

Séquence 8

Physique

Énergie électrique

Chimie

**Les acides carboxyliques
et la synthèse en chimie**

Sommaire

1. Physique : Énergie électrique

Résumé

Exercices

2. Chimie : Les acides carboxyliques et la synthèse en chimie

Résumé

Exercices



Énergie électrique

Objectifs

- ▶ Savoir distinguer puissance et énergie.
- ▶ Connaître et utiliser la relation liant puissance et énergie.
- ▶ Connaître et comparer des ordres de grandeur de puissances.
- ▶ Connaître la loi d'Ohm, l'effet Joule.
- ▶ Savoir schématiser une chaîne énergétique pour interpréter les conversions d'énergie en termes de conservation, de dégradation.

A

Le courant électrique et le transfert d'énergie associé

1. Le courant électrique

a) Circuit électrique

Il existe des matériaux conducteurs et des matériaux isolants.

Un matériau est conducteur lorsqu'il permet le passage du courant.

Un matériau est isolant lorsqu'il ne permet pas le passage du courant.

Activité 1 Citer deux matériaux conducteurs de l'électricité et deux matériaux isolants.

Un circuit électrique est constitué par une suite fermée d'éléments conducteurs.

Un circuit est représenté par un schéma; chaque élément conducteur est représenté par son symbole normalisé; les fils sont représentés de façon rectiligne avec des changements de direction à angle droit.

Activité 2 Faire le schéma, d'un circuit comprenant en série une pile, un interrupteur et un moteur, en utilisant le tableau page suivante.

Élément conducteur	Pile	Lampe	Résistance	Interrupteur fermé	Moteur
Symbole normalisé					

Dans un circuit, un point du circuit relié à plus de deux éléments conducteurs est un nœud.

Une branche est une partie de circuit située entre deux nœuds consécutifs.

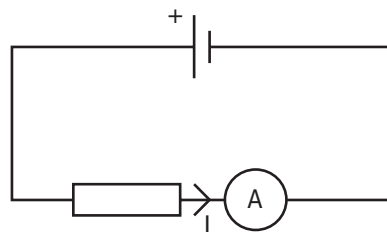
Les éléments conducteurs peuvent être considérés comme des «réservoirs complètement remplis» de porteurs de charges susceptibles de se déplacer.

Exemples Dans un conducteur métallique comme le cuivre, ce sont des électrons ; dans une solution conductrice, ce sont des ions.

Le courant électrique correspond à la circulation des porteurs de charges mobiles tout au long des éléments du circuit. Par convention, il circule de la borne + à la borne – du générateur.

b) L'intensité du courant

En un point du circuit, l'intensité du courant est la grandeur qui caractérise la valeur du débit des porteurs de charges. L'intensité du courant se mesure avec un multimètre utilisé en ampèremètre; cet ampèremètre doit être placé en série avec les autres éléments conducteurs de la branche concernée. L'intensité a pour unité l'ampère (symbole A). On la représente par une flèche sur le circuit allant dans le sens du courant électrique et par la lettre « I ».



c) Porteurs de charge et énergie

Dans un circuit électrique, les porteurs de charges qui se déplacent ont une énergie; cette énergie diminue lorsque les porteurs de charge sont freinés (lorsqu'ils traversent une résistance par exemple); une grandeur liée à la position sur le circuit permet de caractériser cette perte d'énergie: c'est le potentiel électrique noté V. Tous les porteurs de charges passant en un point du circuit ont le même potentiel.

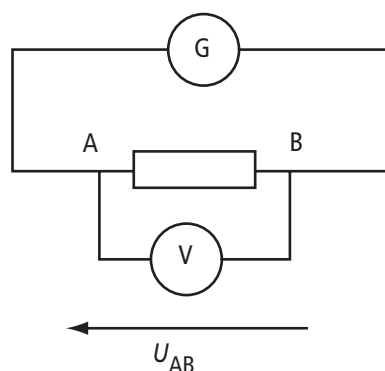
d) La tension électrique

La différence de potentiel existant entre deux points A et B s'appelle la tension entre A et B et est notée U_{AB} : $U_{AB} = V_A - V_B$.

Cette tension U_{AB} est représentée par une flèche.

La tension a pour unité le Volt (symbole V).

La tension aux bornes d'un élément conducteur se mesure avec un multimètre utilisé en voltmètre; ce voltmètre doit être placé en dérivation aux bornes de cet élément.

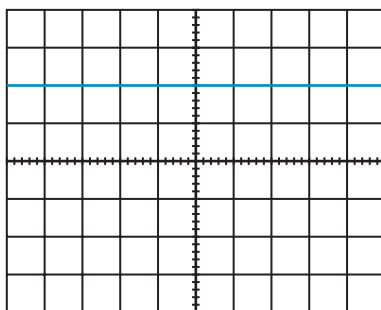


2. Rôle du générateur dans un circuit

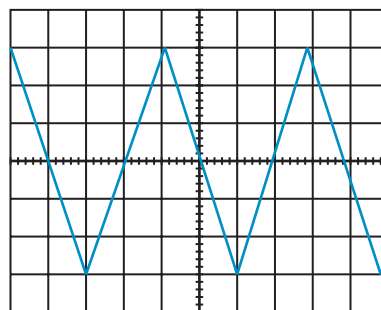
Pour que les porteurs de charges se déplacent, il faut un élément conducteur particulier qui est le générateur. Le rôle du générateur est de mettre en mouvement puis de maintenir le mouvement des porteurs de charges dans le circuit.

Dans les laboratoires, il existe des générateurs qui délivrent une tension variable (Générateur Basse Fréquence : GBF) ou des générateurs qui délivrent une tension constante (alimentation stabilisée, piles, ...).

Exemples Tensions observées à l'oscilloscope



(1) Signal continu
(alimentation stabilisée)



(2) Signal triangulaire
(tension variable)

a) Cas où le générateur délivre une tension variable

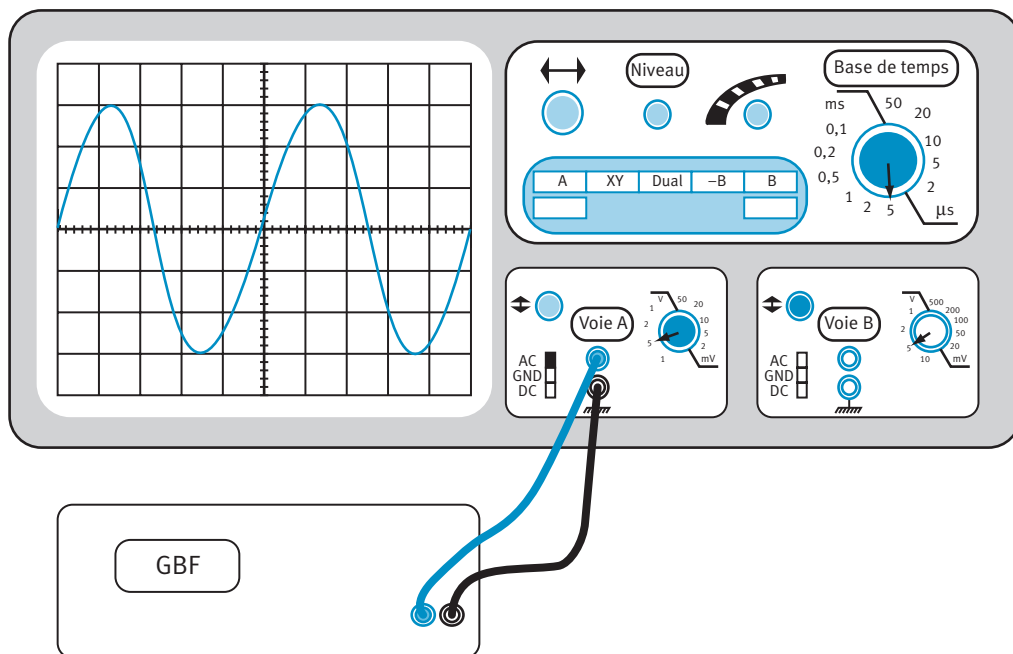
Le générateur basse fréquence permet d'obtenir au laboratoire une tension électrique qui dépend du temps c'est-à-dire une tension variable. Cette tension pourra être visualisée sur un oscilloscope. Les grandeurs variables dépendent du temps, on les notera en lettres minuscules.

Exemple Une tension alternative sinusoïdale

Beaucoup de grandeurs ont des variations qui se reproduisent identiquement entre deux instants consécutifs : ce sont les grandeurs périodiques (voir cours de seconde).

Les grandeurs des tensions observées sur l'oscilloscope sont des grandeurs instantanées (on note la tension $u(t)$).

Prenons comme exemple la tension d'un générateur visualisée sur l'oscilloscope.

**■ Période de la tension alternative**

Une tension sinusoïdale est périodique : le signal se reproduit identique à lui-même à des intervalles de temps égaux ; cet intervalle de temps est appelé période T .

Activité 3

- ① Déterminer la période du signal visualisé sur l'oscilloscope ci-dessus.
- ② En déduire la fréquence du signal.

■ Amplitude d'une tension alternative

Au cours du temps, la tension varie et passe par une valeur maximale U_m appelée amplitude.

La tension alternative sinusoïdale exprimée en volts voit son amplitude varier entre deux valeurs minimales et maximales de $-U_m$ à U_m .

Activité 4 Déterminer l'amplitude du signal visualisé sur l'oscilloscope.

■ Valeur efficace d'une tension alternative sinusoïdale

Si on utilise un multimètre branché en voltmètre sur position alternatif, l'appareil indique une valeur qui est différente de la tension maximale. Il s'agit de la tension efficace.

La tension efficace U (ou U_{eff}) est définie par : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

La tension efficace correspond à la tension continue qui produit le même effet thermique (même échauffement d'un conducteur).

Exemple La tension du secteur a une valeur efficace de 230V signifie qu'une lampe à incandescence branchée sur le secteur éclairera de la même façon que si elle était reliée à un générateur continu de 230V.

b) Cas où le générateur délivre une tension constante

Prenons comme générateur une alimentation stabilisée ; la tension aux bornes du générateur est constante ; la tension est indépendante du temps. On dit que la tension est continue.

3. Transfert d'énergie électrique

Nous avons vu que, dans un circuit électrique, les porteurs de charges qui se déplacent ont une énergie.

a) Énergie électrique échangée par un dipôle

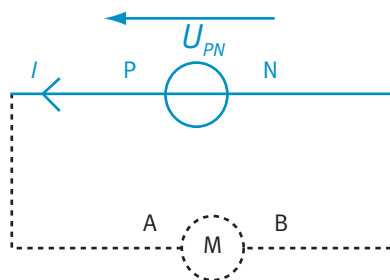
L'énergie d'un porteur de charges augmente lorsqu'elle traverse un générateur ; le potentiel augmente

La tension aux bornes d'un générateur sera donc positive, si la flèche tension est dans le même sens que le sens du courant ;

c'est la convention générateur

$$U_{PN} = (V_P - V_N) > 0.$$

L'énergie électrique transférée du générateur aux porteurs de charge pendant une durée Δt , s'exprime par : $E_{\text{gén}} = U_{PN} I \Delta t$.



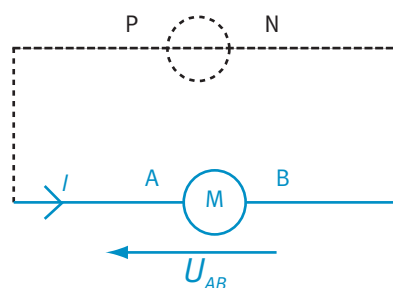
L'énergie d'un porteur de charges diminue lorsqu'elle traverse une résistance, un moteur ou un électrolyseur ; le potentiel diminue. La résistance, le moteur, l'électrolyseur sont appelés des récepteurs.

La tension aux bornes d'un récepteur sera donc positive, si la flèche tension est dans le sens contraire du courant ;

c'est la convention récepteur

$$U_{AB} = (V_A - V_B) > 0.$$

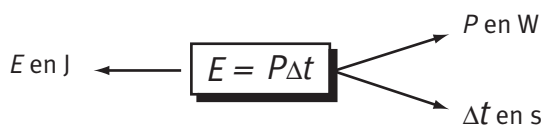
L'énergie électrique perdue par les porteurs de charge et reçue par le récepteur, pendant la durée Δt , s'exprime par : $E_{\text{rec}} = U_{AB} I \Delta t$.



b) Puissance électrique des transferts

La puissance électrique permet d'évaluer la rapidité du transfert d'énergie.

Relation entre énergie et puissance :

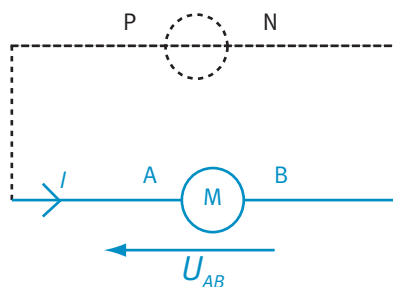


L'énergie s'exprime en Joule (J) ; la puissance s'exprime en Watt (W) ; la puissance est mesurée avec un wattmètre.

■ Cas du courant continu

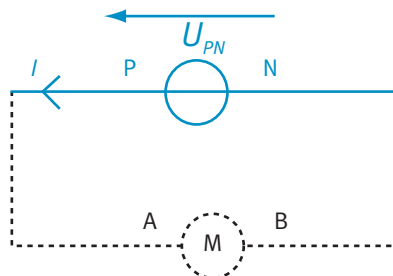
Puissance reçue par un récepteur :

$$P = U_{AB} I.$$



Puissance fournie par un générateur :

$$P = U_{PN} I.$$



■ Cas d'un circuit alimenté par un générateur de tension alternative sinusoïdale

Pour un récepteur placé dans un circuit alimenté par un générateur de tension alternative sinusoïdale, la puissance consommée est définie par : $P = k UI$

- où U et I sont les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité du courant,
- où k est le facteur de puissance.

Pour un courant alternatif sinusoïdal la puissance consommée est égale à :

$$P = k UI.$$

Pour un récepteur comprenant des bobinages (transformateurs, moteurs), la valeur de k est inférieure à 1 (0,9 environ).

Pour la plupart des autres récepteurs (ampoules, radiateurs électriques, fer à repasser, chauffe-eau...) le facteur k est égal à 1 ce qui donne : $P = UI$.

Activité 5

Données : watt - kilowatt - gigawatt – milliwatt – mégawatt – terawatt -
 10^9 W - 10^3 W - 10^6 W - 10^{-3} W – 1 W – 10^{12} W
 calculatrice - centrale électrique - radiateur électrique – éclairage -
 moteur TGV - ville de 500 000 habitants

À partir de l'exemple figurant dans la colonne 1, compléter le tableau suivant en utilisant les données :

W	GW	mW	MW	TW	kW
watt					
1					
éclairage					

B

Convertir de l'énergie en énergie électrique

D'après le principe de conservation de l'énergie, si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement.

L'énergie ne peut donc pas être créée ; produire de l'énergie électrique ne consiste donc pas à créer de l'énergie électrique mais plutôt à convertir diverses formes d'énergie en énergie électrique.

1. Conversion d'énergie à partir de panneaux solaires

■ Principe d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque.

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium. Ce sont de fines plaques (épaisseur de l'ordre du millimètre) d'une dizaine de centimètres de côté situées entre deux contacts métalliques. Les cellules sont souvent réunies dans des panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée.

■ Obtention d'une tension continue

La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Il faut donc utiliser un onduleur pour transformer cette tension continue en tension alternative.

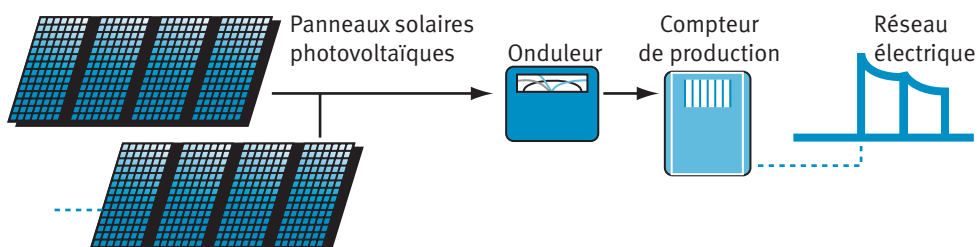


Schéma de fonctionnement d'une centrale photovoltaïque

@ EDF Médiathèque

2. Conversion d'énergie utilisant un alternateur

Les éoliennes, les centrales thermiques et les centrales hydroélectriques produisent du courant alternatif sinusoïdal de même fréquence (50 Hz en France) à partir d'alternateurs.

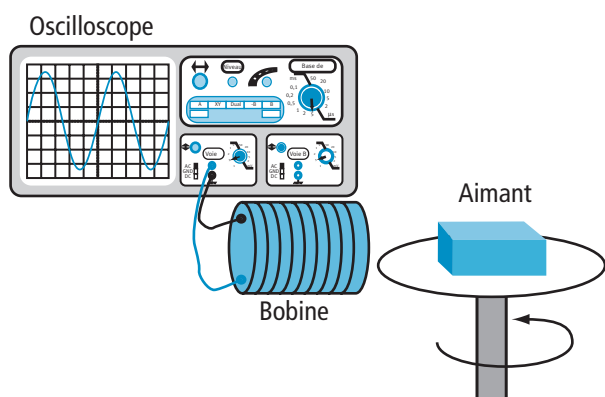
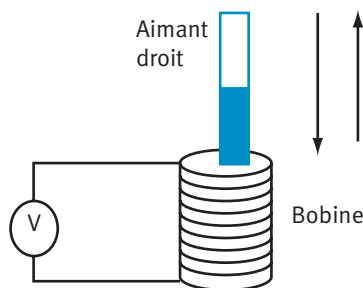
a) Principe d'un alternateur

Le principe d'un alternateur est basé sur le phénomène d'induction électromagnétique.

■ Le phénomène d'induction électromagnétique

Un aimant droit mis en mouvement devant l'une des deux faces d'une bobine reliée à un voltmètre à zéro central, permet d'observer l'apparition d'une tension (appelée tension induite) aux bornes de la bobine ; c'est le phénomène d'induction électromagnétique.

Les lignes de champ du champ magnétique créé par l'aimant sont plus resserrées à l'entrée de la bobine quand l'aimant se rapproche ; cette modification du champ permet d'expliquer le phénomène observé.



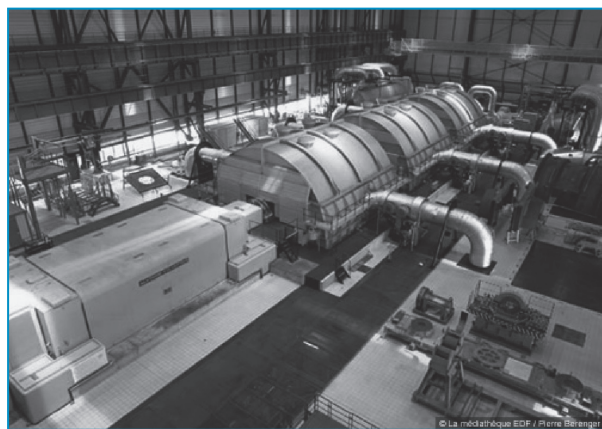
Un aimant mis en rotation en face d'une bobine reliée à un oscilloscope crée une tension alternative ; la bobine se comporte comme un générateur de tension alternative.

L'oscilloscope permet de visualiser une tension alternative sinusoïdale.

■ Constitution d'un alternateur

L'alternateur est constitué d'une bobine fixe appelée circuit induit (le stator) et d'un électroaimant mobile appelé circuit inducteur (le rotor).

L'électroaimant alimenté en courant continu a le même rôle que l'aimant dans l'expérience ci-dessus.



Salle des machines de la centrale nucléaire de Flamanville (3 turbines et 1 alternateur).

L'alternateur convertit une énergie mécanique (entraînement du rotor par une turbine) en énergie électrique.

L'entraînement du rotor peut se faire grâce à une turbine (centrale thermique) ou grâce à l'arbre d'un moteur (automobile).

Ordres de grandeur des puissances électriques disponibles :

- ▶ alternateur de centrales thermiques : 600 MW ;
- ▶ alternateur d'automobiles : 100 W.



b) Conversion d'énergie à partir du vent, de l'eau...

■ Les éoliennes

Dans une éolienne, le vent met en rotation des pales qui sont reliées à l'alternateur.

■ Les centrales hydrauliques

Dans une centrale hydraulique, l'eau met en rotation les pales de la turbine qui sont reliées à l'alternateur.

■ Les usines marémotrices

De même, dans une usine marémotrice, l'eau des marées met en rotation les pales de la turbine.

c) Conversion d'énergie dans les centrales thermiques

Dans une centrale thermique, une chaudière chauffe de l'eau et la transforme en vapeur. Celle-ci actionne une turbine. La turbine entraîne un alternateur qui fournit l'électricité, évacuée par des lignes à très haute tension.

La chaleur est produite dans la chaudière :

- ▶ par la combustion de fuel, de charbon ou de gaz dans les centrales thermiques à flamme;
- ▶ par la fission de l'atome dans les centrales nucléaires.

■ Centrales thermiques à flamme

Après son passage dans la turbine, la vapeur est dirigée vers un condenseur où elle est refroidie.

L'eau ainsi obtenue est renvoyée à la chaudière.

Le cycle eau-vapeur fonctionne en circuit fermé, indépendamment du circuit de refroidissement.

En passant dans le condenseur, la vapeur est refroidie au contact de tubes dans lesquels circule de l'eau puisée, dans un fleuve (ou dans la mer). Cette eau de refroidissement est rejetée à une température plus élevée.

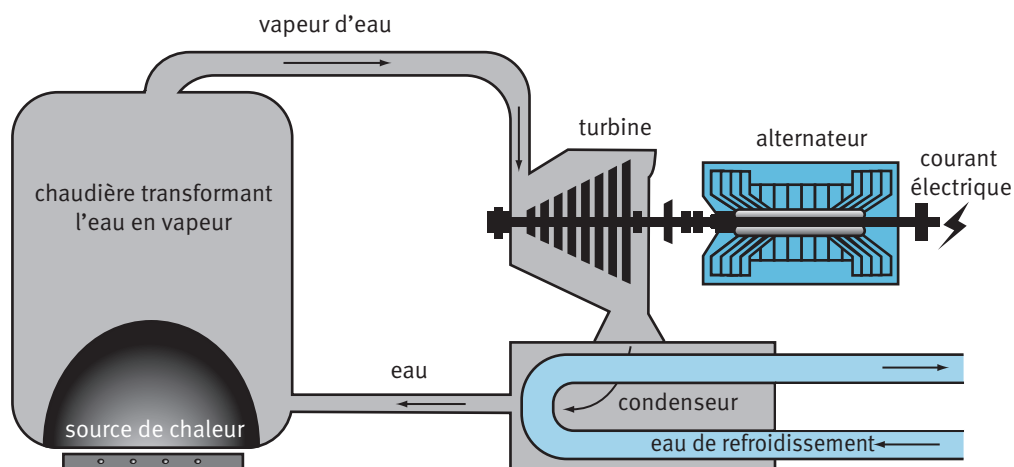


Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique à flamme.

■ Centrales thermiques nucléaires

La chaleur est produite dans la chaudière par la fission de l'atome dans les centrales nucléaires.

Le principe est le même (voir schéma).

Dans certains cas, elle cède une partie de sa chaleur à l'atmosphère en passant par des tours de réfrigération.

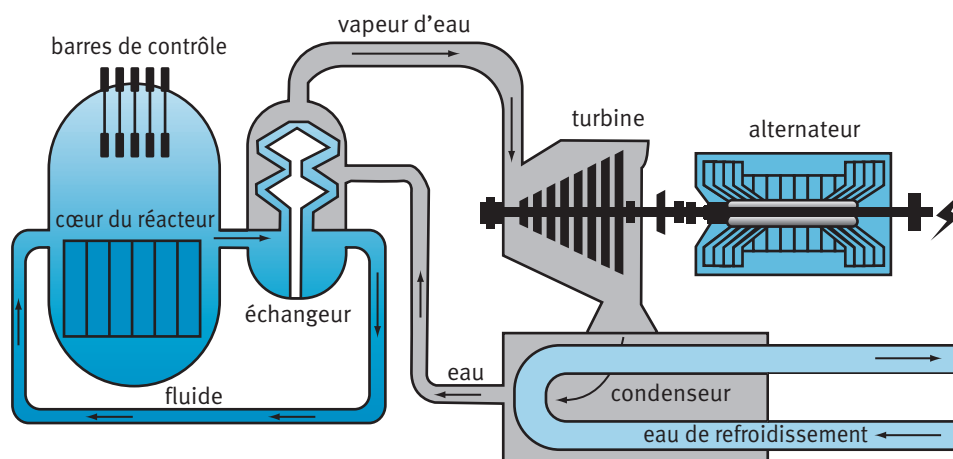


Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique nucléaire

Activité 6 Comparer les deux types de centrales en précisant les circuits et éléments communs.

Activité 7 Trois types de transformations énergétiques vous sont proposées.

Type 1 énergie chimique → énergie thermique → énergie mécanique → énergie électrique

Type 2 énergie mécanique → énergie mécanique → énergie électrique

Type 3 énergie nucléaire → énergie thermique → énergie mécanique → énergie électrique

Redonner à chaque centrale ou usine de production de l'électricité citées ci-dessous le type de transformations énergétiques qui lui correspond :

	Type de transformation
centrale au fioul	
centrale utilisant la fission de l'uranium	
usine marémotrice	
centrale au charbon	
éolienne	
centrale hydraulique	

3. Piles à combustible

Une pile transforme l'énergie chimique en énergie électrique (voir le cours de chimie de la séquence 5).

Une pile très étudiée actuellement est la pile à combustible. Elle permet d'obtenir de l'énergie électrique sans émission de gaz polluants ni de dioxyde de carbone (gaz à effet de serre) et peut être utilisée dans des véhicules électriques par exemple. En effet son fonctionnement produit de l'eau à partir du dihydrogène et du dioxygène de l'air.

Néanmoins la production du dihydrogène nécessite actuellement de l'énergie d'origine thermique ou nucléaire car le dihydrogène n'existe pas à l'état natif sur Terre. De plus, le dihydrogène est un gaz difficilement liquéfiable qui peut brûler violemment.

Cette pile permettra d'obtenir de l'énergie sans émission de polluant lorsqu'elle pourra être rechargée par de l'énergie électrique produite à partir d'énergies renouvelables (solaire, éolienne, géothermique...). Son avenir est donc lié au développement de ces énergies et à la résolution des problèmes de stockage et de transport de l'hydrogène.



Conversion d'énergie dans les appareils électriques

Dans cette partie, les générateurs ne délivrent que des tensions continues (piles, alimentations stabilisées,...) c'est-à-dire ne variant pas en fonction du temps.

1. Appareils électriques du laboratoire

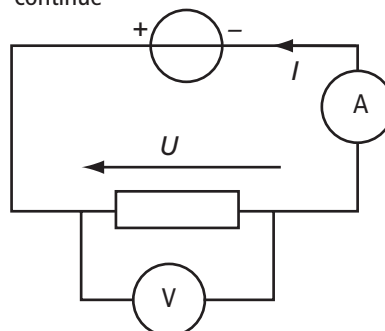
a) Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique (ou résistance)

Nous allons étudier la courbe (appelée caractéristique) donnant la tension U aux bornes d'une résistance en fonction de l'intensité qui la traverse I . Pour des valeurs différentes de la tension U délivrée par le générateur, on mesure U et I .

Des mesures ont donné les résultats suivants :

I (A)	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
U (V)	0,00	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32

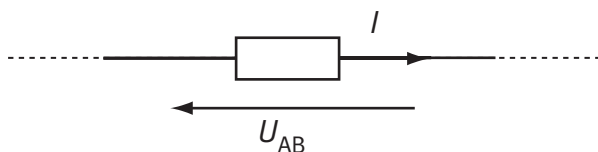
Générateur délivrant une tension continue



Activité 8

- 1 Tracer la courbe $U = f(I)$.
- 2 Rechercher l'équation de droite obtenue.

L'expérience montre que, à température constante, la tension U_{AB} aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité I du courant ; on obtient la relation $U_{AB} = RI$. R est la résistance qui s'exprime en ohm.



Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique :

$$U_{AB} = RI.$$

U_{AB} en V ; R en Ω ; I en A.

b) Effet Joule

L'effet Joule est un effet thermique associé au passage du courant dans un conducteur.

Le transfert thermique, associé au passage du courant d'intensité I dans une résistance R pendant la durée Δt , s'exprime par : $Q = RI^2 \Delta t$.

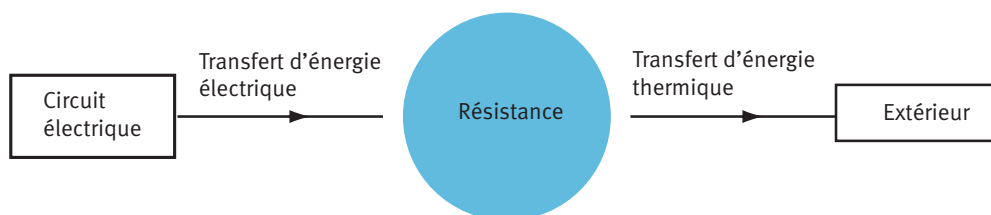
Q s'exprime en Joule, R en ohm, I en ampère et Δt en seconde.

Une résistance convertit une énergie électrique en énergie thermique.

■ Chaîne énergétique d'une résistance

Dans une chaîne énergétique le convertisseur d'énergie est symbolisé par un cercle (ici la résistance), les transferts d'énergie par des flèches, les réservoirs d'énergie par des rectangles (ici l'extérieur ou l'environnement).

Le convertisseur reçoit autant d'énergie qu'il en fournit.



Activité 9 Calculer l'énergie échangée par une résistance de $100\ \Omega$ par transfert thermique avec l'air extérieur lorsqu'elle est traversée par un courant d'intensité $10\ \text{mA}$ pendant 2 minutes.

Dans certains cas l'effet Joule provoque des pertes d'énergie; l'effet Joule correspond alors à une dégradation d'énergie; dans d'autres cas, l'effet Joule est utile.

Activité 10 Inventorier, dans la vie courante, les cas où l'effet Joule provoque des pertes et les cas où l'effet Joule est utile.

Activité 11 Dans les habitations, on utilise des radiateurs électriques appelés convecteurs radiants.

Rechercher quel est le mode de transfert d'énergie de ces convecteurs.

L'étude de l'effet Joule est aussi l'occasion de rencontrer un nouveau mode de transfert de l'énergie: le rayonnement, toujours associé aux effets thermiques et même dominant dans certains radiateurs électriques et les lampes.

c) Conversion d'énergie dans un générateur

Un générateur électrique convertit de l'énergie, autre qu'électrique, en énergie électrique. Ainsi une pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique, un thermocouple convertit de l'énergie thermique en énergie électrique.

■ Tension U aux bornes d'un générateur en fonction de l'intensité I du courant électrique

La courbe (appelée caractéristique) donnant la tension U en fonction de I d'une photopile n'est pas toujours linéaire (fig.1); mais il existe un domaine où celle-ci peut être considérée comme linéaire. C'est ce domaine qui nous intéresse; aussi allons-nous rechercher l'équation de cette partie linéaire sur un autre exemple plus facile à étudier.

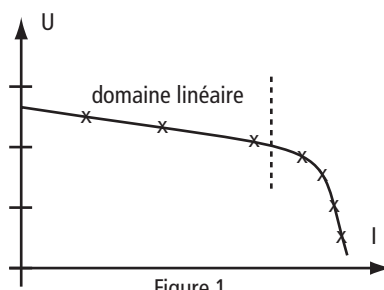


Figure 1

Nous allons étudier la caractéristique d'un générateur d'usage courant (une pile du commerce) pour établir la relation existant entre la tension U_{AB} à ses bornes et l'intensité I du courant dans le circuit (fig.2) dans le domaine où celle-ci est linéaire.

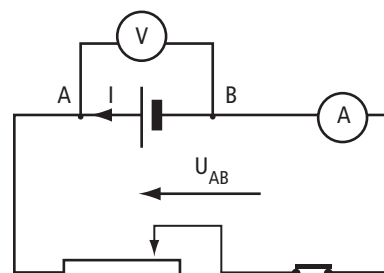


Figure 2

Le montage de la figure 2 permet de mesurer U_{AB} et I ; une résistance variable permet de faire varier l'intensité I .

Des mesures ont donné les résultats suivants :

I (A)	0,00	0,21	0,39	0,60	0,81	1,02	1,41
U (V)	4,51	4,25	4,02	3,75	3,45	3,01	2,18

Activité 12

- 1 Tracer la courbe $U = f(I)$.
- 2 Rechercher l'équation de droite de la partie linéaire.

Loi d'Ohm pour un générateur

Pour un générateur linéaire, la relation existant entre U_{AB} et I s'écrit donc :

$$U_{AB} = E - rI.$$

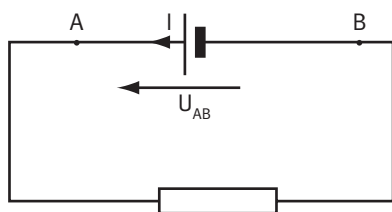
Loi d'Ohm pour un générateur : $U_{AB} = E - rI$. U_{AB} en V; r en Ω ; I en A

Une source idéale de tension est un générateur pour lequel la résistance interne est pratiquement nulle ; nous avons donc : $U_{AB} = E$ (c'est le cas d'une alimentation stabilisée).

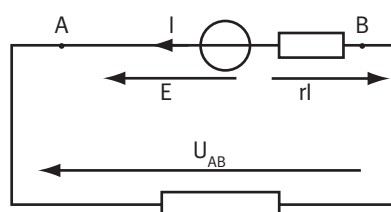
■ Modélisation d'un générateur « linéaire »

Un générateur de tension, dans un domaine où sa caractéristique est linéaire, peut être modélisé par une source idéale de tension E (E : tension à vide) et par une résistance r (r : résistance interne) en série.

Pour un générateur, la flèche tension E est dans le même sens que le sens du courant.



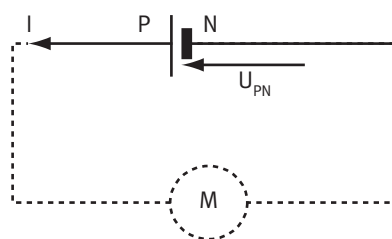
modélisé par



■ Conversion d'énergie

Considérons une pile en fonctionnement traversée par le courant d'intensité I pendant une durée Δt .

L'énergie électrique transférée du générateur au reste du circuit pendant une durée Δt , s'exprime par : $E_{\text{gén}} = U_{PN} I \Delta t$.

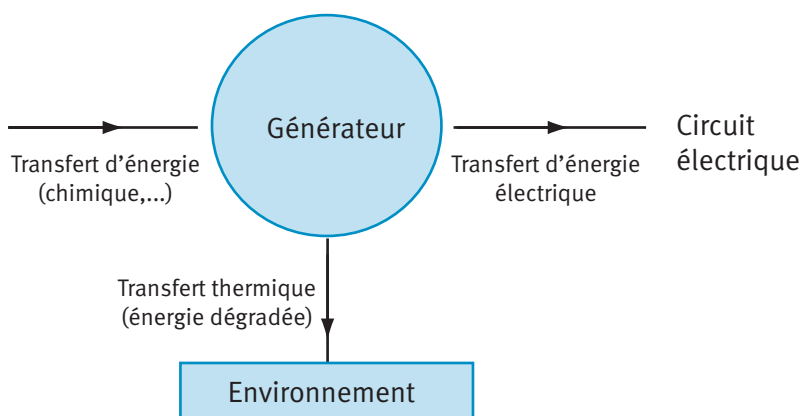


La puissance électrique du transfert s'exprime par : $P = U_{PN} I$.

Utilisons la loi d'Ohm : $E_{\text{gén}} = U_{PN} I \Delta t = (E - rI) I \Delta t \Rightarrow E I \Delta t = U_{PN} I \Delta t + r I^2 \Delta t$.

Un générateur transforme partiellement une forme d'énergie (chimique pour la pile, mécanique, électrique...) $E I \Delta t$ en énergie électrique disponible $U_{PN} I \Delta t$. Le complément $r I^2 \Delta t$ est « dissipé » sous forme d'effet Joule.

■ Chaîne énergétique du générateur



Activité 13

Faire le bilan des transferts d'énergie qui se produisent dans une pile traversée par un courant d'intensité 200 mA pendant 1 minute sachant que la tension à ses bornes vaut 4,20 V, que la tension à vide à ses bornes vaut 4,50 V et qu'il possède une résistance interne de 1,50 Ω .

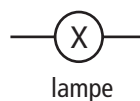
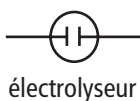
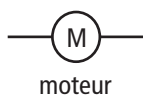
Calculer la puissance électrique du transfert d'énergie du générateur au circuit.

Le rendement de conversion est égal au rapport de l'énergie utile sur l'énergie consommée : $\eta = \frac{U_{PN}/\Delta t}{E/\Delta t} = \frac{U_{PN}}{E}$.

d) Conversion d'énergie dans un récepteur

Un récepteur électrique convertit de l'énergie électrique en énergie autre qu'électrique (par exemple : chimique pour les électrolyseurs ; lumineuse pour les lampes ; mécanique pour les moteurs...).

Les symboles des récepteurs sont les suivants :



Comme dans la séquence précédente concernant les générateurs, nous ne considérerons que le domaine de fonctionnement où le récepteur a une caractéristique linéaire.

■ Tension aux bornes d'un récepteur en fonction de l'intensité du courant électrique

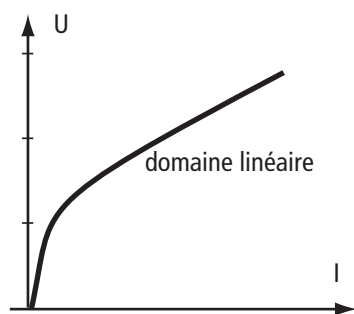


Figure 1

La caractéristique $U = f(I)$ d'un récepteur n'est pas linéaire (fig.1); mais il existe un domaine où celle-ci peut être considérée comme linéaire. C'est ce domaine qui nous intéresse; aussi allons-nous rechercher l'équation de cette partie linéaire sur un autre exemple plus facile à étudier.

Nous allons étudier la caractéristique d'un récepteur d'usage courant au laboratoire (un électrolyseur à électrodes de nickel contenant une solution d'hydroxyde de sodium) en le branchant à un générateur délivrant une tension continue; nous établirons la relation existant entre la tension U à ses bornes et l'intensité I du courant dans le circuit (fig.2) dans le domaine où celle-ci est linéaire.

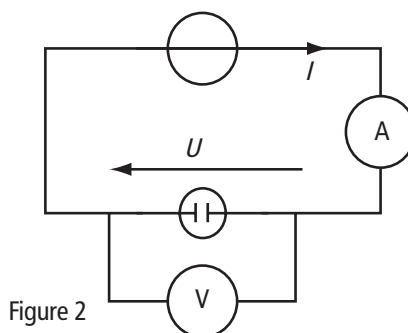


Figure 2

Pour des valeurs différentes de la tension U délivrée par le générateur, on mesure U et I .

I (mA)	0	0	6	20	44	80	140
U (V)	0,50	1,21	1,60	1,81	1,96	2,12	2,38

- Activité 14**
- 1 – Tracer la courbe $U = f(I)$.
 - 2 – Rechercher l'équation de droite de la partie linéaire.

Loi d'Ohm pour un récepteur

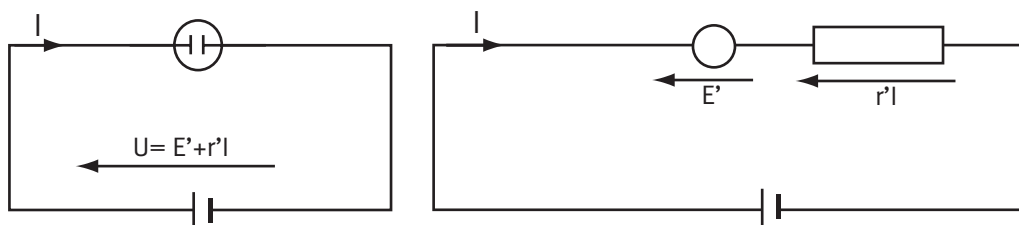
Pour un récepteur linéaire, la relation existant entre U et I s'écrit : $U = E' + r'I$.

E' s'appelle la force contre électromotrice du récepteur (f.c.é.m.) et r' sa résistance interne.

Loi d'Ohm pour un générateur : $U = E' + r'I$. U en V ; r en Ω ; I en A

Remarque Un récepteur, dans un domaine où sa caractéristique est linéaire, peut être modélisé :

- ▶ par un dipôle ayant à ses bornes une tension E' ;
- ▶ et par une résistance r' (r' : résistance interne) en série.



Le symbole utilisé pour modéliser la tension E' n'est pas à connaître ; c'est juste une aide pour étudier les circuits plus simplement. Pour un récepteur ou un conducteur ohmique, les flèches tension représentant E' et $r'I$ sont en sens contraire du sens du courant.

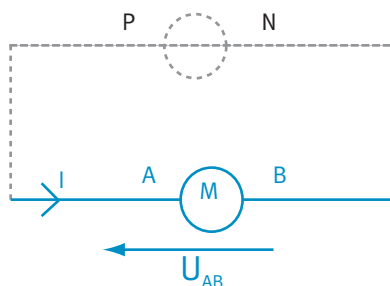
■ Conversion d'énergie dans un récepteur

Considérons un récepteur (E' , r') (un moteur par exemple) traversé par le courant d'intensité I pendant une durée Δt .

L'énergie électrique reçue par ce récepteur s'exprime par :

$$E_{\text{rec}} = U_{AB} I \Delta t.$$

La puissance électrique du transfert s'exprime par : $P_{\text{rec}} = U_{AB} I$.

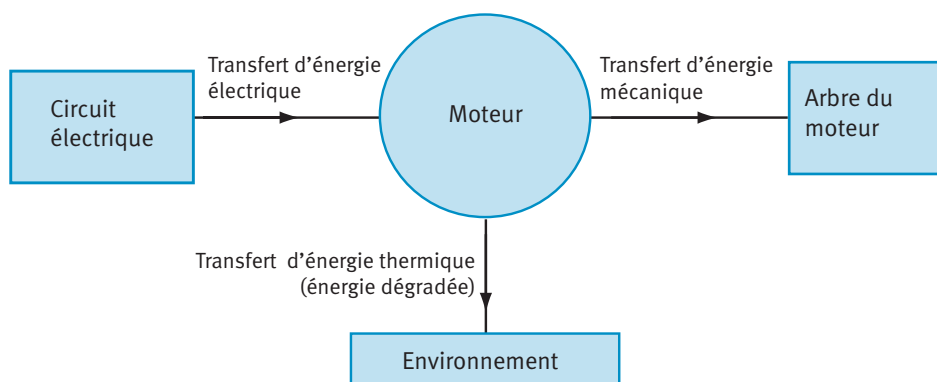


Utilisons la loi d'Ohm : $E_{\text{rec}} = U_{AB} I \Delta t = (E' + r'I) I \Delta t = E' I \Delta t + r' I^2 \Delta t$.

Le récepteur absorbe une énergie électrique $E_{\text{cons}} = U_{AB} I \Delta t$, convertit une partie de cette énergie sous forme d'une énergie mécanique (pour un moteur) $E_{\text{utile}} = E' I \Delta t$ (ou chimique pour l'électrolyseur).

Le complément $Q = r' I^2 \Delta t$ est «dissipé» sous forme d'effet Joule.

■ Chaîne énergétique du récepteur



Le rendement de conversion est égal au rapport de l'énergie utile sur l'énergie consommée :

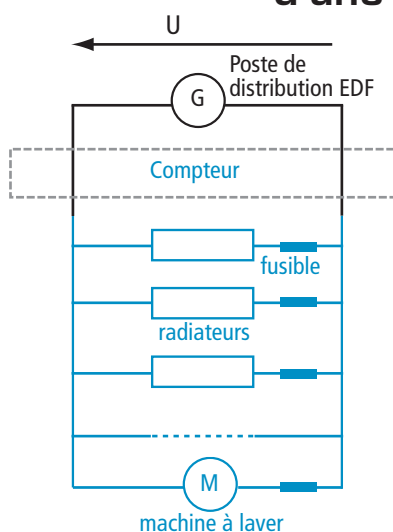
$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{cons}}} = \frac{E' / \Delta t}{U_{AB'} / \Delta t} = \frac{E'}{U_{AB'}}$$

Activité 15

Faire le bilan des transferts d'énergie qui se produisent dans un moteur traversé par un courant d'intensité 5,0 A pendant 5,0 secondes sachant que la tension à ses bornes vaut 12 V et qu'il possède une résistance interne de 1,5 Ω.

Comment peut-on évaluer la rapidité du transfert d'énergie du circuit au moteur ?

2. Appareils électriques d'une habitation



a) Énergie et puissance électrique consommée dans une installation domestique

Dans une installation domestique tous les récepteurs sont en parallèle.

EDF (générateur G) fournit une tension alternative sinusoïdale de fréquence 50 Hz.

Deux fils arrivent au compteur de l'installation (la phase et le neutre).

La tension efficace U est de 230 V.

Compte tenu du montage, tous les récepteurs sont à la même tension efficace U.

On admettra que la puissance totale consommée par plusieurs appareils montés en dérivation est la somme des puissances consommées par chaque appareil.

Pour recevoir de l'électricité dans une habitation, le particulier choisit un contrat auprès d'EDF qui s'engage à lui assurer une certaine puissance : 6 kW, 9 kW pour les contrats courants et jusqu'à 18 kW pour les habitations chauffées à l'électricité.

L'unité d'énergie utilisée par EDF est le kilowattheure (kWh).

L'unité légale de l'énergie selon le système international est le joule (J) ; dans ce cas, P est en watt (W) et t est en secondes (s).

Pour passer d'un kilowattheure à un joule, il faut multiplier par : 1000×3600 soit $3,6 \cdot 10^6$.

Pour passer d'un joule à un kilowattheure, il faut diviser par : $3,6 \cdot 10^6$.

Activité 16 Calculer les énergies consommées (en kilowattheure et en joule) par les différents appareils électriques suivants.

Appareils	radiateur électrique	Sèche-linge	Micro-onde	Plaque électrique
Puissance	1,0 kW	3400 W	750 W	1,6 kW
Durée de fonctionnement	8 h	1 h 15 mn	5 mn	40 mn
Energie consommée en kilowattheure				
Energie consommée en Joule				

Activité 17 Calculer le coût total annuel maximal en euros de l'énergie électrique dépensée par les appareils en veille du tableau suivant. Prix TTC du kWh : 0,129 euro.

Appareils	Puissance consommée en veille (Watt)	Énergie annuelle consommée par cette veille (kWh)	Coût annuel (arrondi à 1 euro près)
Réfrigérateur	30		
Four micro-ondes	9		
Four encastré programmable	9		
Téléphone sans fil	6		
Répondeur	6		
Téléviseur	22		
Magnétoscope	30		
Décodeur Canal+	9 à 16	79 à 140	
Ordinateur de bureau	10 à 100 (estimation)	84 à 840	
Radio-réveil	1 à 4	9 à 35	

b) Exemples de conversions d'énergie

■ Conversion d'énergie dans une lampe à basse consommation

Le tableau ci-dessous permet de comparer la puissance électrique consommée par une lampe à incandescence et par une lampe basse consommation de même luminosité.

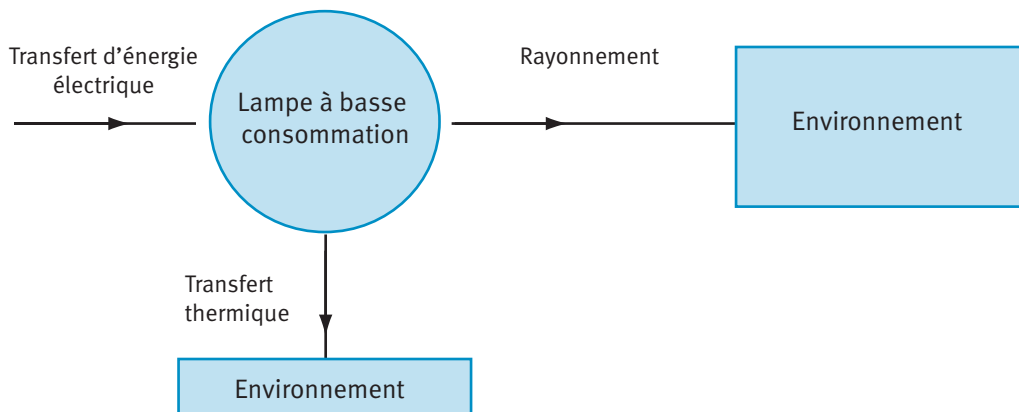
Lampe à incandescence	Lampe basse consommation
30 W	9 W
40 W	11 W
60 W	15 W
75 W	20 W
100 W	23 W

Activité 18 Considérons une lampe basse consommation de 15 W.

La chaîne énergétique est représentée ci-dessous ; celle-ci fonctionne pendant 1 heure avec un transfert thermique de 37,8 kJ vers l'extérieur et un rayonnement (transfert d'énergie lumineuse) de 16,2 kJ.

Exprimer et calculer le rendement de conversion.

Placer sur le schéma de cette chaîne énergétique le pourcentage d'énergie dégradée.



Activité 19 Énergie électrique consommée dans une lampe basse consommation

Il s'agit de comparer le coût de 10 000 heures d'éclairage lorsqu'on utilise des lampes à incandescence de durée de vie plus courte et une lampe basse consommation de durée de vie 10 000 heures.

Compléter le tableau suivant.

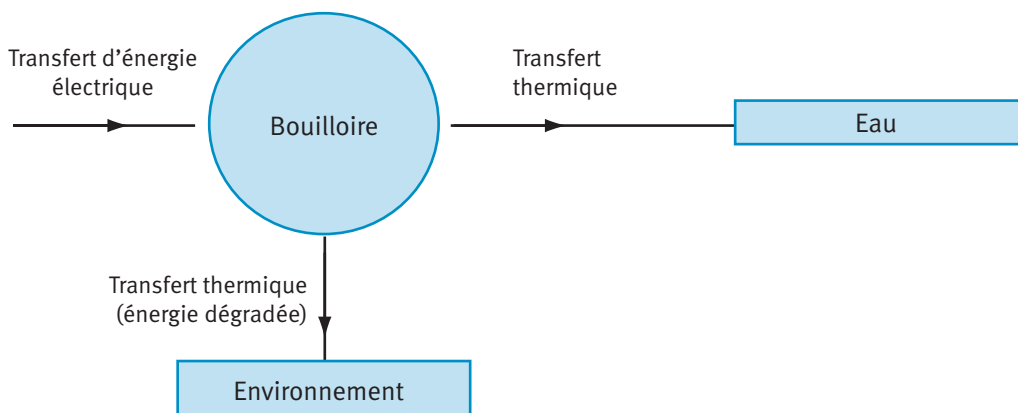
	Lampe à incandescence	Lampe basse consommation
Durée de vie	1 000 h	10 000 h
Prix d'une lampe	0,5 €	10 €
Puissance électrique	75 W	20 W
Prix des lampes pour 10 000 h		
Nombre de lampes utilisées pour 10 000 h d'éclairage		
Prix des lampes pour 10 000 h		
Énergie consommée en une heure (en kW.h)		
Énergie consommée en 10 000 h (en kW.h)		
Coût de l'énergie pour 10 000 h (prix moyen du kW.h : 0,12 €)		
Coût total pour 10 000 h d'éclairage		

L'achat de lampes basse consommation est-il intéressant à long terme ?

■ Conversion d'énergie dans une bouilloire

Une bouilloire électrique de puissance 2,0 kW et porte à ébullition 0,8 L d'eau en 2 min 30 s.

Le schéma de la chaîne énergétique est le suivant :



Activité 20 Batteur de cuisine

Faire le schéma de la chaîne énergétique dans le cas d'un batteur de cuisine électrique utilisé pour faire des œufs à la neige.



Transport de l'énergie électrique

L'énergie électrique ne peut pas être stockée ; elle doit donc être transportée par des lignes électriques du centre de production à l'utilisateur. Lors du transport, une partie de l'énergie est dégradée sous forme d'effet Joule.

1. Problème du transport : les pertes en ligne par effet Joule

Une ligne de transport de résistance R parcourue par un courant alternatif d'intensité efficace I perd par effet Joule la puissance $P_J = RI^2$.

À l'entrée de la ligne, la tension efficace est U et la puissance fournie P .

En courant alternatif, la puissance s'exprime par : $P = kUI$ où k est un coefficient appelé « facteur de puissance » ($k = 1$ pour une résistance).

La puissance perdue par effet Joule est donc égale à : $P_J = RI^2 = R \left(\frac{P}{kU} \right)^2$.

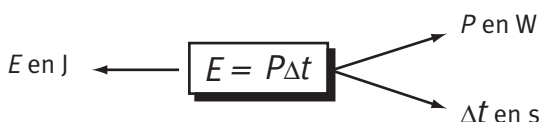
2. Comment diminuer les pertes en ligne ?

D'après l'expression de $P_J \left(P_J = R \left(\frac{P}{kU} \right)^2 \right)$, pour une puissance P fournie à l'entrée de la ligne, il apparaît intéressant pour diminuer les pertes en ligne :

- ▶ d'abaisser la valeur de R (matériau plus conducteur...),
- ▶ d'augmenter la tension de distribution (la tension efficace U à la sortie d'une centrale est d'environ 20 000 V ; à l'aide de transformateurs, EDF augmente cette tension jusqu'à 400 000 V pour le transport),
- ▶ d'augmenter le facteur de puissance k (EDF impose aux entreprises industrielles une valeur supérieure à 0,928).

Résumé

Relation entre énergie et puissance



En courant continu (et aussi pour les conducteurs ohmiques sous tension alternative), $P = UI$.

L'effet Joule est un effet thermique associé au passage du courant dans un conducteur. Le transfert thermique, associé au passage du courant d'intensité I dans une résistance R pendant la durée Δt , s'exprime par : $Q = RI^2\Delta t$.

■ **Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique (ou résistance) :** $U_{AB} = RI$.

Une résistance convertit une énergie électrique en énergie thermique.

■ **Loi d'Ohm pour un générateur :** $U_{AB} = E - rI$.

Un générateur transforme partiellement une forme d'énergie (chimique pour la pile, mécanique) $E/\Delta t$ en énergie électrique disponible $U_{PN}/\Delta t$. Le complément $rI^2\Delta t$ est « dissipé » sous forme d'effet Joule.

■ **Loi d'Ohm pour un récepteur :** $U_{AB} = E' + r'I$.

Le récepteur (un moteur par exemple) absorbe une énergie électrique $U_{AB}/\Delta t$, convertit une partie de cette énergie sous forme d'une énergie mécanique $E'/\Delta t$ (ou chimique pour l'électrolyseur). Le complément $rI^2\Delta t$ est « dissipé » sous forme d'effet Joule.

Le rendement de conversion est égal au rapport de l'énergie utile sur l'énergie consommée : $\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{cons}}}$.

E

exercices

Exercice 1 Vrai ou faux

- ❶ La puissance est l'énergie fournie ou consommée pendant une seconde.
- ❷ La puissance électrique est égale au produit de la tension, de l'intensité et du temps.
- ❸ L'unité de la puissance est le kilowattheure (kWh).

Exercice 2 Unité d'énergie

Convertir une consommation de 200 kilowattheure en Joule.

Exercice 3 Énergie consommée

Quelle est la valeur de l'énergie consommée, en kilowattheure, par les différents appareils électriques du tableau suivant ?

Appareils	radiateur électrique	Lampe	gaufrier	four
Puissance	1,5 kW	100 W	750 W	2 kW
Durée de fonctionnement	100 h	15 h	12 mn	45 mn
Énergie consommée				

Exercice 4 Pourquoi le transport de l'énergie électrique se fait-il avec des lignes à très haute tension ?

Exercice 5 Rechercher des ordres de grandeur de consommation annuelle en énergie électrique : d'une ville de 500 000 habitants, d'un pays comme la France.

Exercice 6 Effet Joule

Exprimer le transfert thermique dégagé par une résistance R , plongé dans un calorimètre, parcouru par un courant d'intensité I pendant une durée Δt .

Calculer cette quantité de chaleur pour $R = 7,5 \, \Omega$, $I = 2 \, A$, $\Delta t = 5 \, \text{min}$.

Exercice 7 Tracé d'une caractéristique

- ❶ Tracer la caractéristique d'une pile de montre à partir des mesures fournies dans le tableau suivant.

$U(V)$	1,30	1,24	1,16	1,08	1,02	0,92	0,86	0,74
$I(mA)$	5,0	10	15	20	25	30	35	40

- 2 Déterminer le domaine où ce générateur est linéaire.
- 3 Déterminer sa force électromotrice et sa résistance interne.
- 4 Exprimer et calculer la chute de tension lorsque la pile est parcourue par une intensité de 18 mA.

Exercice 8 Exprimer le rendement de conversion d'une pile de f.é.m. E et de résistance interne r en fonctionnement pendant 30 s, la tension à ses bornes étant égale à U .
La tension aux bornes U peut-elle être supérieure à la force électromotrice E de la pile ?
Dans quel cas est-elle égale ?

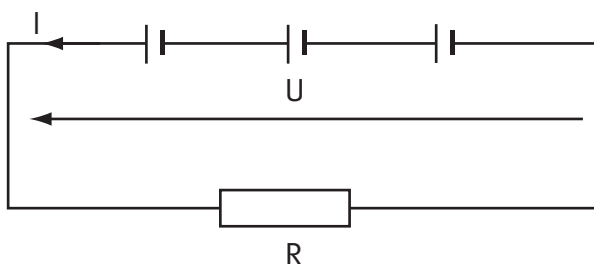
Exercice 9 Cette affirmation est-elle exacte ?

Dans une automobile, la tension aux bornes de la batterie d'accumulateurs est constante parce que la résistance interne est très faible.

Données f.é.m. $E = 12,0 \text{ V}$; résistance interne de la batterie : $r = 0,06 \Omega$; intensité du courant traversant la batterie lorsque le démarreur fonctionne : $I = 50 \text{ A}$.

Exercice 10 Association de générateurs

On associe trois piles de f.é.m. E et de résistance interne r , à un conducteur ohmique de résistance R (voir figure ci-dessous).



Données $E = 1,5 \text{ V}$; $r = 0,5 \Omega$; $R = 18,5 \Omega$.

- 1 Remplacer les piles par leur modèle équivalent en domaine linéaire.
- 2 Modéliser le circuit en ne faisant apparaître qu'une seule source de tension et deux conducteurs ohmiques; on fléchera les tensions.
- 3 En déduire l'intensité I du courant traversant le circuit.

Exercice 11 Tracé d'une caractéristique d'un électrolyseur

- ① Tracer la caractéristique d'un électrolyseur à partir des mesures ci-dessous :

U (V)	2,50	2,80	2,95	3,10	3,16	3,36	3,50	3,62
I (mA)	0	3	11	22	29	51	72	89

- ② Déterminer le domaine où ce récepteur est linéaire.
 ③ Déterminer sa force contre électromotrice et sa résistance interne.

Exercice 12 Modélisation

Un moteur électrique de jouet de f.c.é.m. E' et de résistance interne r' est alimenté par une pile de f.é.m. E et de résistance interne r .

Données $E' = 3,0 \text{ V}$; $r' = 2,0 \Omega$; $E = 4,5 \text{ V}$; $r = 1,2 \Omega$.

- ① Faire un schéma du circuit.
 ② Donner le schéma équivalent de ce circuit en utilisant la modélisation et le fléchage des tensions.
 ③ Dédire de cette modélisation l'expression de l'intensité I du courant ; calculer I .
 ④ Exprimer et calculer les rendements de conversion du moteur et de la pile.

Exercice 13 Pile Daniell

La pile Daniell est un appareil réversible capable de fonctionner en générateur ou en récepteur selon le sens du courant qui le traverse. Un groupe d'élèves a étudié ce dipôle en relevant des mesures pour tracer les caractéristiques pour un fonctionnement en générateur et en récepteur.

- ① Les deux tableaux de mesures sont donnés ci-dessous ; tracer les deux caractéristiques sur le même graphique en précisant celle qui correspond au fonctionnement en générateur et celle qui correspond au fonctionnement en récepteur.

Tableau 1

U (V)	0,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
I (mA)	0,0	0,0	14	25	38	50	61

Tableau 2

U (V)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
I (mA)	21	32	45	57	69	80

- ② Déterminer les valeurs des f.é.m., f.c.é.m. et résistances internes de ce dipôle suivant son fonctionnement.

Exercice 14 Rendement d'un moteur

Un moteur de résistance interne r' ($r' = 2,5 \, \Omega$) a une force contre électromotrice E' qui varie en fonction de la vitesse de rotation ω du moteur; la f.c.é.m. a été calculée pour différentes vitesses de rotation exprimées en tours par minute.

$E' \text{ (V)}$	1,1	2,0	3,1	4,2	4,5
$\omega \text{ (tr/min)}$	500	900	1400	1900	2500

- 1 Tracer E' en fonction de ω . En déduire une relation entre E' et ω .
- 2 Le moteur est branché en série avec une pile de tension à vide E ($E = 4,5 \text{ V}$) et de résistance interne r ($r = 1,2 \, \Omega$). Déterminer l'intensité du courant sachant que le moteur tourne à 1200 tours par minute.
Déterminer le rendement de conversion du moteur.

Exercice 15 Chaîne énergétique d'une lampe à tungstène

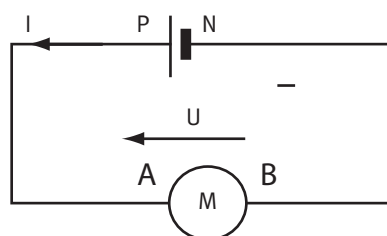
Considérons une lampe de tungstène de 60 W.

- 1 Représenter sur un schéma la chaîne énergétique correspondant au fonctionnement de cette lampe.
- 2 La lampe fonctionne pendant 1 heure ; quelle est l'énergie consommée par la lampe en kWh.
- 3 L'énergie dégradée par la lampe pendant une heure correspond à 205 kWh.
Exprimer et calculer le rendement de conversion.

Exercice 16 Pertes par effet Joule dans un circuit

Le circuit suivant comprend en série un générateur (de tension à vide E et de résistance interne r) et un moteur (résistance interne r').

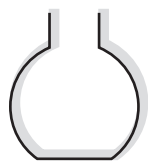
Données $E = 4,5 \text{ V}$; $r = 1,2 \, \Omega$; $r' = 2,5 \, \Omega$.



Lorsque le moteur tourne à 900 tr/min, l'intensité du courant est égale à 0,68 A et la tension aux bornes du moteur vaut 3,7 V. Le moteur tourne pendant 12 minutes.

- 1 Exprimer et calculer l'énergie transférée par le générateur au circuit.
- 2 Exprimer et calculer l'énergie dissipée par effet Joule dans tout le circuit.
- 3 Exprimer et calculer l'énergie convertie sous forme mécanique.

Annexe Matériel de verrerie usuel



Ballon à fond plat



Bécher



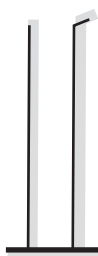
Cristalloir



Erlenmeyer



Pipette simple



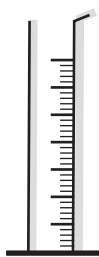
Éprouvette



Tube à essais



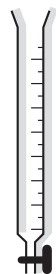
Verre à pied



Éprouvette graduée



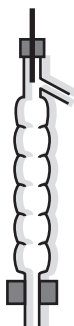
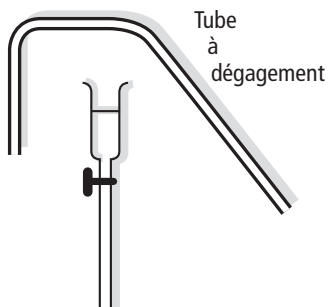
Fiole jaugée



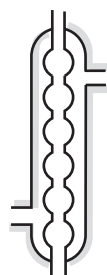
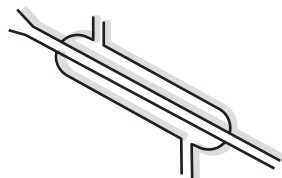
Burette graduée



Pipette jaugée

Colonne à distiller
surmontée d'un thermomètre

Ampoule de coulée

Réfrigérant vertical
à boules

Réfrigérant incliné

Chapitre 2

Chimie

Les acides carboxyliques et la synthèse en chimie

Objectifs

- ▶ Identifier et nommer un acide carboxylique.
- ▶ Pratiquer une démarche expérimentale pour extraire un acide, synthétiser un acide par oxydation d'un alcool.
- ▶ Mettre en évidence par une CCM un produit issu de l'oxydation d'un alcool.
- ▶ Déterminer la valeur du rendement d'une synthèse.
- ▶ Étudier la synthèse de molécules complexes, biologiquement actives en identifiant les groupes caractéristiques.
- ▶ Recueillir et exploiter des informations sur un aspect de la nanochimie



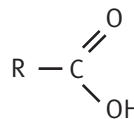
Présentation des acides carboxyliques

Les composés organiques peuvent être classés par **famille** en fonction de leurs propriétés chimiques ; en effet, on remarque que certains composés réagissent de manière similaire vis-à-vis d'un réactif donné.

Cette analogie de comportement trouve son origine dans une analogie de structure : les molécules d'une même famille possèdent le même **groupe caractéristique**. Un groupe caractéristique est un atome ou un groupe d'atomes qui caractérise la famille.

1. Groupe caractéristique

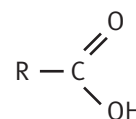
Les acides carboxyliques forment une classe de composés caractérisés par la présence du groupe fonctionnel *carboxyle* :



Le nom de ce groupe caractéristique rappelle qu'il est constitué formellement d'un groupe carbonyle -CO- et d'un groupe hydroxyle -OH fixés sur le même carbone fonctionnel. Mais la proximité de ces 2 groupes modifie fortement leurs propriétés : le groupe carboxyle a des propriétés originales qui ne sont, ni celles d'une cétone, ni celles d'un alcool.

Un acide carboxylique possède donc la formule générale suivante :

R peut être un groupe alkyle ou un atome d'hydrogène.



2. Nomenclature

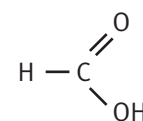
En ce qui concerne la nomenclature des acides, nous n'envisagerons que le cas des acides dits « saturés ».

La chaîne principale est la chaîne la plus longue contenant le carbone fonctionnel. La numérotation de la chaîne est choisie de façon que le carbone fonctionnel (forcément en bout de chaîne) ait le numéro 1.

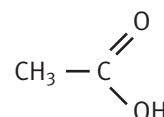
Le nom de l'acide est celui de l'alcane correspondant précédé de « acide » et suivi du suffixe « oïque ».

Exemple

L'acide carboxylique le plus simple (à 1 carbone) est l'acide méthanoïque (appelé aussi acide formique car présent dans certaines fourmis) :



L'acide à 2 carbones, l'acide éthanoïque (appelé aussi acide acétique ; c'est le principal constituant du vinaigre) :



Certains acides carboxyliques rencontrés dans la nature peuvent être nommés avec leur noms usuel comme l'acide butanoïque possédant 4 carbones et présent dans le beurre (responsable de l'odeur de beurre rance).

Activité 1

a. Donner la formule des acides carboxyliques : acide propanoïque ; acide 2-méthylpentanoïque.

b. Donner le nom de l'acide dont la formule est :

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array} \\ | \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$$

B

Solubilité et pH

Dès l'Antiquité, on a établi le rapport entre la présence de certaines épidémies et l'eau. Il a cependant fallu attendre le XIX^e siècle pour démontrer l'origine d'épidémies comme le choléra dans l'eau de boisson.

Aucun autre produit alimentaire ne fait l'objet de contrôles aussi sévères. Aujourd'hui, les normes européennes fixent à 62 le nombre de critères de potabilité de l'eau. Parmi ceux-ci : le pH.

Le pH permet d'exprimer, par une valeur numérique, l'acidité d'une solution aqueuse. Sa mesure est donc utilisée dans de nombreux secteurs de la recherche,

de l'industrie ou de l'enseignement, en chimie, biochimie, biologie, industrie agroalimentaire, médecine, pharmacie, métallurgie, écologie, etc.

Par exemple, on dose l'acidité d'un lait en vue d'apprécier son état de fraîcheur.

Le pH d'un lait frais est voisin de 6,6. Un lait frais est donc déjà légèrement acide. Des bactéries peuvent provoquer sa transformation en acide lactique (ou encore acide 2-hydroxypropanoïque), ce qui acidifie plus nettement le milieu.

En pharmacochimie, le pH d'un médicament est nécessairement contrôlé en vue de sa bonne assimilation par l'organisme.

Les pluies acides posent un problème issu de l'industrialisation massive, qui, s'il est bien identifié, n'a pas, de nos jours, reçu toutes les réponses sur les mesures à prendre.

1. Mesure du pH d'une solution aqueuse

a) Rappels de troisième sur le pH d'une solution aqueuse

Activité 2

Quelle est la valeur du pH d'une eau minérale ?

Rechercher la valeur du pH d'un shampoing pour bébé.

À 25°C, il est ainsi possible de déterminer le caractère acide, neutre ou basique d'une solution aqueuse selon la valeur de son pH :

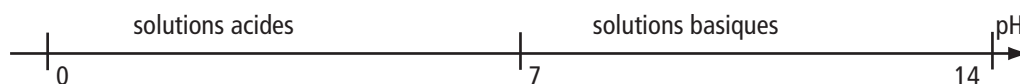
Une solution aqueuse est **neutre** si son **pH = 7,0** à 25°C.

Une solution aqueuse est **acide** si **pH < 7,0** à 25°C.

Une solution aqueuse est **basique** si **pH > 7,0** à 25°C.

Solution acide	Solution neutre	Solution basique
pH < 7,0	pH = 7,0	pH > 7,0

D'où l'échelle de pH :



Une solution aqueuse ne peut avoir un pH inférieur à 0 ou supérieur à 14.

La mesure du pH d'une solution peut se faire par 3 méthodes de précision différente.

b) L'indicateur coloré

Un indicateur coloré est une substance qui change de couleur selon la valeur du pH. Il se présente généralement sous forme d'une solution.

Les indicateurs colorés que nous utiliserons possèdent une fourchette de valeurs de pH pour laquelle ils changent de couleur : c'est leur **zone de virage**.

Parmi ceux-ci citons-en trois :

L'hélianthine , le Bleu de Bromothymol et la Phénolphtaléine.

On donne ci-dessous la couleur de chacun des 3 indicateurs colorés en solution aqueuse :

Indicateur coloré	Couleur $\text{pH} < \text{pH}_1$	Zone de virage : $\text{pH}_1 - \text{pH}_2$	Couleur $\text{pH} > \text{pH}_2$
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
BBT (bleu de bromothymol)	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,0 – 10,0	Rose-mauve

Pour mesurer le pH d'une solution à l'aide d'un indicateur coloré, il suffit d'en ajouter quelques gouttes dans la solution et d'observer la couleur que prend la solution.

Cette méthode est évidemment peu précise ; les indicateurs colorés sont plutôt utilisés lors des dosages acido-basiques.

c) Le papier indicateur de pH

La mesure du pH d'une solution aqueuse (qui nous permettra de savoir si la solution est acide ou non) peut se faire à l'aide d'un papier indicateur de pH, papier imbibé d'un mélange d'indicateurs colorés puis séché.

Le fait de déposer une goutte de solution sur ce papier lui fait prendre une couleur que l'on compare aux couleurs étalons sur la boîte. Méthode plus précise que la précédente : les valeurs de pH correspondant aux couleurs étalons indique une valeur de pH à une unité près (voire 0,5 unité près).

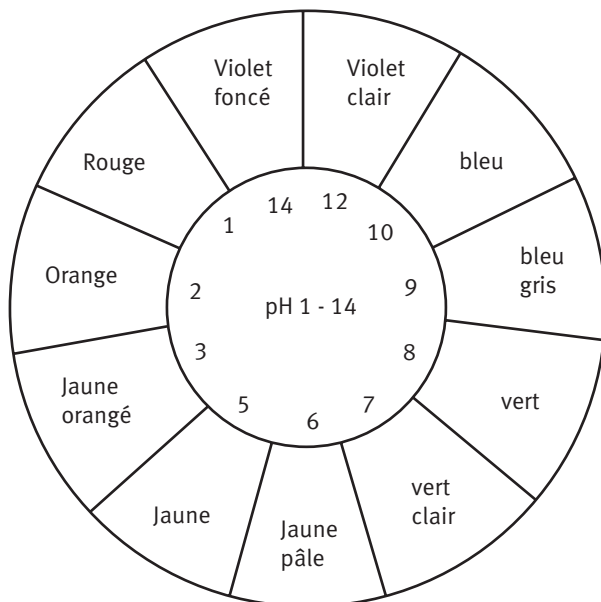
d) Le pH-mètre

Pour mesurer (expérimentalement) le pH d'une solution avec le maximum de précision (0,1 unité pH près), on utilise un appareil appelé : pH-mètre.

Un pH-mètre est un voltmètre qui mesure la tension électrique (ou différence de potentiel) existant entre ses 2 bornes appelées électrodes, et qui transforme ce résultat en valeur de pH.

2. pH d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque

Activité 3 Si on dépose une goutte de vinaigre qui est une solution aqueuse d'acide éthanoïque sur du papier indicateur de pH dont l'échelle de teinte est représentée ci-contre. Ce dernier prend une coloration jaune orangée.



Si on verse quelques gouttes de vinaigre dans un verre d'eau distillée et qu'on en dépose une goutte sur le papier indicateur de pH, celui-ci prend une coloration jaune.

Si on dilue encore avec de l'eau distillée, le papier indicateur de pH prend une coloration verdâtre.

Interprétez cette expérience.

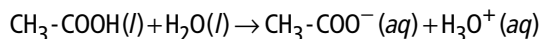
L'eau pure obtenue par distillation est neutre. Elle contient autant d'ions oxonium H_3O^+ que d'ion hydroxyde HO^- mais ne contient pas les autres ions que l'on peut trouver dans l'eau

minérale, l'eau de source ou l'eau du robinet (ions sodium, calcium, chlorure, sulfate...)

Les concentrations de ces deux ions H_3O^+ et HO^- sont égales et extrêmement faibles ($10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$) : l'eau distillée conduit très mal le courant électrique.

Dans une solution aqueuse, différents ions peuvent être présents mais il y a également souvent des concentrations différentes en ions H_3O^+ et HO^- .

Par exemple, si on dissout de l'acide éthanoïque dans de l'eau, on obtient un excès d'ions H_3O^+ par rapport aux ions HO^- dû à la réaction suivante :



dans laquelle : « aq » signifie aqueux c'est-à-dire dissous en solution.

Cette réaction est très limitée mais suffit pour que les ions H_3O^+ soient beaucoup plus nombreux que les ions HO^- . On dit qu'on est en milieu acide. Pour caractériser une solution acide, on peut mesurer le pH qui est directement lié à la concentration des ions oxonium.

Plus la solution est acide, plus la concentration des ions oxonium est élevée et plus le pH est faible. D'autres solutés provoquent des effets similaires, leur nom rappelle cette propriété acide (acides chlorhydrique, sulfurique, carboxyliques...)

3. Solubilité d'un acide

Rappelons tout d'abord que la **solubilité** d'une espèce chimique dans un solvant est la masse (ou la quantité en mol) maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre dans un solvant pour obtenir 1,0 litre de solution.

Une solubilité peut s'exprimer en g.L^{-1} ou en mol.L^{-1} .

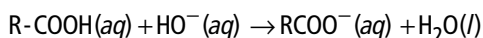
Les acides carboxyliques ont pour formule générale R-COOH . Leur molécule possède ainsi 2 parties :

- ▶ Leur groupe caractéristique : $-\text{COOH}$ qui présente un caractère **hydrophile** (attiré par l'eau) car il est polaire et peut former des liaisons hydrogène avec l'eau
- ▶ La chaîne carbonée $-\text{R}$ qui possède des propriétés **hydrophobe** (ou lipophile : attirée par les composés organiques) car elle est apolaire.

La solubilité des acides carboxyliques dépend alors de la longueur de la chaîne carbonée R :

- ▶ Si celle-ci est courte (moins de 9 atomes de carbone) le caractère hydrophile l'emporte, donc les acides carboxyliques correspondant sont solubles dans l'eau.
- ▶ Si celle-ci est longue (plus de 9 atomes de carbone), c'est le caractère hydrophobe qui l'emporte et les acides carboxyliques ne sont pas (ou peu) solubles dans l'eau. C'est, en particulier, le cas des **acides gras** : acides carboxyliques à longue chaîne carbonée (de 14 à 20).

Placé en milieu basique (par ajout d'une quantité suffisante de solution basique comme la solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) appelée aussi soude), un acide carboxylique réagit selon l'équation de réaction :



Lors de cette réaction, l'ion hydroxyde HO^- arrache un proton H^+ à l'acide carboxylique et le transforme en ion carboxylate RCOO^- .

Du fait de son caractère ionique, cet ion carboxylate est beaucoup plus soluble dans l'eau que l'acide carboxylique correspondant. Ceci est particulièrement vérifié pour les acides carboxyliques à longue chaîne carbonée.

Un ion carboxylate est beaucoup plus soluble dans l'eau que l'acide carboxylique correspondant ; exemple : à 25°C , la solubilité dans l'eau de l'acide benzoïque est de $2,4 \text{ g.L}^{-1}$ tandis que celle du benzoate de sodium est de 600 g.L^{-1} .



Obtention d'un acide carboxylique

1. Extraction de l'acide benzoïque par solvant

L'acide benzoïque (acide carboxylique de formule $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) est utilisé comme conservateur alimentaire dans de nombreuses boissons en particulier les bois-

sons « light », (Il apparaît sous le code 210 sur l'étiquette de ces boissons). Au laboratoire, il se présente à l'état pur sous la forme de cristaux blancs.

On veut extraire l'acide benzoïque d'une boisson au cola à l'aide d'un solvant. On dispose de trois solvants : dichlorométhane, éthanol et éther éthylique.

solvant	eau	dichlorométhane	éthanol	éther éthylique
solubilité acide benzoïque	faible	moyenne	bonne	bonne
densité	1	1,2	0,8	0,6
miscibilité dans l'eau		non miscible	miscible	non miscible
danger		irritant	inflammable	inflammable

- Activité 4**
- 1 Quel solvant faut-il choisir ? Donner les 2 raisons principales en expliquant. Par la suite le solvant choisi sera désigné par le symbole S.
 - 2 On procède à l'extraction en versant 100,0 mL de boisson et 20,0 ml de S dans une ampoule à décanter. Après agitation vigoureuse et dégazage, on laisse décanter. Que signifie la phrase : « on laisse décanter » ?
 - 3 Faire un schéma (avec une légende très précise et justifiée) de l'ampoule et de son contenu après décantation. Indiquer clairement dans quelle phase se trouve l'acide benzoïque.

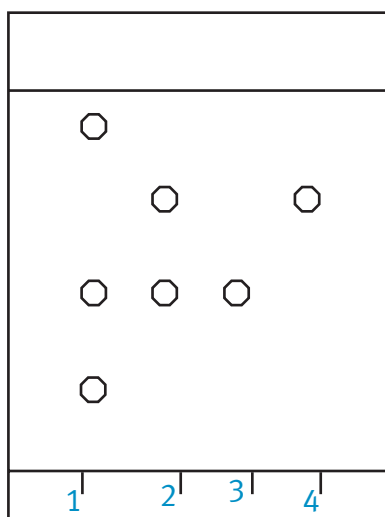
On récupère cette phase dans un flacon que l'on met de côté pour une analyse ultérieure : c'est l'extrait E_1 .

D'autre part, on réalise la synthèse de l'acide benzoïque. On obtient alors des cristaux blancs. Afin de les analyser, on en dissout quelques-uns dans un peu de solvant S. Cette solution est appelée E_2 .

On procède à l'analyse des produits obtenus par extraction (E_1) et par synthèse (E_2). On prépare :

- Une solution de référence (appelée E_3) d'acide benzoïque pur dans un peu de solvant S.
- Une solution de référence (appelée E_4) d'alcool benzylique dans le solvant S.

On fait la chromatographie sur couche mince de E_1 , E_2 , E_3 et E_4 . L'éluant est un mélange de cyclohexane et d'acétone. On obtient le chromatogramme suivant. D'après ce chromatogramme :



Activité 5

- ❶ La boisson contient-elle de l'acide benzoïque ?
- ❷ Interpréter la présence de plusieurs taches pour E₁.
- ❸ Les cristaux blancs obtenus par synthèse sont-ils bien des cristaux d'acide benzoïque ?
- ❹ Interpréter la présence de plusieurs taches pour E₂.

2. Synthèse de l'acide benzoïque

L'autre méthode d'obtention d'une espèce chimique est, comme le programme de Seconde nous l'a montré, la synthèse d'une espèce chimique par réaction chimique entre réactifs.

Les critères de qualité d'une synthèse chimique est la mesure de la pureté du produit obtenu ainsi que la détermination du rendement de cette synthèse .

Le rendement r d'une synthèse est égale au rapport de la masse m_{exp} (expérimentale) de produit réellement obtenu par la masse $m_{\text{théo}}$ (théorique) du produit que l'on obtiendrait si le réactif limitant était entièrement consommé (réaction totale) :

$$r(\%) = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{théo}}} \cdot 100.$$

Le rendement est une grandeur sans dimension, exprimable en % si on la multiplie par 100.

On peut aussi raisonner, non pas sur les masses de produit, mais sur leur quantité de matière (mol) :

$$r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{théo}}} \cdot 100.$$

La manipulation consiste à synthétiser de l'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ par oxydation de l'alcool correspondant (alcool benzylique $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$) à l'aide d'une solution de permanganate de potassium.

La réaction d'oxydation s'effectuant en **milieu basique**, les ions permanganate sont réduits à l'état de dioxyde de manganèse. Pour écrire les demi-équations rédox, il est conseillé de les écrire en milieu basique puis de rajouter des ions hydroxyde à gauche et à droite de la flèche afin d'obtenir des H_2O à la place des H^+ qui ne peuvent être présents en milieu basique. Il faut ensuite simplifier la demi-équation (voir l'activité 6). Voici un extrait du protocole expérimental :

- Prendre le ballon bicol de 250 mL ; placer dans un des cols le thermomètre (avec bouchon adapté) et dans l'autre col, l'extrémité du réfrigérant à eau.
- Régler la hauteur de l'ensemble de façon à placer le ballon dans le chauffe-ballon avec agitateur magnétique.
- Introduire dans le ballon, successivement :
 - 2,0 g de carbonate de sodium
 - 100 mL d'eau distillée
 - 4,5 g de permanganate de potassium
 - 2,2 g d'alcool benzylique

Activité 6

- 1 Écrire la demi-équation de chaque couple rédox concerné par la réaction et en déduire l'équation-bilan de la réaction.
- 2 Des 2 réactifs mélangés au début quel est celui qui a été mis en excès ? Justifier la réponse ($M_{\text{alcool}} = 108 \text{ g/mol}$ $M_{\text{permang}} = 158 \text{ g/mol}$).
- 3 Calculer la masse théorique $m_{\text{théo}}$ d'acide benzoïque que l'on peut obtenir si la réaction est totale.

Données

Couples rédox : $\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_2$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- / \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$

Masse molaire acide benzoïque : $122 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Mettre en route l'agitation et le réfrigérant à eau.

Chauffer doucement, vers 80°C , en contrôlant la température.

Laisser le chauffage se poursuivre pendant 60 à 90 minutes.

Arrêter le chauffage, sortir l'ensemble ballon + réfrigérant du chauffe-ballon de façon à optimiser le refroidissement.

Lorsque la température est descendue au-dessous de 40°C , verser le contenu du ballon dans un grand bécher.

Sous la hotte, acidifier le mélange (puisque milieu basique) en ajoutant, progressivement, 20 mL d'acide chlorhydrique concentré. (la solution prend alors un aspect brun et « pâteux » du à la présence de dioxyde de manganèse MnO_2).

Ajouter ensuite environ 50 mL d'une solution de sulfite de sodium.

Agiter jusqu'à dissolution totale du dioxyde de manganèse.

Refroidir le bécher en le plaçant dans de la glace ; l'acide benzoïque formé précipite.

Filtrer, sur büchner, les cristaux blancs obtenus.

Déposer les cristaux dans une grande feuille de papier filtre et comprimer les cristaux afin de les essorer au maximum.

Placer les cristaux dans un récipient en verre Pyrex ou dans une soucoupe.

Porter le tout à l'étuve.

Peser le produit une fois séché ; on trouve $m = 1,7 \text{ g}$.

Activité 7

- 1 Quel est le rôle du sulfite de sodium ?
- 2 Justifier le fait que l'acide benzoïque ne précipite qu'en milieu acide.
- 3 Quel est le rôle du carbonate de calcium ?
- 4 L'oxydation de l'alcool benzylique se fait en 2 étapes .Quel est le produit intermédiaire ?
- 5 À quel type d'alcool appartient l'alcool benzylique ?
- 6 Calculer le rendement r de la synthèse effectuée.



Synthèse ou hémisynthèse de molécules complexes, biologiquement actives

De nombreux composés oxygénés et azotés complexes comportant plusieurs groupes caractéristiques (hydroxyle, carbonyle, carboxyle...) ont des propriétés biologiquement intéressantes car ils agissent avec les molécules du vivant. Les plus importants sont les médicaments.

D'abord découverts dans des plantes puis extraits, ils furent ensuite améliorés par hémisynthèse en créant de nouvelles molécules par modification de certains de leurs groupes caractéristiques ou d'une partie de leur squelette carboné.

Lorsque les ressources naturelles sont insuffisantes pour répondre aux besoins, il est nécessaire de produire les molécules par synthèse à partir de molécules simples souvent issues de la distillation du pétrole.

1. L'aspirine

Dès l'antiquité, on utilisait les feuilles et l'écorce du saule blanc pour leur action contre la fièvre et les douleurs. À partir du début du XIX^e siècle, pharmaciens et chimistes ont cherché à isoler la molécule qui était contenu dans les feuilles et l'écorce du saule blanc et qui possédait de telles propriétés antipyrétiques (contre la fièvre) et antalgiques (contre la douleur).



Après bien des recherches, on a découvert que cette molécule pouvait être l'acide salicylique, mais qu'utilisée médicalement, telle que, elle présentait deux inconvénients : l'agressivité sur les muqueuses et le goût amer. Pour éliminer ces deux inconvénients, il fallait transformer l'acide salicylique en acide acétylsalicylique.

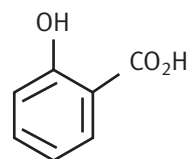
La transformation de l'acide salicylique en acide acétylsalicylique porte le nom d'hémisynthèse de l'aspirine. En effet, la synthèse complète comporte deux étapes :

- ▶ obtention de l'acide salicylique à partir du phénol,
- ▶ transformation de l'acide salicylique en acide acétylsalicylique.

On va s'intéresser d'abord à la deuxième étape, c'est à dire à l'hémisynthèse de l'aspirine, car elle est relativement facile à réaliser en TP de chimie, au lycée, alors que la première étape ne peut être menée que dans un laboratoire spécialisé.

Regardons quelle est la structure de la molécule d'acide salicylique :

On remarque une structure particulière de la chaîne carbonée sur cette molécule : il s'agit d'un noyau benzénique qui possède 6 atomes de carbone (1 à chaque sommet de l'hexagone) reliés par trois doubles liaisons conjuguées (voir le cours de chimie de la séquence 2). Quand on ne relie un des ces carbone à aucun autre groupement, il est lié à un atome d'hydrogène. Il y a donc 4 atomes d'hydrogène non représentés pour l'acide salicylique.



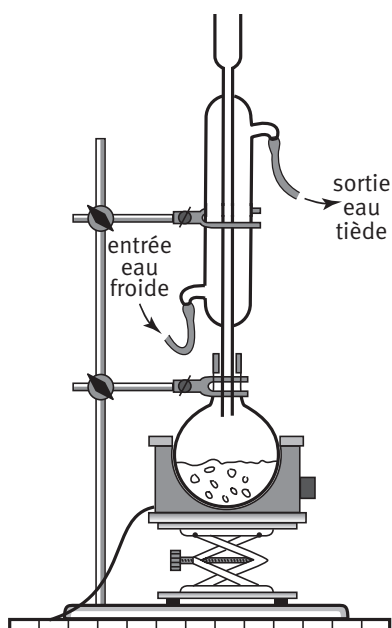
Le fait que ces doubles liaisons conjuguées soient dans un cycle à 6 carbones confère au noyau benzénique des propriétés chimiques particulières.

Par exemple, quand on essaie d'ajouter un groupement sur un carbone d'un noyau benzénique, on n'y arrive pas.

Soit l'addition ne se fait pas, soit on ajoute 6 groupements (un sur chaque carbone). Par exemple, si on essaie d'ajouter du dichlore sur du benzène (qui est la molécule la plus simple possédant un noyau benzénique), on aura toujours la réaction : $\text{C}_6\text{H}_6 + 3 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$

Une des fonctions chimiques de la molécule correspond au groupe hydroxyle -OH qui est fixé sur un des carbones du noyau. Dans ce cas, ce n'est pas un alcool comme vous pourriez le croire mais un phénol ; en effet, le fait de fixer le groupement hydroxyle -OH sur le carbone d'un noyau benzénique au lieu du carbone d'un alcane, change considérablement les propriétés de ce groupement à tel point que l'on différencie les alcools et les phénols. L'autre fonction correspond au groupe carboxyle -CO₂H qui est caractéristique des acides carboxyliques.

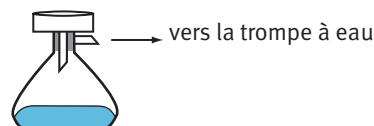
Voici un exemple de protocole d'hémisynthèse de l'aspirine à partir de l'acide salicylique



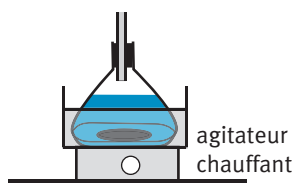
Pour préparer l'aspirine au laboratoire, on procède de la façon suivante. On dissout, dans un ballon de 250 mL, 5 g d'acide salicylique dans 8 mL d'anhydride acétique (ou éthanoïque).

On ajoute 2 gouttes d'acide sulfurique concentré et on agite. On adapte le réfrigérant à reflux sur le ballon et on chauffe très doucement (60-70°C) pendant environ une demi-heure (montage à reflux voir ci-contre).

On laisse refroidir, puis on filtre sous aspiration sur bûchner (voir ci-dessous).



Le produit ainsi obtenu est impur ; on doit le purifier en effectuant une recristallisation.



Pour cela, on place le produit impur dans un erlenmeyer et on ajoute environ 5 mL d'éthanol à 95°. On pose l'erlenmeyer sur un agitateur magnétique chauffant et on s'efforce de dissoudre tout le produit impur dans l'éthanol en chauffant (voir le montage ci-contre). Si on n'y parvient pas, on rajoute un peu d'éthanol.

Quand tout est dissous, on arrête le chauffage puis on verse environ 50 mL d'eau chaude dans l'erlenmeyer en continuant d'agiter.

Enfin, on place l'erlenmeyer dans un récipient contenant de l'eau et des glaçons. Au bout de quelques instants, l'aspirine, maintenant purifiée, recristallise.

On filtre de nouveau sur büchner et, après lavage à l'eau glacée, on sèche sur papier filtre. On place l'aspirine sur un verre de montre que l'on met dans une étuve à 90°C.

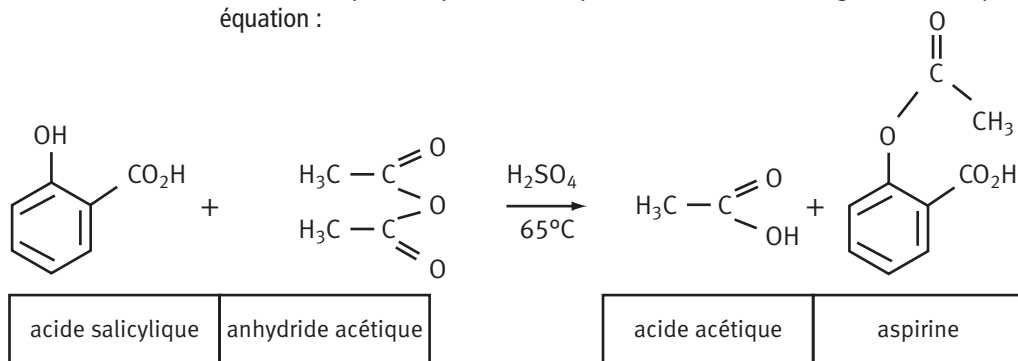
Le lendemain, on devra peser l'aspirine pure que l'on a synthétisée, puis repérer sa température de fusion sur un banc Kofler.

Remarques

À la suite du T.P, on doit repérer la température de fusion de l'aspirine sur le banc Kofler pour voir si le produit synthétisé est pur ou non. Si l'on trouve 135°C, le produit sera pur, sinon, il faudrait faire une nouvelle recristallisation.

On doit aussi peser l'aspirine synthétisé et on s'apercevra que l'on n'obtient pas la masse calculée dans l'activité (voir rendement d'une synthèse dans la séquence suivante).

La réaction qui s'est produite lorsqu'on a chauffé le mélange à reflux a pour équation :



Dans l'acide acétylsalicylique (aspirine), on a remplacé le groupement phénol de l'acide salicylique par un groupe ester : $\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$.

Activité 8 Étude quantitative de l'hémisynthèse

- Calculer la quantité de matière en mol d'acide salicylique utilisé lors de l'hémisynthèse.
- Calculer la quantité de matière en mol d'anhydride acétique utilisé lors de l'hémisynthèse, sachant que sa densité est égale à 1,08.
- Dresser le tableau d'avancement de la réaction d'hémisynthèse de l'aspirine.

► Quelle masse maximale d'aspirine pourrait être synthétisée ?

Données Masses molaires en g.mol^{-1} : C = 12, O = 16 et H = 1

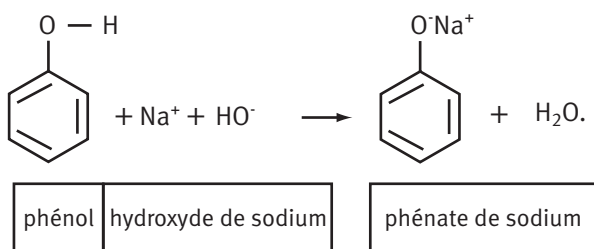
Activité 9 Nécessité de la synthèse industrielle

L'acide salicylique et donc l'aspirine peut être obtenu à partir de la salicyline naturellement présente dans l'écorce de saule à raison d'un ordre de grandeur de 1 mg par g d'écorce. Sachant que la production mondiale d'aspirine atteint 40 000 tonnes par an et que l'écorce représente environ 2 % du bois de l'arbre, donnez un ordre de grandeur de la masse de bois de saule nécessaire pour satisfaire aux besoins. Comparer avec la production annuelle de bois (toutes essences confondues) de l'ordre de 10^9 tonnes et conclure

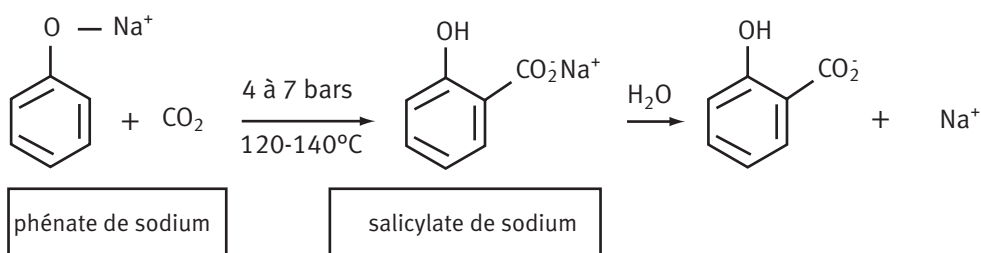
La fabrication de l'aspirine s'effectue donc de manière industrielle uniquement par synthèse à partir de composés dérivés du pétrole et parmi eux le phénol qui est un dérivé du benzène.

La première étape de la synthèse de l'aspirine, celle qui ne peut se faire qu'en laboratoire spécialisé, consiste à transformer le phénol en acide salicylique.

Pour cela on commence à faire réagir le phénol sur de l'hydroxyde de sodium. On utilise une solution concentrée de soude et on réalise la réaction dans un autoclave.

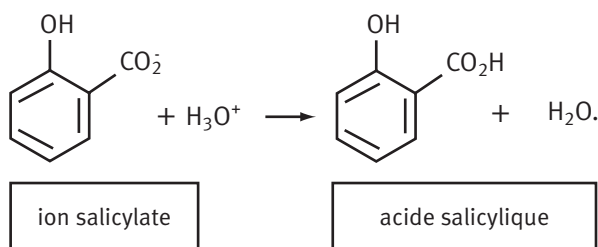


Ensuite, on fait réagir du dioxyde de carbone sur le phénate de sodium. On travaille sous une pression d'environ 5 bars et à une température d'environ 130°C.



On obtient dans un premier temps du salicylate de sodium solide que l'on dissout dans de l'eau pour obtenir des ions salicylate. On ajoute alors de l'acide sulfurique et l'acide salicylique qui est beaucoup moins soluble, dans l'eau, que les

ions salicylate, précipite. Il ne reste plus qu'à purifier l'acide salicylique avant de passer à la deuxième étape.



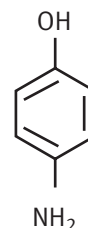
L'aspirine est un « plus que centenaire » qui se porte bien car on continue à l'utiliser en France et dans le monde puisqu'on estime que les êtres, vivant sur notre planète, consomment plus de 100 milliards de comprimés par an. Il faut dire qu'avec le temps, on s'est aperçu que l'acide acétylsalicylique possédait d'autres propriétés médicinales que celles qu'on lui avait attribuées au départ.

2. Le paracétamol

Le paracétamol possède, comme l'aspirine des propriétés antipyrétiques et analgésiques mais il n'a pas d'action anticoagulante (ce qui peut être un bien ou un mal, suivant le patient qui est traité) et il n'endommage pas la muqueuse gastrique, car il n'a pas de propriétés acides.

Comme pour l'hémisynthèse de l'aspirine on fait réagir l'anhydride acétique (ou éthanoïque) sur une molécule appelée : 4-aminophénol. Intéressons-nous d'abord à cette molécule :

On reconnaît tout d'abord le noyau benzénique que nous venons de voir en étudiant l'acide salicylique, ensuite le groupement phénol. Le deuxième groupement qui est fixé sur le noyau benzénique est $-\text{NH}_2$: il est caractéristique des amines.



On peut remarquer que sur la molécule d'acide salicylique, le groupement $-\text{CO}_2\text{H}$ qui est caractéristique des acides, est situé sur un carbone voisin de celui qui porte le OH.

Ce n'est pas le cas du 4-aminophénol, où le groupement $-\text{NH}_2$ est fixé en face de celui qui porte le OH (d'où le 4, puisque si on numérote 1, le carbone qui porte le OH, le carbone qui porte le groupement $-\text{NH}_2$ aura le numéro 4).

Pour préparer le paracétamol au laboratoire, on procède de la façon suivante. On dissout, dans un erlenmeyer de 250 mL, 5,45 g de 4-aminophénol solide dans 50 mL d'eau et 3,5 mL d'acide acétique (ou éthanoïque). On place le mélange dans un bain-marie à 80°C et on pose l'ensemble sur un agitateur magnétique chauffant. On agite jusqu'à dissolution complète du solide.



Photo 1

On plonge ensuite l'erenmeyer dans un bain d'eau froide et, quand la température de son contenu a suffisamment baissé, on ajoute précautionneusement, et petit à petit, 7 mL d'anhydride acétique sans cesser d'agiter.

Lorsqu'on a fini de verser l'anhydride, on place l'erenmeyer dans un récipient contenant des glaçons et on attend que le paracétamol qui se présente sous forme de cristaux rougeâtres précipite. (voir photo 1)

On filtre sur büchner et on va ensuite purifier le paracétamol que l'on vient de synthétiser par recristallisation.

Pour cela, on dissout la paracétamol dans le plus petit volume d'eau possible. On chauffe, si tout n'est pas dissous, on rajoute un peu d'eau jusqu'à ce qu'il ne reste plus de solide dans l'erenmeyer (photo 2).

On place de nouveau l'erenmeyer dans la glace, jusqu'à ce que le paracétamol purifié ait fini de recristalliser.

On filtre de nouveau sur büchner et, après lavage à l'eau glacée, on sèche sur papier filtre. On place le paracétamol sur un verre de montre que l'on met dans une étuve à 70°C.

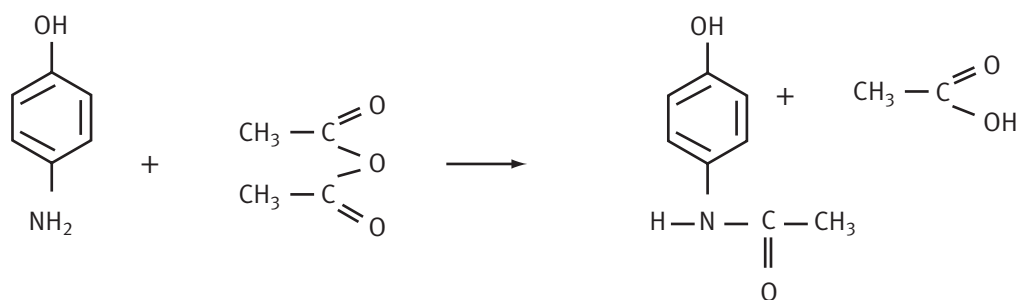
Le lendemain, on devra peser le paracétamol pur que l'on a synthétisé, puis repérer sa température de fusion sur un banc Kofler.

Le paracétamol se présente alors sous forme de cristaux blancs.



Photo 2

La réaction qui s'est produite lorsqu'on a ajouté l'anhydride a pour équation :



4-aminophénol

anhydride acétique

paracétamol

acide acétique

Dans le paracétamol, on a remplacé la fonction amine du 4-aminophénol par une fonction amide : $-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-$.

Activité 10 Étude quantitative de la synthèse du paracétamol

- ▶ Calculer la quantité de matière en mol de 4-aminophénol utilisé lors de cette synthèse
- ▶ Calculer la quantité de matière en mol d'anhydride acétique utilisé lors de cette synthèse, sachant que sa densité est égale à 1,08
- ▶ Dresser le tableau d'avancement de la réaction de synthèse du paracétamol
- ▶ Quelle masse maximale de paracétamol pourrait être synthétisée ?

Données Masses molaires en $g.mol^{-1}$: C = 12, O = 16 et H = 1

Remarques À la suite du T.P, on doit repérer la température de fusion du paracétamol sur le banc Kofler pour voir si le produit synthétisé est pur ou non. Si l'on trouve 169°C, le produit sera pur, sinon, il faudrait faire une nouvelle recristallisation.
On doit aussi peser le paracétamol synthétisé et on s'apercevra que l'on n'obtient pas la masse calculée dans l'activité (voir rendement d'une synthèse dans la séquence suivante).



Nanochimie : une fenêtre vers l'avenir ?

1. Généralités

Depuis la naissance de la chimie moderne, que l'on peut situer au moment où Lavoisier publia le Traité élémentaire de chimie en 1789, les chimistes se sont toujours efforcés de raisonner sur les entités constitutives de la matière. Ils ont alors compris que les atomes devaient s'associer pour former des molécules ou que certains de ces édifices devaient perdre ou gagner des électrons pour se transformer en ions. Atomes, molécules ions et plus encore électrons, avaient des dimensions souvent inférieures au nanomètre (on a longtemps utilisé l'angström, un dixième de nanomètre pour caractériser leurs dimensions) et on peut donc se demander quelles nouveautés peut accompagner le terme de nanochimie.

En fait, les chimistes raisonnaient sur des entités très petites mais, au laboratoire, ils étaient contraints d'expérimenter sur des quantités assez importantes de réactifs (d'où l'utilisation de la mole pour mesurer ces quantités) et ils ne pouvaient qu'imaginer comment les substances qu'ils avaient manipulées, avaient interagi.

Activité 11 Efficacité des nanoparticules

- ① Supposons qu'une entité élémentaire possède un volume de 2 nm^3 . Combien de ces entités élémentaires peut-on, au maximum trouver dans un cube de 2 mm de côté et dans un cube de 20 nm de côté ?

En déduire le facteur approximatif qui sépare chimie et nanochimie.

- ② Une entité élémentaire qui possède un volume de 2 nm^3 occupe une surface d'environ 2 nm^2 sur la face d'un cube. Donner l'ordre de grandeur du nombre d'entités présentes sur la face d'un cube de 20 nm de côté et sur celle d'un cube de 2 mm . Quelle est la proportion d'entités qui se trouvent à la surface du cube, dans les deux cas ? (On rappelle qu'un cube possède 6 faces !)

Sachant que seules les entités situées à la surface des solides peuvent réagir, donnez une explication de l'efficacité des nanoparticules, dans les réactions chimiques mettant en jeu des solides.

Aujourd'hui les chimistes n'ont plus besoin d'imaginer ce qui se produit entre molécules ; ils peuvent visualiser directement les processus de croissance et d'organisation à l'échelle des briques de base.

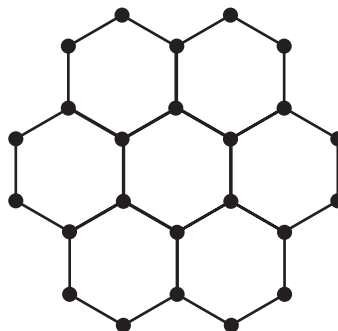
Ils ne peuvent encore « voir » ni les atomes ni les molécules mais ils sont maintenant capables de travailler sur un petit nombre d'entre eux et, à cette échelle, ils se sont aperçus que les structures qu'ils pouvaient élaborer possédaient des propriétés inattendues et très intéressantes.

On s'est aperçu en effet que le même matériel pris dans son état normal et transformé en nanoparticules ne présente pas les mêmes propriétés. Par exemple, pour un corps pur pris dans son état normal, nous avons vu que la température d'un changement d'état est la même quel que soit le sens dans lequel il se produit : l'eau se transforme en glace à 0°C et la glace fond à 0°C . Cette propriété n'est plus valable pour le corps pur pris sous forme de nanoparticules. On attribue cette différence au fait que quand un matériel est pris dans son état normal, le nombre des atomes qui constitue sa surface, est nettement inférieur à son nombre total d'atomes, alors que ce n'est plus du tout le cas pour un nano-objet (voir l'activité 11).

La nanochimie sert donc à fabriquer, des édifices, à structure très particulière à partir de briques élémentaires, qui possèdent une taille équivalente à quelques nanomètres.

2. Les nanotubes

Les nanotubes sont les premiers produits de la nanochimie. En fait, ils se sont toujours formés, mais de manière aléatoire et en très faible quantité quand les hommes ont commencé à faire brûler du bois. Mais il a fallu l'invention du microscope électronique (milieu du XX^{e} siècle) pour que l'on puisse voir ces nanotubes et que les chimistes commencent à s'intéresser à eux.



Dans un cristal de graphène (substance isolée pour la première fois en 2004) les atomes de carbone sont arrangés de manière très particulière (voir schéma) et ils sont disposés sur une seule couche et forment ainsi un feuillet (comparable à

une feuille de papier de moins d'un nanomètre d'épaisseur). Dans le graphite, les atomes sont aussi disposés ainsi, mais des couches innombrables sont empilées les unes sur les autres ; pour obtenir le graphène, André Geim a donc dû extraire une à une les couches du graphite (on parle alors d'exfoliation).

Quand ce feuillet s'enroule lui-même, (toujours comme on peut faire avec la feuille de papier), on obtient un tube creux monofeuillet. Il faut ensuite fermer les extrémités du tube, toujours avec des atomes de carbone et on obtient ainsi une structure qui est un tube cylindrique, fermé à ces deux extrémités, de 1 à 10 nanomètres de diamètre et de plusieurs micromètres de longueurs.

Il existe des tubes multifeuillet soit parce que plusieurs feuillets se sont superposés, soit parce que le feuillet a fait plusieurs tours sur lui-même. (on peut toujours visualiser la structure avec des feuilles de papier, sauf que si le diamètre du tube est de 1 cm, sa longueur devrait être de l'ordre de 10 m !).

Si l'on s'intéresse tant à ces nanotubes, c'est qu'ils présentent des propriétés tout à fait exceptionnelles. Ils sont aussi rigides que l'acier alors que leur densité est beaucoup plus faible. Leur dureté est supérieure à celle du diamant.

Suivant la manière dont ils se sont enroulés sur eux-mêmes, ils peuvent être bien meilleurs conducteurs que le cuivre ou bien posséder les propriétés des semi-conducteurs ; c'est ainsi que des chercheurs ont réussi à fabriquer un transistor sur un nanotube.

Ils peuvent aussi présenter des propriétés chimiques très intéressantes. En effet, on peut remplir ces tubes d'autres composés et on obtient ainsi des nanofils. La gaine de graphène de ces nanofils est particulièrement résistante et isole parfaitement la substance qui est enfermée à l'intérieur.

On sait qu'un objet qui reçoit de la lumière, en diffuse toujours une partie. Quand on se trouve dans une pièce éclairée par une ampoule électrique, c'est grâce à ce phénomène que nous pouvons voir les objets qui nous entourent et qui ne sont pas lumineux par eux-mêmes, en effet, si nous éteignons la lumière nous ne voyons plus ces mêmes objets. Les physiciens ont conçu le « corps noir », objet idéal qui ne diffuserait rien, parce qu'il absorberait tous les rayonnements lumineux qu'il recevrait. Des chercheurs ont réalisé un « tapis de nanotubes » et ils ont pu mesurer que ce tapis était très proche du « corps noir » idéal puisqu'il absorbait 99,9% de la lumière qu'il recevait.

Pour finir, il faut quand même préciser que les nanotubes commencent à peine à entrer dans le domaine industriel, même si certains envisageaient qu'en 2010, on pourrait remplacer le filament de tungstène des ampoules électriques par un nanotube ce qui les rendrait bien plus lumineuses et beaucoup moins gourmandes en énergie.

À l'heure actuelle, la fabrication des nanotubes, quelle que soit la méthode utilisée, reste difficile et très coûteuse. Cependant, les choses risquent d'aller assez vite puisqu'on parle, tous les jours, de nouveau progrès, dans tous les domaines : quantité de produit obtenu dans l'unité de temps, pureté des nanotubes, longueur...

3. d'autres produits de la nanochimie

Sans trop rentrer dans les détails, une nanoparticule est définie comme un nano-objet si ces 3 dimensions sont inférieures à 100 nanomètres. Si l'on s'est fixé des normes pour les nano-objets, c'est qu'on les soupçonne fortement d'être toxiques en raison de leur facilité à pénétrer dans le corps humain (les nanoparticules traversent facilement la peau) et de leur capacité à déclencher des réactions chimiques néfastes pour la santé des êtres vivants.

Malgré ces inconvénients, la recherche scientifique s'intéresse beaucoup aux nano-objets depuis la fin du XX^e siècle.

Parmi les nanoparticules métalliques, celles d'or ont été particulièrement étudiées. Quand on réduit de l'or à l'état de nanoparticules, la première chose que l'on constate, c'est qu'il change de couleur : de jaune doré, il devient rouge violacé. Quand on éclaire une substance en lumière blanche, sa couleur dépend des longueurs d'onde qu'elle absorbe ; on peut donc en conclure qu'à l'état de nanoparticules l'or n'absorbe pas les mêmes longueurs d'onde que dans son état normal.

Mais bien plus surprenant, alors que, dans son état normal, l'or est connu pour sa faible réactivité, (si de tout temps on a fabriqué des bijoux en or, c'est parce qu'il ne s'oxyde pas à l'air contrairement à beaucoup d'autres métaux), il devient très réactif quand il est transformé en nanoparticules. Enfin, alors que, sous sa forme normale, on ne lui connaît pas de pouvoir catalytique particulier, il devient un très bon catalyseur quand on le transforme en nanoparticules : une équipe de chercheurs japonais a montré que des nanoparticules d'or de dimensions inférieures à 5 nanomètres peuvent catalyser l'oxydation du monoxyde de carbone en dioxyde de carbone à une température inférieure à -50°C , alors que le catalyseur classique (platine) ne peut réaliser cette opération que si la température est supérieure à 100°C .

Activité 12 Utilisation des nanoparticules

Écrire l'équation de la réaction qui transforme le monoxyde de carbone en dioxyde de carbone.

En quoi l'utilisation de nanoparticules d'or pour catalyser cette réaction, pourrait présenter un grand intérêt dans la vie de tous les jours ?

Avec les médicaments classiques, on peut se heurter à une double difficulté : impossibilité d'arriver en quantité suffisante et au bon moment sur le site où ils doivent opérer, et dégradation par les enzymes de la molécule efficace, avant son arrivée sur son lieu d'action. La recherche sur les nanomédicaments a pour but de trouver les solutions permettant de résoudre les deux problèmes ; en injectant dans le corps humain des doses de médicaments sous forme de nano-objets, on peut à la fois protéger la molécule active de façon qu'elle arrive intacte sur le lieu où elle doit opérer et amener sur le site l'exacte quantité de médicament à la meilleure date possible.

Les nano-objets susceptibles de réussir à remplir cette double mission peuvent revêtir différentes formes : liposomes, cubosomes, objets « Janus »... Vous pourrez lancer une recherche pour découvrir la signification de ces mots savants !

Le nanomédicament est donc constitué de nanoparticules actives recouvertes d'une couche de polymères hydrophiles et flexibles qui permettent d'amener le principe actif à l'endroit où il doit arriver.

On peut donner l'exemple suivant : le traitement de certains cancers par la doxorubicine résistait à une chimiothérapie classique. On a alors essayé d'administrer la doxorubicine sous forme de nanoparticules, et il semble bien que, sous cette forme, le traitement soit efficace (les essais cliniques ne sont toujours pas terminés à la date où ce chapitre est rédigé).

Comme de nombreuses autres avancées scientifiques, la nanochimie soulève également des nouvelles interrogations :

- ▶ Que deviennent les nanoparticules toxiques inhalées ou ingérées par les organismes vivants ?
- ▶ Comment empêcher les pollutions puisque de nombreuses nanoparticules échappent aux détecteurs et aux filtres classiques ?...

Résumé

Les acides carboxyliques forment une classe de composés caractérisés par la présence du groupe fonctionnel carboxyle.

Un acide carboxylique possède donc la formule générale suivante : $\text{R} - \text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$

R peut être un groupe alkyle ou un atome d'hydrogène.

Le nom de l'acide est celui de l'alcane correspondant précédé de « acide » et suivi du suffixe « oïque ».

Les propriétés acides d'une solution aqueuse peuvent être mises en évidence par la mesure d'une grandeur physique appelée pH.

Le pH est une **grandeur positive** (entière ou décimale) et **sans dimension** (sans unité).

La **solubilité** d'une espèce chimique dans un solvant est la masse (ou la quantité en mol) maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre par litre de solution. Une solubilité peut s'exprimer en g.L^{-1} ou en mol.L^{-1} .

On peut obtenir et isoler un acide carboxylique, soit par extraction par solvant, soit par synthèse.

Le rendement r d'une synthèse est égale au rapport de la masse m_{exp} (expérimentale) de produit réellement obtenu par la masse $m_{\text{théo}}$ (théorique) du produit que l'on obtiendrait si le réactif limitant était entièrement consommé (réaction totale) :

$$r (\%) = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{théo}}} \cdot 100.$$

Le rendement est une grandeur sans dimension, exprimable en % si on la multiplie par 100.

On peut aussi raisonner, non pas sur les masses de produit, mais sur leur quantité de matière (mol) :

$$r (\%) = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{théo}}} \cdot 100.$$

Une hémisynthèse est la production par réaction chimique d'une espèce chimique à partir d'une autre espèce chimique de structure proche souvent d'origine naturelle.

La synthèse complète d'une espèce chimique s'effectue à partir de composés de base souvent issus du pétrole.

En T.P de chimie, au lycée, on peut réaliser l'hémisynthèse de l'aspirine en faisant réagir l'anhydride acétique sur l'acide salicylique. La synthèse complète de l'aspirine comprend une autre étape qui transforme le phénol en acide salicylique.

La nanochimie sert à fabriquer, des édifices, à structure très particulière à partir de briques élémentaires, qui possèdent une taille équivalente à quelques nanomètres. Parmi les nano-objets que les chimistes étudient particulièrement, on peut citer les nanotubes de carbone, les nano-particules métalliques et les nanomédicaments.

E

xercices

Choisir la ou les bonne(s) réponse(s).

Exercice 1 QCM 1

La molécule de formule : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$

- a. est un acide carboxylique
- b. est un alcool primaire
- c. est un alcool secondaire
- d. s'appelle le pentan-1-ol
- e. s'appelle le pentan-5-ol

Exercice 2 QCM 2

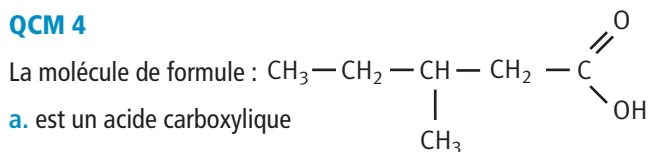
La molécule de formule : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$

- a. est un acide carboxylique
- b. est un alcool primaire
- c. est un alcool secondaire
- d. s'appelle le butan-1-ol
- e. s'appelle l'acide butanoïque

Exercice 3 QCM 3

La molécule de formule : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_3$

- a. est un acide carboxylique
- b. est un aldéhyde
- c. est un alcool secondaire
- d. s'appelle le pentan-3-ol
- e. s'appelle la pentan-3-one
- f. est une cétone

Exercice 4 QCM 4

- a. est un acide carboxylique
- b. est un aldéhyde
- c. s'appelle l'acide 3-méthylpentanoïque
- d. s'appelle le 3-méthylpentanal

Exercice 5 QCM 5

Une solution aqueuse de $\text{pH} = 4,0$:

- a. est une solution basique,
- b. est une solution acide,

Exercice 6 QCM 6

Soit les solutions :

A de $\text{pH} = 2,0$

B de $\text{pH} = 3,5$

Quelle est, de A ou de B, la solution la plus acide ?

Exercice 7 À propos d'une boisson à consommer avec modération

Parmi les nombreuses substances présentes dans une bouteille de vin fin peuvent se trouver plusieurs acides organiques, parmi lesquels les acides éthanoïque, malique, tartrique et lactique.

Au cours de l'élaboration du vin se succèdent deux modes de fermentation :

- fermentation alcoolique transformant les sucres en éthanol avec un dégagement de dioxyde de carbone ;
- fermentation malolactique transformant l'acide malique en acide lactique avec dégagement de dioxyde de carbone.

L'acidité d'un vin diminue avec la fermentation malolactique et également par précipitation de l'acide tartrique à l'état de tartrates. Un vin est considéré comme biologiquement stable s'il ne contient plus de sucres fermentescibles et d'acide malique. Pour les vins rouges, les deux fermentations doivent être poussées jusqu'à leur terme.

Si un vin est mis en bouteille alors que la fermentation malolactique n'est pas achevée, on ressent à la dégustation un certain pétilllement et quelques bulles peuvent apparaître dans le verre, peu après l'ouverture de la bouteille.

Avant de procéder à la mise en bouteille d'un vin, il est nécessaire de connaître le stade de la fermentation malolactique. Un procédé utilisé pour suivre cette évolution est la chromatographie.

On donne les formules des acides concernés :

acide éthanoïque : $\text{CH}_3 - \text{CO}_2\text{H}$; acide tartrique : $\text{HO}_2\text{C} - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CO}_2\text{H}$;
acide malique : $\text{HO}_2\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CO}_2\text{H}$; acide lactique : $\text{HO}_2\text{C} - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}_3$.

1. La fermentation malolactique

Répondre aux questions suivantes en s'aidant du texte :

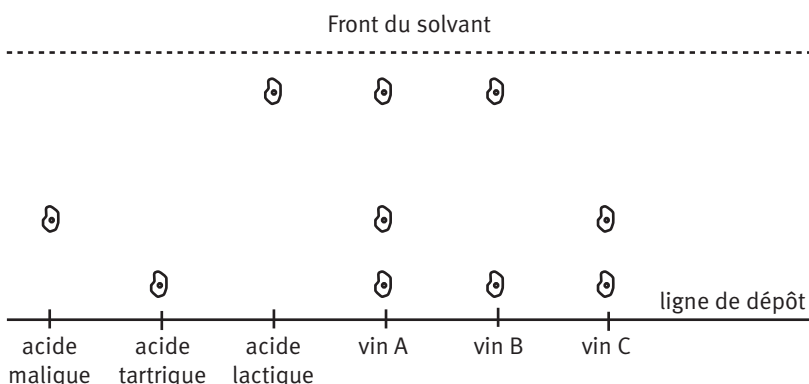
- ❶ Écrire l'équation-bilan correspondant à la fermentation malolactique.
- ❷ Quelle peut être la cause chimique des faits observés lors de l'ouverture d'une bouteille contenant un vin dont la fermentation malolactique n'était pas terminée à la mise en bouteille ?

2. Suivi par chromatographie de la fermentation malolactique

On utilise :

- ▶ le matériel classique pour chromatographie sur papier (cuve à chromatographie, papier à chromatographie, micropipette, sèche-cheveux ou étuve...).
- ▶ comme «solvant» (éluant), un mélange de propan-1-ol, d'eucalyptol d'acide méthanoïque;
- ▶ comme révélateur un mélange d'éthanol, de bleu de bromophénol et soude, placé dans un pulvérisateur;
- ▶ différents échantillons d'acides et de vins.

- ❶ Indiquer les principales étapes de réalisation du chromatogramme.
- ❷ On obtient le chromatogramme ci-après.
Quel est l'état de fermentation malolactique de chaque échantillon de vin.
Justifier votre réponse.



Exercice 8 Oxydation du benzaldéhyde

Dans un ballon bicol de 250 mL on introduit 20,0 mL de soude à 1,00 mol/L, puis $V = 2,0$ mL de benzaldéhyde et, enfin, quelques grains de pierre ponce. On

adapte un réfrigérant à reflux et une ampoule de coulée, dans laquelle on verse $V_1 = 60,0$ mL de solution de permanganate de potassium à $C = 0,25$ mol/L.

À l'aide d'un chauffe-ballon placé sur un plateau à crémaillère, on porte le mélange réactionnel à ébullition douce, puis on ajoute goutte à goutte la solution oxydante. Aux premières gouttes versées, la solution est verte, puis un précipité marron de dioxyde de manganèse MnO_2 se forme. En fin d'addition, on laisse bouillir pendant environ 5 minutes. Pour réduire le permanganate introduit en excès, on ajoute quelques gouttes d'éthanol jusqu'à disparition de la teinte violacée de la phase liquide.

On retire le ballon du chauffe-ballon tout en maintenant le reflux. Après refroidissement, on filtre le mélange sur un filtre Büchner : le filtrat est limpide. On le verse alors dans un erlenmeyer contenant 10 mL d'acide chlorhydrique à 5 mol/L.

L'acide benzoïque précipite ; on place l'erlenmeyer dans un bain eau-glace pour favoriser la précipitation. On filtre alors le mélange sur Büchner ; le solide obtenu est rincé, puis séché à l'étuve. Une fois sec, il est pesé ; on trouve $m = 1,94$ g.

Données

Masse volumique du benzaldéhyde : 1,04 g/mL.

Solubilité dans l'eau de l'acide benzoïque : 2,4 g/L à 20 °C, et 68 g/L à 95 °C ; du benzoate de sodium : 400 g/L à 20 °C.

Masse molaire aldéhyde benzoïque : 106 g.mol⁻¹ ; acide benzoïque : 122 g.mol⁻¹

- ① Écrire les demi-équations rédox relatives aux couples $(\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_2)$ et $(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- / \text{C}_6\text{H}_5\text{CHO})$ en milieu basique.
 - En déduire l'équation-bilan de la réaction qui se déroule dans le ballon.
 - Vérifier, par le calcul, que le permanganate de potassium a bien été introduit en excès.
 - ② La coloration verte initialement observée est due à la formation de l'ion manganate MnO_4^{2-} .
 - Écrire les demi-équations électroniques relatives aux couples $\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_4^{2-}$ et $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- / \text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$ en milieu basique.
 - En déduire l'équation-bilan de la réaction qui se déroule tout au début dans le ballon.
- L'ion MnO_4^{2-} étant ensuite totalement réduit en dioxyde de manganèse, nous pouvons négliger sa formation dans le bilan de la synthèse.
- ③ Écrire les demi-équations électroniques relatives aux couples $(\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_2)$ et $(\text{CH}_3\text{COO}^- / \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})$ en milieu basique.
 - En déduire l'équation-bilan de la réaction faisant disparaître l'excès d'ion permanganate.
 - Expliquer pourquoi la formation d'ions acétate dans le milieu n'est pas gênante pour la suite de la synthèse.
 - ④ Expliquer la précipitation de l'acide benzoïque lors de l'acidification de la solution. Pourquoi cette précipitation est-elle favorisée à basse température ?

- 5 Déterminer le rendement de la synthèse.
- 6 Afin de vérifier que le produit obtenu est bien de l'acide benzoïque, on réalise une chromatographie sur couche mince sensible aux UV. On prépare une solution étherée d'acide benzoïque A, de benzaldéhyde B et du produit de la synthèse C.
L'éluant utilisé est un mélange de 4 mL de cyclohexane et de 2 mL d'acétone.
Dans ces conditions $R_f(\text{benzaldéhyde}) = 0,7$ et $R_f(\text{acide benzoïque}) = 0,25$.
 - Dessiner le chromatogramme obtenu dans l'hypothèse où l'acide benzoïque obtenu est pur.
 - Dessiner le chromatogramme obtenu dans l'hypothèse où l'acide benzoïque obtenu contient encore des traces de benzaldéhyde.

Exercice 9 Dans l'industrie chimique

- 1 À température ambiante, on dissout 135 kg d'hydroxyde de sodium dans 200 L d'eau. Quelle est la concentration en mol.L^{-1} de la solution obtenue, sachant qu'à 20°C, on peut dissoudre jusqu'à 1 kg de soude dans 1 L d'eau.
- 2 On introduit, dans un réacteur autoclave, les 200 L de solution et 300 kg de phénol. Après diverses manipulations, on récupère une poudre sèche. Quelle est sa nature ? Quelle masse maximale peut-on récupérer ?
- 3 On fait ensuite réagir cette poudre sur du dioxyde de carbone que l'on continue d'ajouter progressivement. On maintient la température constante et égale à 120°C et on fixe la pression à 6 bars dans l'autoclave. On cesse d'ajouter le dioxyde de carbone lorsque la pression se met à augmenter de façon notable. Pourquoi l'augmentation notable de pression montre-t-elle que la réaction est terminée ? Quelle masse maximale de salicylate de sodium pourra-t-on obtenir ?

Données Masses atomiques en g.mol^{-1} : H = 1 ; C = 12 ; O = 16 et Na = 23

Exercice 10 L'aspirine au laboratoire

Pour faire l'hémisynthèse de l'aspirine au laboratoire, on introduit 4 g d'acide salicylique (acide 2-hydroxybenzoïque), en poudre, dans un erlenmeyer de 125 mL. On ajoute ensuite 7 mL d'anhydride acétique (anhydride éthanoïque) et 4 gouttes d'acide sulfurique concentré.

Placer l'erlenmeyer, pendant une demi-heure environ, sur un agitateur magnétique chauffant, après avoir réglé la température à 60°C. Passée cette demi-heure, arrêter le chauffage et ajouter lentement, dans l'erlenmeyer, 25 mL d'eau glacée, tout en continuant d'agiter pendant une dizaine de minutes.

Filtrer sur Büchner le contenu de l'erlenmeyer et laver par petites quantités d'eau glacée. Après chaque lavage, regarder le pH de l'eau ; arrêter le lavage lorsque le pH de l'eau n'est plus acide.

- 1 Faire un schéma du dispositif qui permet de réaliser l'hémisynthèse.

- 2 Faire un schéma de la filtration sur büchner.
- 3 Écrire l'équation qui correspond à l'hémisynthèse de l'aspirine.
- 4 Qu'essaie-t-on de vérifier en regardant le pH de l'eau de lavage ?
- 5 Calculer la masse maximale d'aspirine que l'on peut obtenir lors de cette hémisynthèse.

Données Masses atomiques en g.mol^{-1} : $\text{H} = 1$; $\text{C} = 12$; $\text{O} = 16$ et la densité de l'anhydride acétique : 1,1.

