

تفاعلات الأسترة والحمأة Réaction d'estérification et d'hydrolyse

I - الكحولات والأحماض الكربوكسيلية

1 - الكحولات

- تتميز جزيئة الكحولات المجموعة المميزة $-OH$ مرتبطة بمجموعة ألكيلية .
الصيغة العامة للكحول هي : $R-OH$ بحيث أن R - جذر ألكيلي .

هناك ثلاثة أصناف من الكحولات :

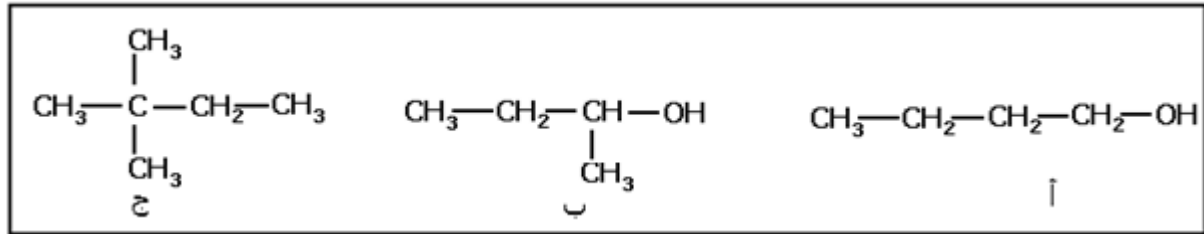
الكحول الأولي : $R-CH_2-OH$

الكحول الثانوي : $R-CR'H-OH$

الكحول الثالثي : $R-CR'R''-OH$

- تسمية الكحول : يسمى الكحول باسم الألكان الموافق له مع إضافة اللاحقة - أول (-ol) إلى نهاية الاسم مسبقة برقم يدل على موضع الكربون الوظيفي في السلسلة الكربونية .

تمرين تطبيقي :



صنف الكحولات التالية واعط أسمائها :

2 - الأحماض الكربوكسيلية

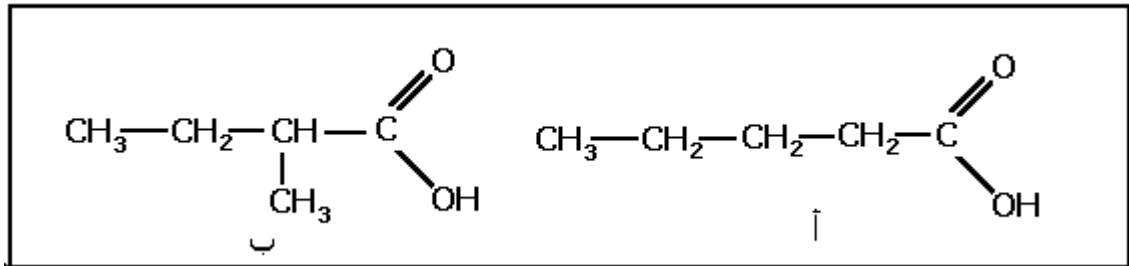
يحتوي الحمض الكربوكسيلي على المجموعة المميزة $-COOH$

الصيغة العامة لحمض كربوكسيلي هي $R-COOH$

تسمية الأحماض الكربوكسيلية : يتركب اسم حمض كربوكسيلي من كلمة حمض متبوعة باسم الألكان الذي له نفس الهيكل الكربوني مع إضافة اللاحقة ويك (oïque) إلى نهاية الاسم .

تمرين تطبيقي 2

أعط أسماء الأحماض الكربوكسيلية التالية :



II - أندريدات الحمض - الإسترات .

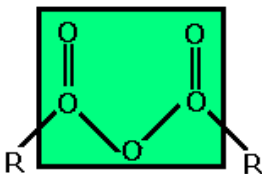
1 - أندريد الحمض

تحتوي جزيئة أندريد الحمض على المجموعة المميزة : $-CO-O-CO-$

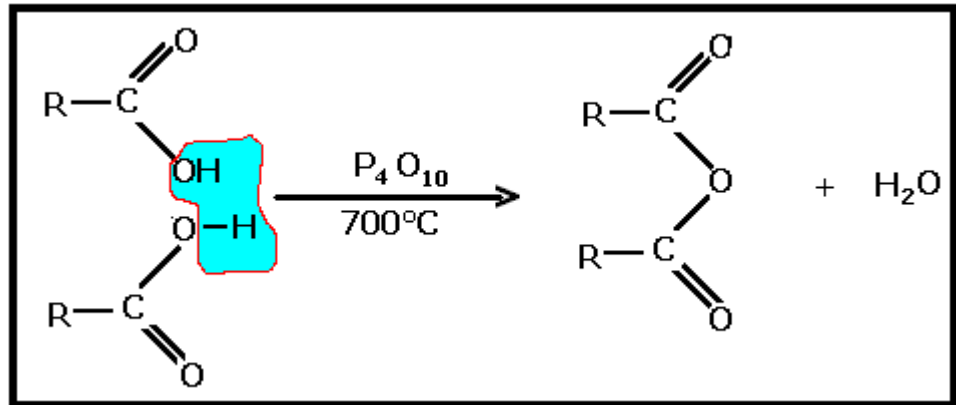
الصيغة العامة لأندريد الحمض هي : $R-CO-O-CO-R$

كيفية الحصول على أندريد الحمض :

تسخين الحمض الكربوكسيلي ، عند درجة الحرارة $700^\circ C$ وبوجود مزيل قوي للماء (أوكسيد الفوسفور) نحصل على أندريد الحمض ، ويتم هذا التفاعل



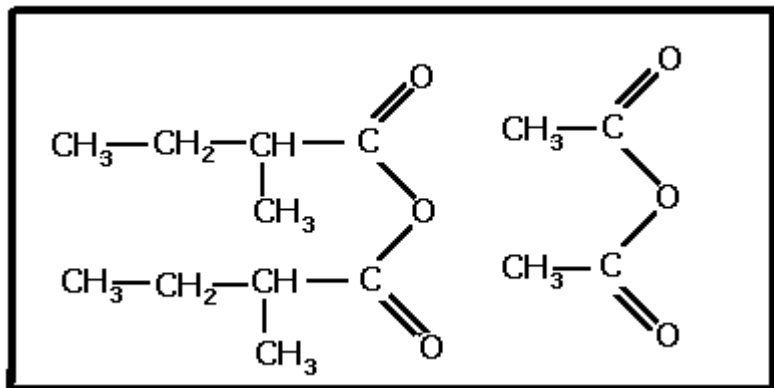
بحذف جزيئة الماء بين جزيئتين للحمض الكربوكسيلي .
معادلة التفاعل تكتب بصفة عامة على الشكل التالي :



تسمية أندريدات الحمض :
يسمى أندريد الحمض باسم الحمض الكربوكسيلي الموافق ، مع تعويض كلمة حمض بكلمة أندريد .

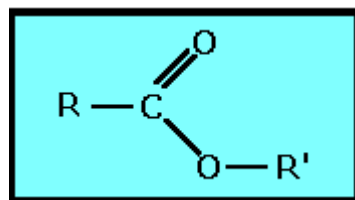
تمرين تطبيقي :

أعط أسماء اندريدات الحمض التالية :



2 - الإسترات

تضم جزيئة الإستر المجموعة المميزة :



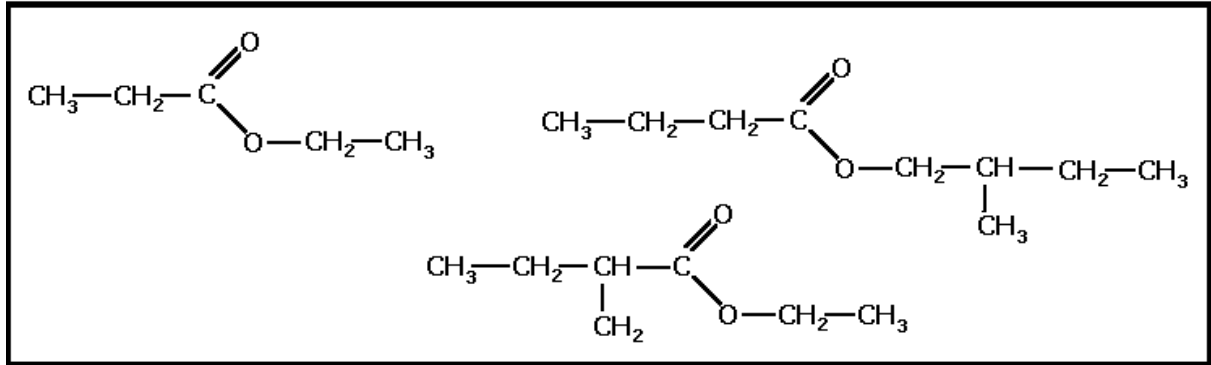
الصيغة العامة للإستر هي :

حيث R مجموعة ألكيلية أو ذرة هيدروجين ويمثل R' قطعا مجموعة ألكيلية .
تسمية الاسترات :

يتركب اسم الاستر من جزئين :

الجزء الأول يشتق من اسم الحمض الكربوكسيلي بتعويض اللاحقة "يك" باللاحقة "وات"
الجزء الثاني يوافق المجموعة الألكيلية المرتبطة بذرة الأوكسيجين .

تمرين تطبيقي :



3 - تصنيع الاسترات

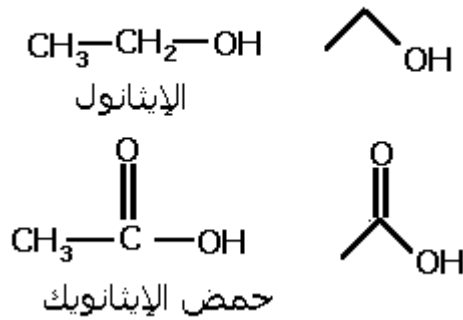
للإسترات دور كبير في تكوين العطور ، لأنها مركبات ذات رائحة معطرة وقابلة نسبيا للتطاير
دراسة تجريبية : تصنيع إيثانوات الإثيل .

نصب في دورق 50ml من حمض الإيثانويك و 5ml من الإيثانول ونضيف إليه بعض قطرات من حمض الكبريتيك بحذر .

نسد الدورق بمبرد هوائي ، ونضعه في حمام مريم درجة حرارته 80°C لمدة عشر دقائق تقريبا .

نصب محتوى الدورق في كأس مخروطية ، تحتوي على ماء مالح ، فنشم رائحة لم تكن موجودة لحظة مزج المتفاعلين ، ويظهر ناتج غير قابل للذوبان في الماء .

1 - أكتب الصيغ نصف المنشورة وأعط الكتابة الطبولوجية لكل من حمض الإيثانويك والإيثانول .

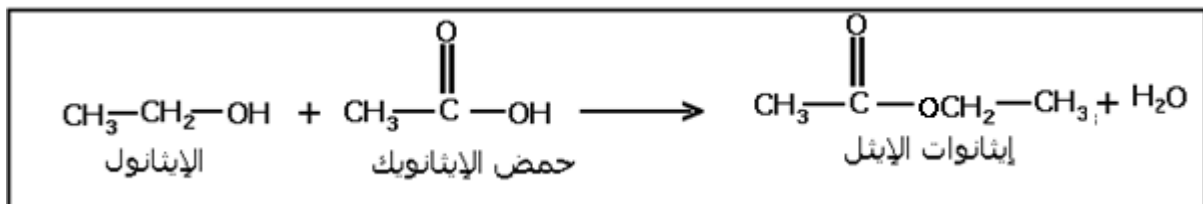


2

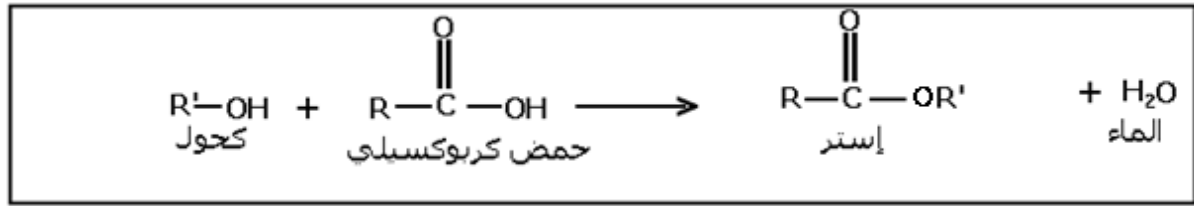
معادلته الكيميائية .

لقد حدث تفاعل كيميائي أدى إلى ناتج غير قابل للذوبان في الماء المالح وذو رائحة مميزة للإسترات إذن فهو إستر اسمه لإيثانوات الإيثل التفاعل يسمى بتفاعل الأسترة .

تكتب معادلته الكيميائية :



بصفة عامة ، الأسترة هي التفاعل بين حمض كربوكسيلي وكحول ويؤدي إلى تكون إستر والماء .



4 - حلمأة إستر

نشاط التجريبي 2 : تسخين خليط مكون من إيثانوات الإيثيل والماء .

نصب في حوجلة صغيرة ، 10ml من الماء المقطر ، ونضيف إليه 10ml من إيثانوات الإيثيل وبعض قطرات حمض الكبريتيك .

بعد تحريك الخليط نقيس pH فنجد أن pH = 7 نثبت مبردا رأسيا على فوهة الحوجلة ، ثم

نضع هذه الأخيرة في مسخن الحوجلة

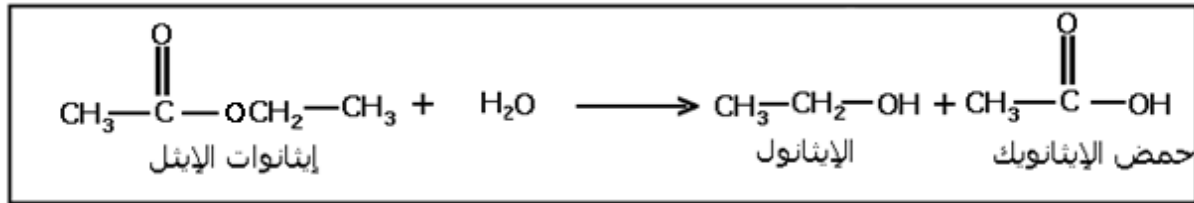
بعد تبريد الخليط ، نلاحظ أن pH = 5 .

1 - على ماذا يدل يدل تغير ال pH الملاحظ ؟

pH

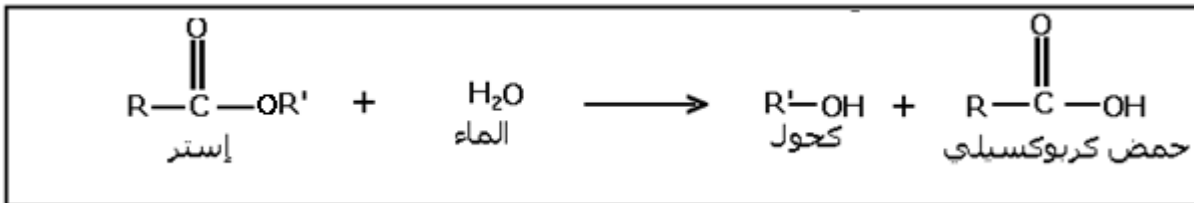
2 - ما هو التفاعل الذي حدث بين الماء و الإستر ؟

هناك تفاعل بين إيثانوات الإيثيل (إستر) والماء وناتج هذا التفاعل هو حمض إيثانويك حسب المعادلة الكيميائية التالية :



يسمى هذا التفاعل المعاكس لتفاعل الأسترة ، تفاعل الحلمأة .

بصفة عامة يعبر عن تفاعل حلمأة إستر بالمعادلة :



III - الدراسة التجريبية لحالة توازن الأسترة والحلمأة

1 - مميزات تفاعل الأسترة

نشاط تجريبي 3 : إبراز مميزات تفاعل الأسترة

في أواخر القرن التاسع عشر قام العالم برتولو وتلميذه بيان دويان جيل

بدراسة تفاعل أسترة مختلف الأحماض والكحولات .

في سنة 1862 م قام برتولو بدراسة منهجية للتفاعل بين حمض الإيثانويك والإيثانول ، وأبرز من

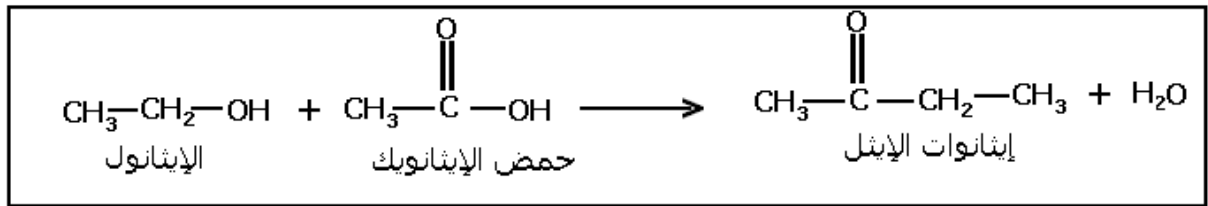
خلالها تواجد تفاعلين عكوسين يؤديان إلى توازن كيميائي .

- فيما يلي نرض وصف مبدأ التجارب المنجزة من طرف برتولو وتلميذه .
- إنجاز خليط متساوي المولات لحمض الإيثانويك والإيثانول .
 - توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته 20°C ، عند اللحظة $t=0$.
 - إخراج ، عند اللحظة t ، حبابة وتبريدها ومعايرة محتواها بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم بوجود فينول الفثالين ، وذلك لتحديد كمية الحمض المتبقي .
 - يعطي الجدول التالي النتائج التي حصل عليه برتولو وبيان دوسان جيل :

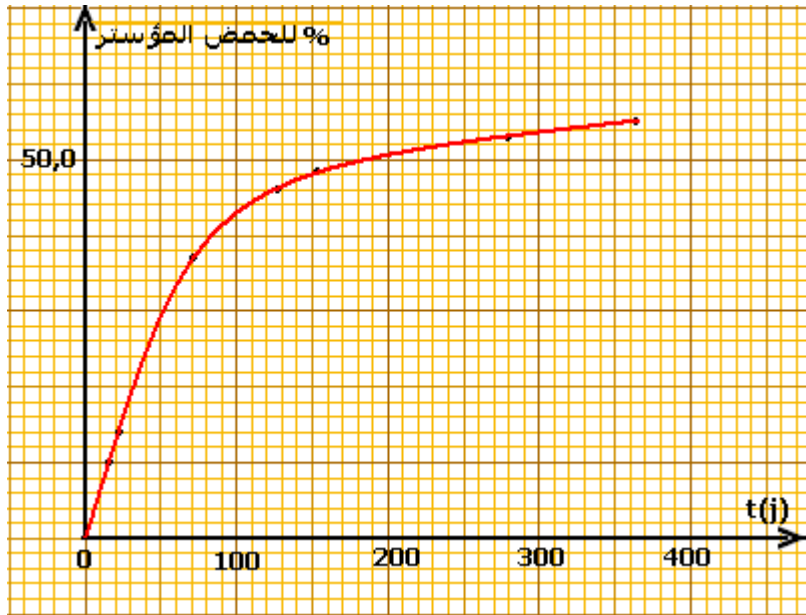
المدة : $t(\text{jours})$	15	22	70	128	154	277	386
نسبة الحمض المؤسّتر	10,0	14,0	37,3	46,8	48,1	53,7	55,0

استثمار

أكتب معادلة تفاعل الأسترة الذي أنجزه برتولو وتلميذه .



2 – أرسم المبيان الممثل للنسبة المئوية للحمض المؤسّتر بدلالة الزمن .



3 – ما هي مميزات تفاعل الأسترة ؟

- الأسترة تفاعل بطيء
- تؤول النسبة المئوية للحمض المؤسّتر نحو قيمة حدية أصغر من 100% أي لأن تفاعل الأسترة ، تفاعل محدود (غير كلي) .

2 – مميزات تفاعل الحلمأة

نشاط تجريبي 4 : إبراز مميزات

تفاعل الحلمأة

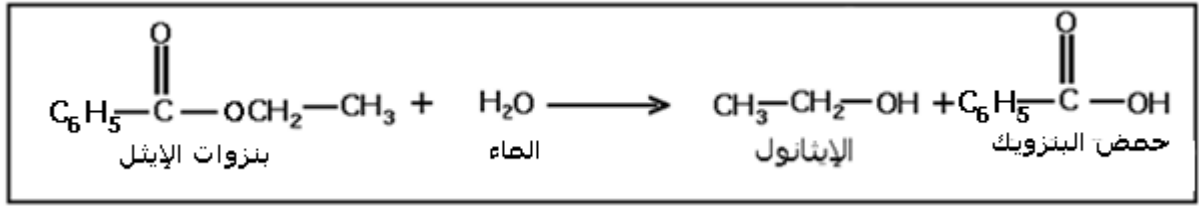
لدراسة تفاعل الحلمأة اتبع الكيميائيان نفس البروتوكول التجريبي السابق :

- تحضير خليط يتكون من مول واحد من بنزوات الإيثيل $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5$ و 83 مولا من الماء .

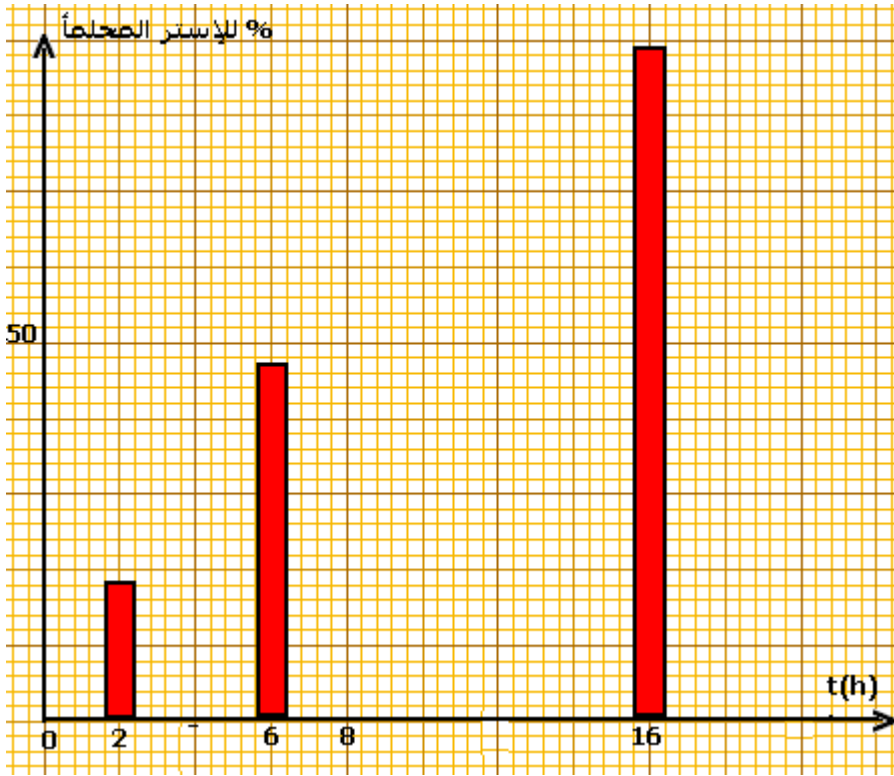
- توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته 20°C ، عند اللحظة $t=0$.
- إخراج ، عند اللحظة t ، حبابة وتبريدها ومعايرة محتواها بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم بوجود فينول الفثالين ، وذلك لتحديد كمية الحمض المتكون خلال الحلمأة
- يعطي الجدول النسبة المئوية للإستر المحلماً عند 200°C بدلالة الزمن :

المدة $t(h)$	2	6	16
% للإستر المحلماً	18,2	47,0	88,8

1 - أكتب معادلة تفاعل حلمأة بنزوات الإثيل $C_6H_5COOC_2H_5$.



2 - مثل بواسطة المخطط المضلعي ، النسبة المئوية للإستر المحلماً بدلالة الزمن



يمثل المخطط المضلعي

النسبة المئوية للإستر المحلماً

عند درجة حرارة 200°C

3 - ما هي مميزات تفاعل

الحلمأة ؟

- تفاعل الحلمأة تفاعل بطيء .

4 - حدد نسبة التقدم النهائي

τ لتفاعل الحلمأة .

يحتوي الخليط في الحالة

البدئية على 1mol من بنزوات

الإيثل و 83mol من الماء ،

التقدم الأقصى للتفاعل هو :

$x_{\max} = 1\text{mol}$ لكن الإستر

المحلماً لم يتجاوز $88,8\%$ أي

أن نسبة التقدم هي :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{0,888}{1} = 0,888$$

أي أن تفاعل الحلمأة تفاعل غير كلي فهو محدود .

3 - التوازن أسترة - حلمأة

لنبين أن تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة يؤديان إلى توازن كيميائي :

تفاعل الأسترة : تكون سرعة التفاعل في البداية كبيرة جداً لأن تركيزي المتفاعلين كبيران

خلال التفاعل تتناقص السرعة نتيجة استهلاك المتفاعلين

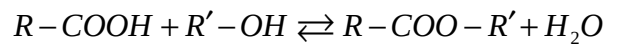
والماء المتكونين بسرعة تتزايد تدريجياً نتيجة تزايد تركيزي الماء والإستر المتكونين إلى أن

تصبح

خلاصة :

- تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة تفاعلات متزامنان يحدثان في منحين متعاكسين ويؤديان معا

إلى حالة توازن كيميائي .



- عندما يصبح للأسترة والحلمأة ، السرعة نفسها ، تكون المجموعة مقرر توازن كيميائي يتميز

بالثابتة :

$$K = \frac{[\text{RCOOR}']_{\text{éq}} [\text{H}_2\text{O}]_{\text{éq}}}{[\text{RCOOH}]_{\text{éq}} [\text{R'OH}]_{\text{éq}}}$$

ملحوظة : لا يعتبر الماء في تفاعلات الأسترة والحلماء كمذيب وهذا ما يجب الانتباه إليه خلال حساب خارج التفاعل .

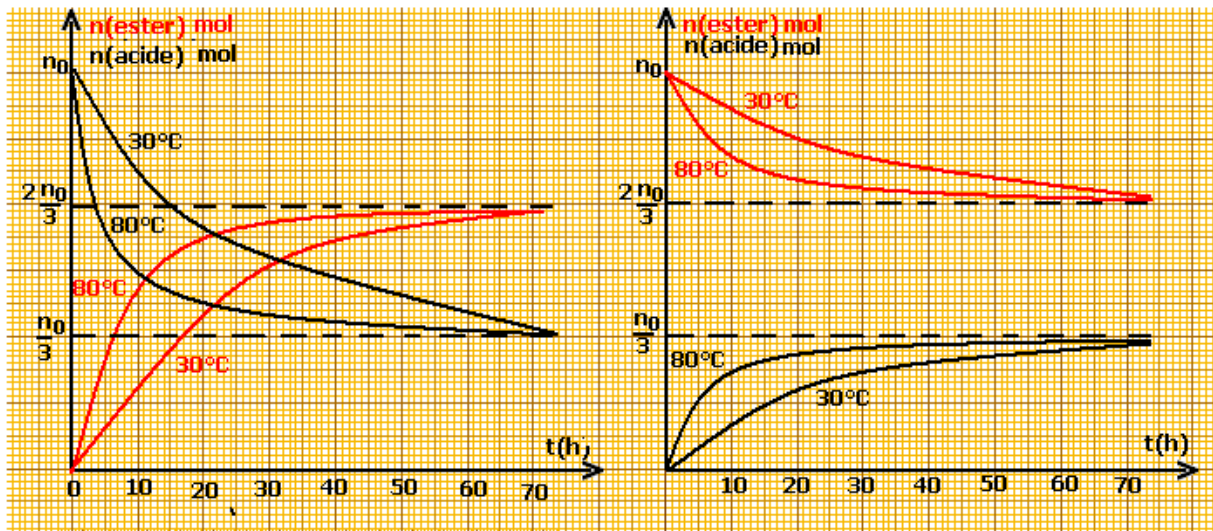
4 - التحكم في تفاعل الأسترة والحلماء

تفاعل الأسترة وتفاعل الحلماء تفاعلات بطيئين . ما هي العوامل التي تتحكم في سرعتهما ؟
4 - 1 تأثير درجة الحرارة

نشاط تجريبي 5 : تأثير درجة الحرارة .

يمكن التحكم في سرعة تفاعل كل من الأسترة والحلماء بتغيير درجة حرارة الخليط التفاعلي نتبع تجربياً عند درجة حرارة مختلفتين $\theta_1 = 30^\circ C$ و $\theta_2 = 80^\circ C$

تطور خليط متساوي المولات لحمض الإيثانويك والإيثانول (n_0 مول من الحمض و n_0 من الكحول) فنحصل على المبيان (1). (على اليسار)
 تطور خليط متساوي المولات لإيثانوات الإثيل والماء فنحصل على المبيان (2) (على اليمين)



تأثير درجة الحرارة على أسترة خليط متساوي المولات لحمض وكحول

تأثير درجة الحرارة على حلماء خليط متساوي المولات لإستر والماء

– من خلال المبيانين ما هو تأثير درجة الحرارة على سرعة التفاعل ؟
 – نلاحظ أنه خلال ارتفاع درجة الحرارة يجعل المجموعة تصل إلى حالة التوازن خلال مدة أقصر
 – نلاحظ أن المنحنيات الأربع تؤول إلى نفس التقدم النهائي أي كانت درجة حرارة الوسط التفاعلي . ونستنتج أن ارتفاع درجة الحرارة ، لا يغير تركيب المجموعة عند التوازن .
خلاصة :

يمكن ارتفاع درجة الحرارة من وصول حد التوازن أسترة – حلماء بسرعة أكبر دون تغيير هذا الحد .

ملحوظة : عملياً لرفع درجة حرارة الوسط لتفاعلي أي الزيادة في سرعة التفاعل ننجز التفاعل باستعمال تركيب التسخين بالارتداد .

4 - 2 تأثير الحفاز

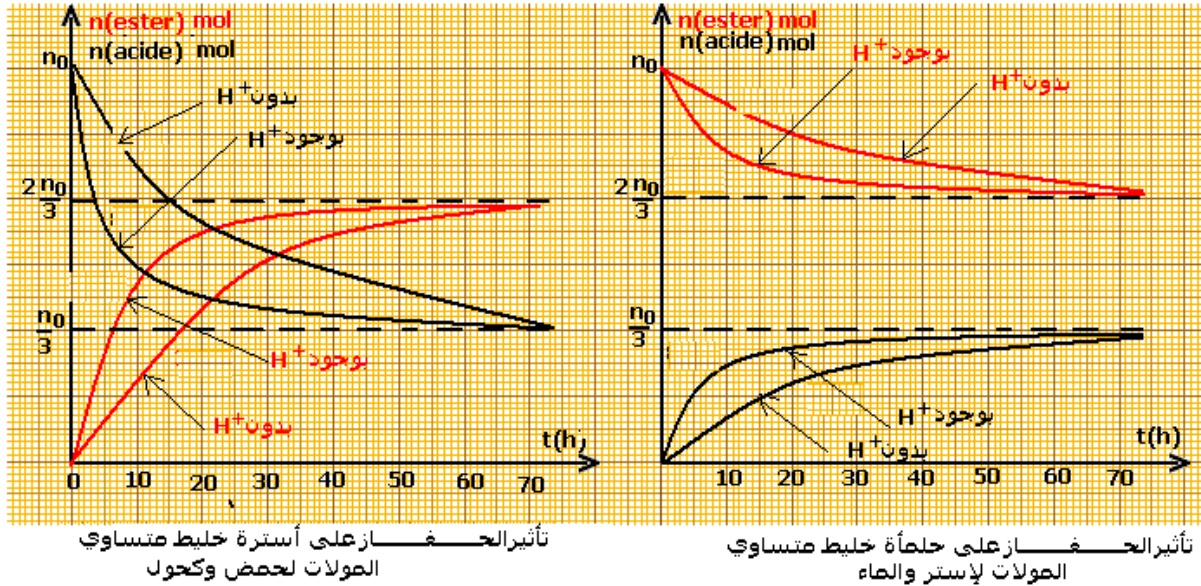
تعريف :

الحفاز نوع كيميائي يرفع سرعة التفاعل دون أن يتدخل في معادلة التفاعل .

النشاط التجريبي 6 : تأثير الحفاز على سرعة التفاعل .

ننجز تفاعل الأسترة والحلماء لخليط متساوي المولات :

- لحمض الإيثانويك لإيثانول بدون إضافة حمض الكبريتيك ، ثم بإضافة بعض قطرات حمض الكبريتيك فنحصل على المبيان (1)
- للإيثانوات الإثيل والماء
- فنحصل على المبيان (2)



استنتج دور أيونات H^+ خلال تفاعل الأسترة والحلمأة من خلال تحليل المنحنيين .
 – نلاحظ أن الأيونات H^+ المضافة إلى الوسط التفاعلي تلعب دور الحفاز بالنسبة لكل من تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة . لكون أن المجموعة تصل إلى حالة التوازن في مدة زمنية أقصر مقارنة مع المجموعة التي لم تتم فيها إضافة H^+ .
 – نلاحظ أن الحفاز لا يمكن من تغيير تركيب حالة التوازن .

خلاصة :

يمكن الحفاز من تسريع التفاعل دون تغيير تركيب المجموعة عند التوازن .

VI – التحكم في الحالة النهائية لمجموعة كيميائية .

من خلال الدراسة السابقة تبين أن تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة تفاعلات غير كليان ويؤديان إلى توازن كيميائي حيث أن نسبة التقدم النهائي $x_f < x_{max}$ لذلك يمكن تقييم فعالية التقدم بتعريف مردوده .

1 – تعريف مردود تحول كيميائي .

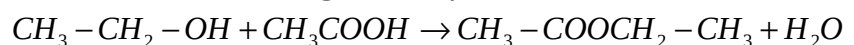
يساوي المردود r ، لتفاعل كيميائي خارج كمية المادة n_{exp} المحصلة تجريبيا على كمية المادة n_{max} المنتظر الحصول عليها .

$$r = \frac{n_{exp}}{n_{max}}$$

تمرين تطبيقي :

خلال تفاعل الأسترة والحلمأة بين $1,0\text{ mol}$ من حمض الإيثانويك و $1,0\text{ mol}$ من الإيثانول ، يكون مردود هذا التفاعل هو 60% .

1 – أكتب المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل .



2 – أوجد تركيبة الخليط في الحالة النهائية .

معادلة التفاعل		$CH_3 - CH_2 - OH + CH_3COOH \rightarrow CH_3 - COOCH_2 - CH_3 + H_2O$				
الحالة	التقدم	كميات المادة				
البدئية	0	0,1	0,1		0	0
خلال التفاعل	x	0,1-x	0,1-x		x	x
عند التوازن	x_{eq}	0,1- x_{eq}	0,1- x_{eq}		x_{eq}	x_{eq}

نعلم أن مردود التفاعل هو : $r = \frac{n_{exp}}{n_{max}} = \frac{x_f}{x_{max}} = 0,6 \Rightarrow x_f = 0,6mol$ وبالتالي فتركيبه الخليط عند

التوازن هي :

$$n(alcool) = n(acide) = 0,4mol$$

$$n(ester) = n(eau) = 0,6mol$$

2 - تأثير النسب البدئية لكميات مادة المتفاعلات :

النشاط التجريبي 7 : استعمال أحد المتفاعلات بوفرة

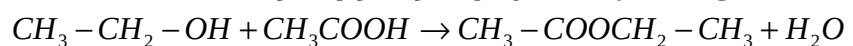
ننجز خمس تجارب لتفاعل حمض الإيثانويك مع الإيثانول (تفاعل الأسترة) انطلاقا من مجموعات كيميائية تراكيدها البدئية مختلفة ، وندون النتائج المحصلة في الجدول التالي

التركيب البدئي للمجموعة	الحمض	1	1	2	1	3
الكحول	1	2	1	3	1	3
نسبة التقدم النهائي %	67	84	84	90	90	90

ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذه التجربة ؟

يلاحظ أن كميات المادة البدئية لحمض الإيثانويك والإيثانول لها تأثير على نسبة التقدم النهائي للتفاعل ، فكلما كان أحد المتفاعلين مستعملا بوفرة ، كانت نسبة التقدم النهائي أكبر يمكن كذلك التوصل إلى نفس الاستنتاج بواسطة معيار التقدم التلقائي .

مثلا تفاعل الأسترة لحمض الإيثانويك والإيثانول :



يعبر عن خارج التفاعل عند التوازن بالعلاقة التالية :

$$Q_{r,eq} = \frac{[CH_3COOC_2H_5]_{eq} [H_2O]_{eq}}{[C_2H_5OH]_{eq} [CH_3COOH]_{eq}}$$

عند استعمال أحد المتفاعلين بوفرة ستكون $Q_r < Q_{r,eq} = K$ أي أن المجموعة ستتطور في المنحى المباشر .

خلاصة : يكون مردود الأسترة مرتفعا كلما كان أحد المتفاعلات مستعملا بوفرة .

ملحوظة : لا تتعلق نسبة التقدم النهائي بطبيعة الحمض الكربوكسيلي المستعمل ، لكن بالمقابل تتعلق بصنف الكحول المستعمل .

صنف الكحول	نسبة التقدم النهائي
كحول أولي	67%
كحول ثانوي	60%
كحول ثالثي	5%

3 - إزالة أحد النواتج

لإن تفاعل الحلمأة هو الذي يحد من تفاعل الأسترة ، فإذا وقع تماس بين الماء والاستر المتكون فإن تفاعل الحلمأة يحدث ولتفادي هذا التفاعل يجب إزالة الماء أو الإستر من الوسط التفاعلي حتى يصبح خارج التفاعل $Q_r < K$ فتتطور المجموعة في المنحى المباشر .

الطريقة العملية لإزالة الإستر : في حالة درجة حرارة غليان الإستر أصغر من درجة حرارة المكونات الأخرى للمجموعة فإنه يمكن أن نزيل الإستر من المجموعة بالتقطير المجزأ الطريقة العملية لإزالة الماء : يمكن إزالة الماء تدريجيا أثناء تكونه بإضافة إلى الوسط التفاعلي مادة متعطشة للماء وغير قابلة للتفاعل مع المكونات الأخرى للمجموعة مثال : كربونات البوتاسيوم اللامائي .

خلاصة تؤدي إزالة الماء أو الإستر من الوسط التفاعلي ، إلى تطور المجموعة في المنحى المباشر (تكون الاستر) وتحسين مردود الأسترة .