $t_1$  .

$$v(t=0) = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} = \frac{50}{11} \Rightarrow v(0) = 4,5 \text{ mmol.l}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

$$v(t=15) = \frac{\overline{QR}}{\overline{PQ}} = \frac{(50-17,5)}{30} \Rightarrow v(15) = 1,1 \text{ mmol.l}^{-1}.\text{min}^{-1}$$



### 3 - 3 ) زمن نصف التفاعل :

زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  هو المدة الزمنية الضرورية لكي يبلغ التفاعل نصف تقدمه النهائي  $x = \frac{x_f}{2}$  .

إذا كان التفاعل كلها أي  $x_f = x_{\max}$  ، فإن  $t_{1/2}$  يمثل المدة الضرورية نصف كمية مادة المتفاعلة المحد .

مبياناً نعين  $\frac{x_f}{2}$  ثم نقرأ على محور الزمن قيمة  $t_{1/2}$  الموافقة لذلك (الشكل جانبه) . إن معرفة زمن نصف التفاعل يمكن من مقارنة تفاعليين من حيث السرعة و كذلك التحكم في التحول الكيميائي الموافق .

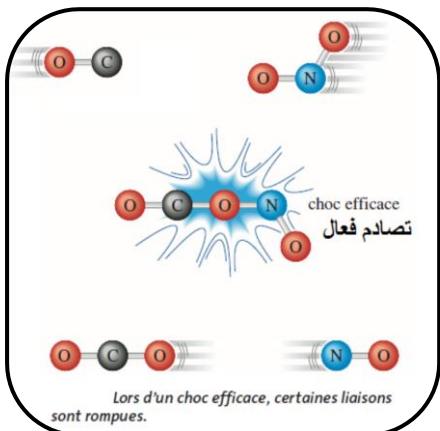
#### \*ملحوظات :

- يمكن اعتبار التحول الكيميائي في حالته النهائية بعد مرور تقريراً المدة  $7t_{1/2}$  .
- أثناء التتبع الزمني لتحول كيميائي يجب أن تكون المدة الزمنية بين كل قياسين أصغر بكثير من زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  ، لضمان سلامة الدراسة .

### 4 - 4 ) كيف نفسر مختلف العوامل الحركية على المستوى الميكروسكوبى :

**الحركة البروونية :** هي الحركة العشوائية ل دقائق صلبة صغيرة تحت تأثير مائع (سائل أو غاز) . حيث أن حركة الأنواع الكيميائية (ذرات ، جزيئات أو أيونات) المتواجدة في مائع لها حركة عشوائية سريعة ، و نتيجة لهذه الحركة تتكتسب هذه الأنواع طاقة حرارية مجهرية (ميكروسكوبية) متعلقة بدرجة الحرارة . إن التغير في درجة حرارة مائع يغير من الطاقة الحرارية لهذه الأنواع الكيميائية ولذلك تسمى هذه الحركة بالإرتجاج الحراري (agitation thermique) .

#### 4 - 2 ) التصادم الفعال :



لعتبر التفاعل الكيميائي المندمج بالمعادلة التالية :  $A+B \rightarrow C+D$  القول بأن هناك تفاعل كيميائي بين A و B يعني أنه وقع تماش بينهما في الوسط التفاعلي فيكون النوعين الكيميائيين C و D . وبالتالي تتحطم الروابط الكيميائية للانتقال من الحالة البديئة  $(A+B)$  إلى الحالة النهائية  $(C+D)$  .

يكون للنوعين A و B طاقة حرارية ميكروسكوبية ، إذا كانت هذه الطاقة ضعيفة فإن إلتقاء A و B يحدث بتصادم مرن و في هذه الحالة لا تتكسر الروابط الكيميائية وبالتالي لا يحدث تفاعل كيميائي . نقول في هذه الحالة أن التصادم غير فعال .

إذا كانت هذه الطاقة كافية فإن إلتقاء A و B يؤدي إلى تحطم الروابط الكيميائية و حدوث تفاعل كيميائي بينهما . نقول في هذه الحالة بأن التصادم فعال و وبالتالي ينتج عن ذلك النوعين C و D . نسبة فقط من التصادمات هي التي تكون فعالة .

ينتج التحول الكيميائي بسبب التصادمات الفعالة لأنواع المتفاعلة ، حيث تتحطم روابطها لت تكون روابط جديدة و ذلك راجع لطاقتها الحرارية الكافية و توجهها المناسب .

## 4 - 3 ) الحفز :

### \*تجربة :

نضع في أربعة كؤوس : (1) ، (2) ، (3) (4) حجما  $20\text{mL}$  من الماء الأوكسيجيني  $\text{H}_2\text{O}_2$  حيث :

- الكأس (1) يستعمل كشاهد .

- نضع في الكأس (2) قطعة من البلاتين .

- نضيف إلى الكأس (3) محلولا من كلورور الحديد III .  $(\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{Cl}^-_{(\text{aq})})$

- نضيف إلى الكأس (4) قطعة صغيرة من كبد حيوان كمصدر لل " catalase " .

نذكر أن الماء الأوكسيجيني يتحلل إلى ماء وثنائي الأوكسيجين وفق التفاعل المندرج بالمعادلة التالية ك



نلاحظ أن الماء الأوكسيجيني يلعب دور مؤكسد ومحترل في نفس الوقت ، هذه الظاهرة تعرف ب " التفكك الذاتي " (dismutation) .

### \*ملاحظة :

ـ لا نلاحظ انطلاق غاز ثانوي الأوكسيجين في الكأس رقم (1) لأن الماء الأوكسيجيني يتفكك بشكل بطئ في الظروف العادية.

ـ بعد لحظات في الكأس (2) نلاحظ تصاعد غاز ثانوي الأوكسيجين  $\text{O}_2$  الذي يمكن التعرف عليه قرب قطعة البلاتين .

ـ نلاحظ في الكأس (3) تصاعد غاز  $\text{O}_2$  ، و زوال اللون المميز لأيونات  $\text{Fe}^{3+}$  (لون الصدأ) ، ثم عندما ينتهي التفاعل نلاحظ ظهور اللون المميز لأيونات  $\text{Fe}^{3+}$  من جديد .

ـ نلاحظ في الكأس (4) انطلاق غاز  $\text{O}_2$  بسبب وجود أنزيم الكاتالاز و الذي يحتوي على أيونات  $\text{Fe}^{3+}$  .

### \*استنتاج :

كل من البلاتين ، أيونات  $\text{Fe}^{3+}$  و أنزيم الكاتالاز أنواع تساعد على تسريع التفاعل ، فهي حفازات و الظاهرة تسمى الحفز .

تبين التجارب السابقة بأن الحفازات أنواع كيميائية تستعمل بكميات قليلة من أجل تسريع التفاعل ( الذي يكون بطينا في الحالة العادية ) . و رغم أنها تساهم في التفاعل إلا أنها تظهر في الحالة النهائية كما كانت عليه في الحالة البدئية . و لهذا لا تكتب في معادلة التفاعل .

## 4 - 4 ) خلاصة :

تعلق سرعة التفاعل بعد التصادمات الفعالة في وحدة الحجم و في وحدة الزمن .

كلما ارتفعت درجة الحرارة أو تراكيز المتفاعلات أو بوجود حفاز ، زاد تردد التصادم الفعال ، مؤديا بذلك إلى ارتفاع سرعة التفاعل .