

## Exemples de transformations forcées

**I ( التحويلات التلقائية و التحويلات القسرية transformations spontanées et transformations forcées****1 - التحويلات التلقائية****1.1 - نشاط تجريبي**

في أنبوب اختبار نمزج مسحوق النحاس و محلول ثنائي البروم  $Br_2$  ، تركيزه المولي  $0,01 mol.L^{-1}$  . نلاحظ اختفاء مسحوق النحاس و المحلول يأخذ لون أزرق .

أ - أكتب معادلة التفاعل الحاصل بين  $Br_2$  و  $Cu$  .

ب - باستعمال باستعمال معيار التطور التلقائي ، علل التفاعل الحاصل في الأنبوب . نعطي ثابتة التوازن  $K = 1,2.10^{25}$  .

ج - نمزج في أنبوب محلول مائي لكبريتات النحاس II و محلول مائي لبرومور البوتاسيوم، هل يمكن أن يحدث تفاعل تلقائي بين بين الأيونين  $Br^-$  و  $Cu^{2+}$  ؟

د - عمم النتيجة بالنسبة لجميع التحويلات التلقائية .

**2.1 - استثمار**

أ - معادلة التفاعل  $Cu + Br_2 \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2Br^-$

ب - خارج التفاعل البدئي  $Q_{r,i} = \frac{[Cu^{2+}].[Br^-]^2}{[Br_2]} = 0$  بما أن  $Q_{r,i} < K$  فإن المجموعة الكيميائية تتطور تلقائيا في المنحى المباشر

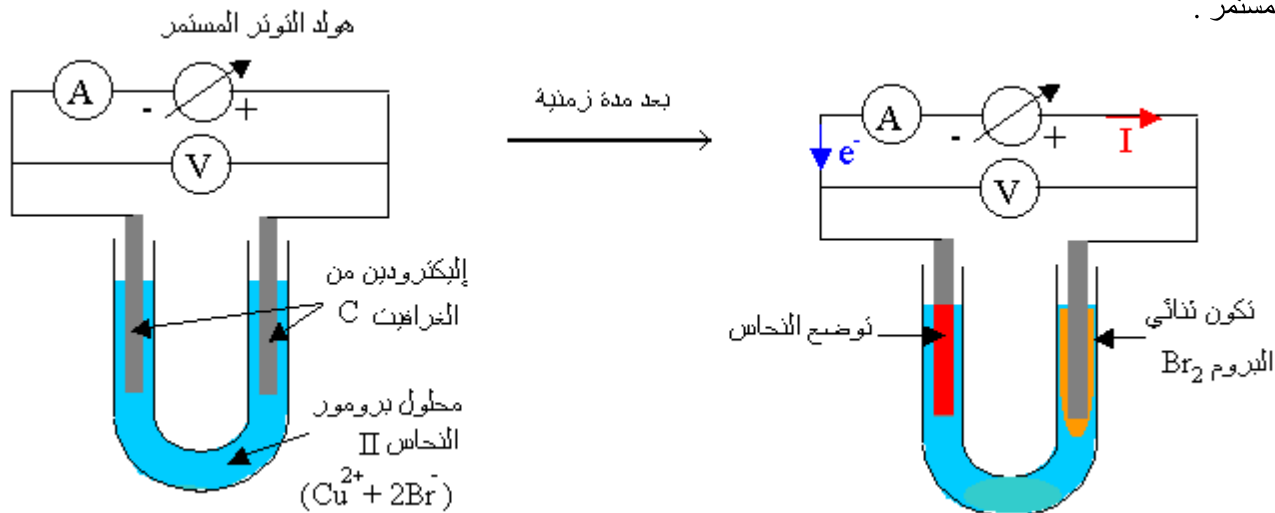
لمعادلة التفاعل الكيميائي . الشيء الذي يبين تكون  $Br^-$  و  $Cu^{2+}$  .

ج - لدينا  $Q_{r,i} = 0$  و ثابتة التوازن  $K' = 1/K = 0$  إذن المجموعة توجد تقريبا في حالة توازن و لا تتطور .

د - بالنسبة لعدد كبير من التحويلات الكيميائية تكون المجموعة الكيميائية في غير حالة التوازن فتتطور تلقائيا من الحالة البدئية إلى حالة التوازن إلى أن تصبح  $Q_r = K$  .

**2 - التحويلات القسرية****1.2 - نشاط تجريبي**

نصب في أنبوب على شكل U محلول مائيا لبرومور النحاس II ( $Cu^{2+} + 2Br^-$ ) و نصل إليكترودي الغرافيت بمولد للتيار الكهربائي المستمر .



أ - عين منحى التيار الكهربائي الذي يفرضه المولد .

ب - استنتج منحى حملات الشحنة الكهربائية :

- في أسلاك الربط و في الإليكترودين .

- في المحلول الموجود في الأنبوب على شكل U .

ج - كيف تتطور المجموعة الكيميائية عند مرور التيار الكهربائي الذي يفرضه العمود . اقترح تفسيراً لما تلاحظه على مستوى الإليكترودين

**2.2 - استثمار**

أ - يفرض مولد التوتر المستمر تياراً كهربائياً مستمراً يخرج من قطبه الموجب ، يمر بالأنود ثم الكاثود و الأمبيرمتر و يدخل من قطبه السالب .

ب - تتحرك الإليكترونات عكس منحى التيار الكهربائي أي من القطب السالب نحو الكاثود و من الأنود نحو القطب الموجب .

- تتحرك الكاثيونات  $Cu^{2+}$  في الأنبوب على شكل U في منحى التيار الكهربائي أي في اتجاه الكاثود .

- تتحرك الأنيونات  $Br^-$  في الأنبوب على شكل U عكس منحى التيار الكهربائي أي في اتجاه الأنود .

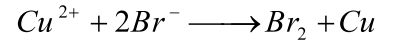
ج - عند الكاثود يحدث اختزال الكاثيونات  $Cu^{2+}$  حسب نصف المعادلة الإلكترونية التالية :  $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu$

مما يفسر الاختفاء التدريجي للون الأورق و توضع النحاس على الكاثود .

عند الأنود يحدث أكسدة الأيونات  $Br^{-}$  حسب نصف المعادلة الإلكترونية التالية :  $2Br^{-} \rightleftharpoons Br_2 + 2e^{-}$

مما يفسر اصفرار المحلول بجوار الأنود .

نستنتج أن المولد قسر ( أجبر ) المجموعة على التطور في المنحى المعاكس لمنحى تطورها التلقائي و نعبر عنه بالمعادلة التالية :



### 3 - خلاصة

عندما يفرض مولد للتوتر المستمر على مجموعة كيميائية ، تيار في المنحى المعاكس لمنحى التيار الملاحظ في حالة التطور التلقائي ، فإنه يفسرها على التطور في المنحى المعاكس لمنحى تطورها التلقائي .

يسمى هذا التحول القسري ، التحليل الكهربائي electrolyse .

## ( II ) أمثلة للتحليل الكهربائي Exemples d'électrolyse

### 1 - التحليل الكهربائي لكورور الصوديوم

#### 1.1 - نشاط تجريبي

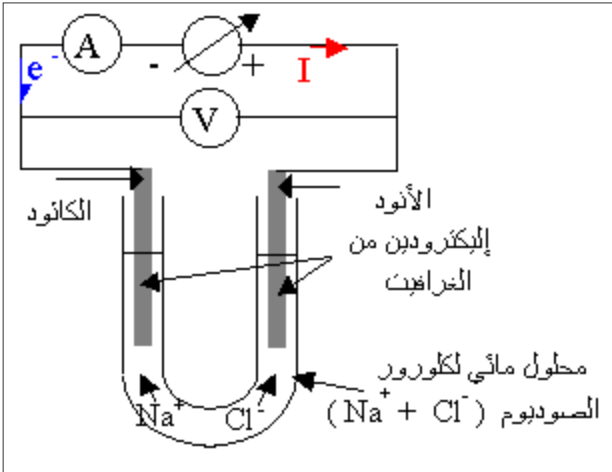
نملاً أنوب على شكل U بمحلول مائي لكورور الصوديوم  $(Na^{+} + Cl^{-})$  نغمر في كل فرع إلكترودا من الغرافيت .

نصل الإلكتروندين بمولد التوتر المستمر قوته الكهرومحرمة  $U_0 > 3,5V$  فيحدث تطور قسري . بعد بضع دقائق نصب بعض القطرات من الكاشف الملون الفينول فتالين بجوار الكاثود ، فنلاحظ أن المحلول يأخذ لونا ورديا و نصب بعض القطرات من الأنديجو (indigo) الأزرق القاتم اللون ، فنلاحظ اختفاء لون الأنديجو .

أ - ما هي التفاعلات الممكنة حدوثها على مستوى الأنود ؟

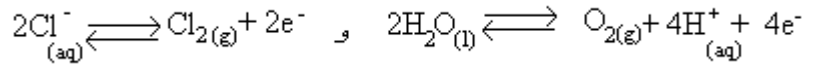
ب - ما هي التفاعلات الممكنة حدوثها على مستوى الكاثود ؟

ج - استنتج من الروايز المنجزة ، النواتج المتكونة فعلا خلال هذا التحليل الكهربائي . أثبت المعادلة الحصيلة لهذا التحليل الكهربائي .

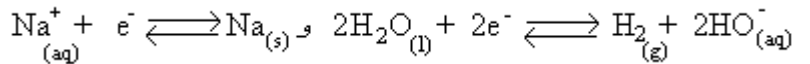


#### 2.1 - استثمار

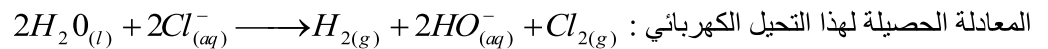
أ - المزدوجتان المتداخلتان عند الأنود هما :  $O_2/H_2O$  و  $Cl_2/Cl^{-}$  إذن التفاعلات الممكنة أن تحدث بجوار الأنود هي :



ب - المزدوجتان المتداخلتان عند الكاثود هما :  $Na^{+}/Na$  و  $H_2O/H_2$  إذن التفاعلات الممكنة أن تحدث بجوار الكاثود هي :



ج - الغاز الذي يحدث فعلا بجوار الأنود هو ثنائي الكلور  $Cl_2$  لأنه يزيل لون الأنديجو و بجوار الكاثود يتكون ثنائي الهيدروجين و أيونات الهيدروكسيد لأن الفينول فتالين يأخذ اللون الوردي بوجود أيونات الهيدروكسيد .



### 2 - التحليل الكهربائي لمحلول حمض الكبريتيك

#### 1.2 - نشاط تجريبي

نصب في المحلل الكهربائي المحلول المائي لحمض الكبريتيك . و نصل إلكترونديه بمولد التوتر المستمر قوته الكهرومحرمة  $U_0 > 3,5V$  فيحدث تطور قسري . نلاحظ انطلاق غاز  $H_2$  عند الكاثود و غاز  $O_2$  عند الأنود بحيث  $V(H_2) = 2V(O_2)$  .

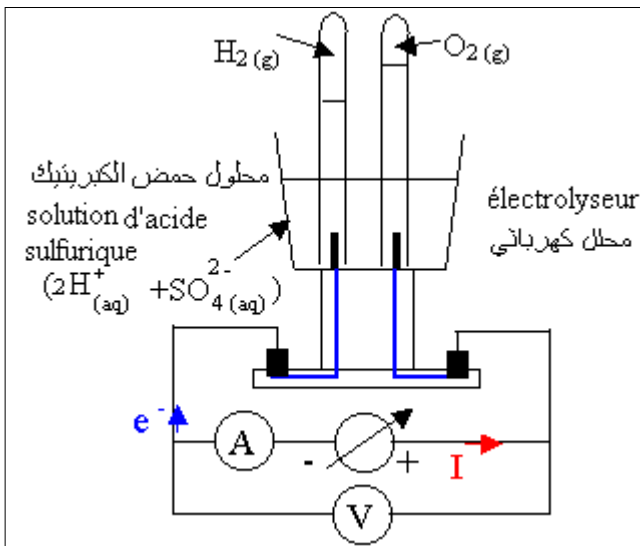
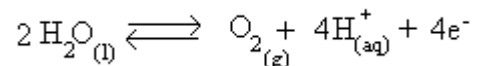
أ - ما هي التفاعلات الممكنة حدوثها على مستوى الأنود ؟

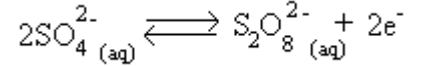
ب - ما هي التفاعلات الممكنة حدوثها على مستوى الكاثود ؟

ج - باعتبار النواتج الحقيقية لهذا التحليل الكهربائي . أثبت المعادلة الحصيلة لهذا التحليل الكهربائي .

#### 2.2 - استثمار

أ - المزدوجتان المتداخلتان عند الأنود هما :  $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$  و  $O_2/H_2O$  إذن التفاعلات الممكنة أن تحدث بجوار الأنود هي :





ب - المزدوجة المتداخلة عند الكاثود  $\text{H}^+/\text{H}_2$  و التفاعل الوحيد الذي يحدث بجوار الكاثود هو :  $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$

ج - المعادلة الحصيلة لتفاعل التحليل الكهربائي :  $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

### ( III ) الدراسة الكمية للتحليل الكهربائي étude quantitative d'électrolyse

نستعمل نفس علاقات الأعمد حيث  $n(\text{e}^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$

**مثال :** ننجز أثناء نصف ساعة، التحليل الكهربائي للمحلول المائي لحمض الكبريتيك تركيزه المولي  $C = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  فيمر في المحلل الكهربائي تيار كهربائي شدته  $I = 0,4 \text{ A}$  . أحسب حجم الغاز المنطلق عند الكاثود . نعطي الحجم المولي  $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$  و  $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$  و الحل :

نستعمل الجدول الوصفي للتحويل المحدث عند الكاثود :

معادلة التفاعل الكيميائي		$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$		
حالة المجموعة	التقدم	كميات المادة	$n(\text{e}^-)$	
البدئية	0	$n_i$	0	0
عند انتهاء المدة $\Delta t$	x	$n_i - 2x$	x	2x

$$n(\text{e}^-) = 2x = \frac{I \cdot \Delta t}{F} \Rightarrow x = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} = n(\text{H}_2)$$

$$\frac{I \cdot \Delta t}{2F} = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} \Rightarrow V(\text{H}_2) = \frac{I \cdot \Delta t \cdot V_m}{2F}$$

$$V(\text{H}_2) = \frac{0,4 \cdot 1800 \cdot 24}{2 \cdot 96500} = 0,089 \text{ L}$$

### ( IV ) بعض تطبيقات التحليل الكهربائي Quelques applications de l'électrolyse

للتحليل الكهربائي عدة تطبيقات رقم الكلفة المرتفعة للطاقة الكهربائية التي يستهلكها و من بين هذه التطبيقات :

- 1 - تحضير و تنقية العديد من الفلزات كالألمنيوم و النحاس و الزنك .
- 2 - تحضير بعض المحاليل المائية و بعض الأيونات و بض الغازات كثنائي الكلور و ماء جافيل و الماء الوكسجيني و ثنائي الهيدروجين و ثنائي الوكسجين
- 3 - إعادة شحن بطاريات السيارات و بطاريات الهواتف المحمولة .

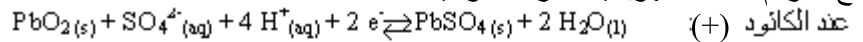
### ( V ) المُرَكَّم الرصاصي

يتكون المُرَكَّم الرصاصي من إلكترودين من الرصاص ، أحدهما مغطى بثنائي أوكسيد الرصاص و يمثل القطب الموجب للمركم. الإلكترودان مغموران في محلول إلكتروليتي و هو خليط بين حمض الكبريتيك  $(2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}))$  و كبريتات الرصاص الثاني II

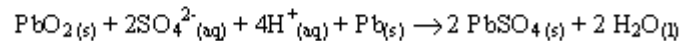
$\text{PbSO}_4(\text{s})$

#### 1 - حالة الإشتغال كمولد

يمنح المركم الطاقة الكهربائية للدارة الخارجية

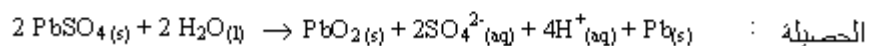
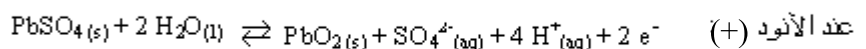
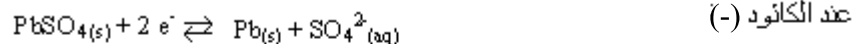


تتطور المجموعة حسب المنحى المباشر لمعادلة التفاعل الكيميائي



#### 2 - حالة الإشتغال كمستقبل

لشحن المركم الرصاصي ، نركب على التوالي بين مربطيه مولدا للتوتر المستمر. هذا المولد يفرض تيارا في المنحى المعاكس لمنحى التيار الملا حظ أثناء التفريغ . عندئذ يلعب المركم الرصاصي دور محلل كهربائي

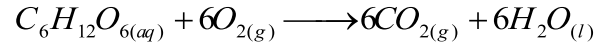


تتطور المجموعة الكيميائية في المنتحى المعاكس لمنحى التطور التلقائي .

### ( VI ) التحولات التلقائية و التحولات القسرية في عالم الأحياء

### 1 - التحول التلقائي المرافق للتنفس

إنه سيرورة بيولوجية معقدة يتدخل فيها ثنائي الأوكسجين مثال استهلاك الغليكوز :



### 2 - التحول القسري المرافق للتركيب الضوئي

يمكن التركيب الضوئي ، في النباتات الكلوروفيلية من إنتاج السكريات و ثنائي الأوكسجين بواسطة تفاعل قسري معادلته :

