

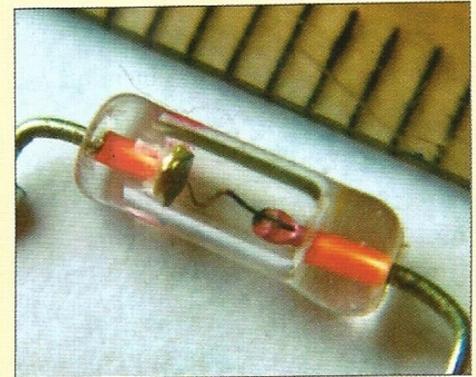
9 Jonction PN, diodes et transistors

Compétences générales Extraire et exploiter des informations

Mot-clé Semi-conducteurs

PROBLÉMATIQUE

Pour fabriquer les composants électroniques et optoélectroniques utilisés aujourd'hui, on ajoute des impuretés dans un semi-conducteur, le plus souvent du silicium, parfois du germanium. On dit alors que le silicium est dopé. Étudions le fonctionnement de certains composants électroniques.



▲ Diode de germanium.

DOC 1. Jonction PN

Une jonction PN est la surface séparant une zone dopée N et une zone dopée P.

On considère une zone de cristal de silicium dans laquelle certains atomes de silicium ont été remplacés par des atomes ayant cinq électrons de valence. On dit alors que le silicium est dopé N ; les charges mobiles sont essentiellement des électrons. Dans une zone contiguë de ce cristal, certains atomes de silicium ont été remplacés par des atomes ayant

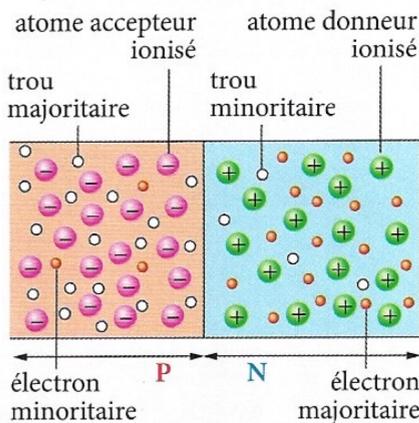


Figure 1.A Dopage des zones P et N d'une jonction.

trois électrons de valence. On dit alors que le silicium est dopé P ; les charges mobiles sont essentiellement positives, on les appelle « des trous » (fig. 1.A).

Les électrons libres de la zone N diffusent dans la zone P ; de même, les trous de la zone P diffusent dans la zone N. Ces porteurs mobiles de charges de signes opposés se neutralisent dans une zone de transition, qui s'étend de part et d'autre de la jonction PN (fig. 1.B).

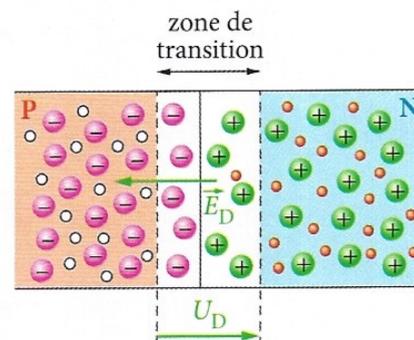


Figure 1.B Zone de transition d'une jonction PN.

Dans la zone de transition, il n'y a plus que des ions fixes : positifs dans la zone N et négatifs dans la zone P.

Ces ions créent un champ électrique \vec{E}_D dirigé de N vers P et une tension U_D de l'ordre de 0,7 V.

Les électrons libres de la zone N, ainsi que les trous de la zone P, sont repoussés par ce champ \vec{E}_D . Un équilibre s'établit alors (fig. 1.C).

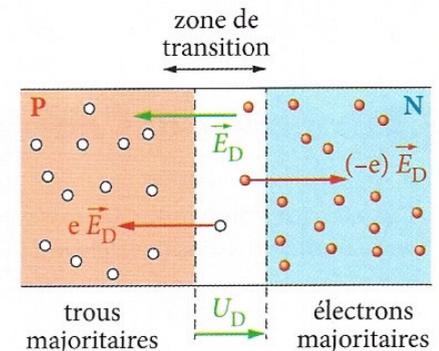


Figure 1.C Apparition d'une zone de transition sans porteurs de charges mobiles.

DOC 2. La diode

Une diode est un dipôle, généralement fabriqué à partir de silicium ou de germanium, comportant une jonction PN. Étudions le comportement d'une diode lorsqu'elle est connectée à un générateur de tension.

Polarisation en sens direct

La zone P est reliée à la borne positive du générateur et la zone N à sa borne négative.

Pour traverser la zone de transition, les porteurs de charges (électrons et trous) doivent franchir une « barrière de potentiel » correspondant à une tension réduite $U_D - U$.

Quelques-uns, ayant acquis par agitation thermique l'énergie nécessaire, créent un courant qui croît avec la tension appliquée U .

La jonction est dite passante.

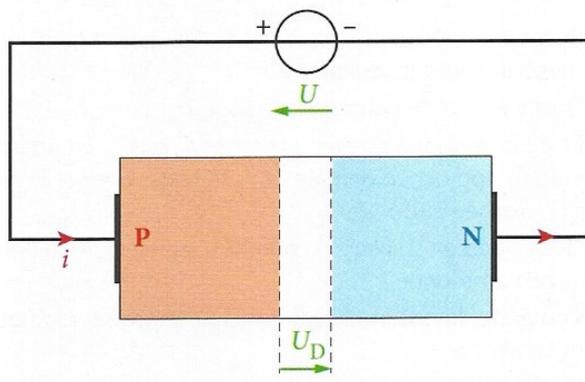
Polarisation en sens inverse

La zone P est reliée à la borne négative du générateur et la zone N à sa borne positive.

La tension bloquant les porteurs de charge est accrue : aucun courant ne peut circuler.

La jonction est dite non passante ou bloquée.

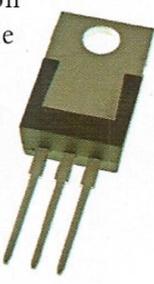
DOC 3. Jonction PN passante



DOC 4. Le transistor

Les diodes sont des composants non commandés, incapables d'agir sur le courant qui les traverse.

Les transistors possèdent une troisième borne leur permettant, dans le sens passant, de régler eux-mêmes le courant, voire de le bloquer. Il existe deux catégories de transistors : les transistors bipolaires et les transistors à effet de champ.



Les transistors bipolaires sont constitués de deux jonctions PN, ayant des sens passants opposés, le plus souvent NPN comme sur le schéma de la figure 4.A.

Il existe diverses familles de transistors à effet de champ ; le schéma de la figure 4.B est celui d'un MOS (Métal, Oxyde, Semi-conducteur).

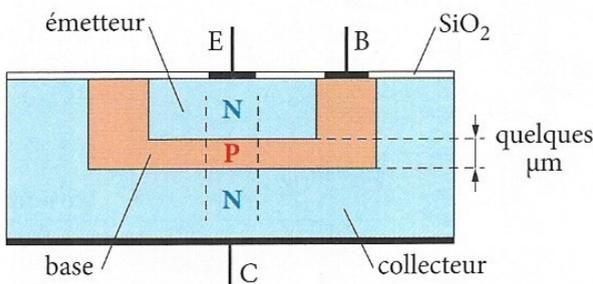


Figure 4.A Schéma en coupe d'un transistor bipolaire.

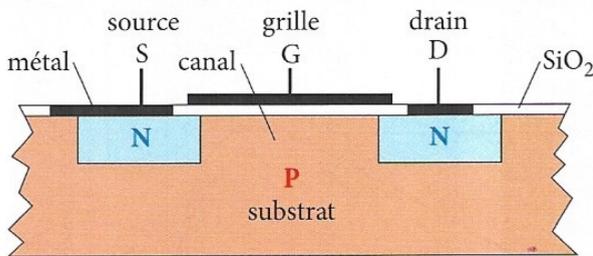
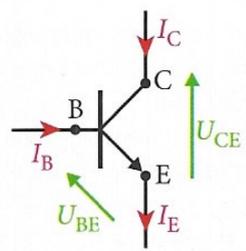


Figure 4.B Coupe d'un TEC type MOS.

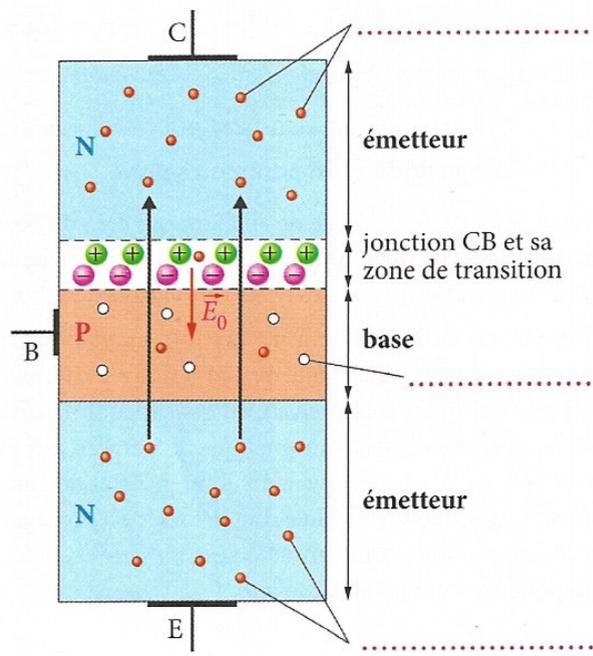
DOC 5. Fonctionnement d'un transistor

Les transistors bipolaires

Si $U_{BE} = 0$, la jonction PN entre la base B et le collecteur C est dans le sens bloqué : le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert.



Si un courant i_B est envoyé sur la base, un courant i_C peut circuler entre le collecteur et l'émetteur. L'intensité de courant est quasiment proportionnelle à i_B , soit $i_C = \beta i_B$ (avec $\beta \approx 100$) : le courant de base i_B commande le courant de collecteur i_C .



Porteurs de charges dans un transistor bipolaire.

Les transistors à effet de champ (TEC)

Le transistor est composé :

- d'une électrode qui injecte les porteurs dans la structure : la source ;
- d'une électrode qui recueille les porteurs : le drain ;
- d'une électrode où est appliquée la tension de commande : la grille.

Un champ électrique appliqué par la « grille » contrôle le passage de courant dans un canal conducteur ; dans le cas de la figure 4.B, ce canal est « dopé » N. Une tension négative, appliquée sur la grille, repousse les électrons du canal qui se vide progressivement, jusqu'à être « déserté » et devenir isolant. On a ainsi réalisé un interrupteur solide qui est commandé par la tension entre la grille et la source U_{GS} .

QUESTIONS On utilisera la classification périodique des éléments.

DOC. 1

- a. Quel atome comportant cinq électrons dans sa couche de valence peut-on insérer pour doper négativement un cristal de silicium ?
- b. Pourquoi les électrons libres de la zone N sont-ils repoussés par le champ électrique de la zone de transition ?

DOC. 2 et DOC. 3

- c. Décrire une jonction passante.
- d. Pourquoi la jonction de la diode est-elle bloquée quand les bornes du générateur sont inversées ?
- e. Quelle est la conséquence de l'insertion d'une diode dans un circuit alimenté en courant alternatif ?
- f. Quel est l'intérêt de disposer d'un dipôle ne présentant que deux états : bloqué ou passant ?

DOC. 4 et DOC. 5

- g. Pourquoi peut-on dire que les transistors règlent eux-mêmes leur courant de sortie ?
- h. Quelle électrode permet ce réglage ?
- i. Écrire la relation entre les intensités i_C , i_E et i_B . En utilisant la relation approchée donnée dans le texte, donner la relation approchée entre i_C et i_E .
- j. Que se passe-t-il si aucun courant n'est envoyé sur l'électrode de commande ?
- k. Compléter la nature des porteurs de charge sur la figure du document 5.
- l. Quelle différence dans le mode de commande, existe-t-il entre un transistor bipolaire et un transistor à effet de champ ?

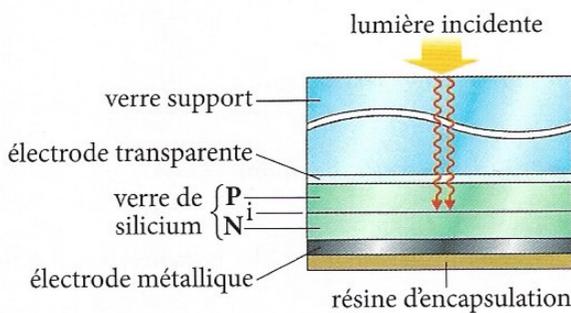
10 Constitution et fonctionnement des cellules photovoltaïques

Compétences générales Extraire et exploiter des informations – Effectuer des calculs

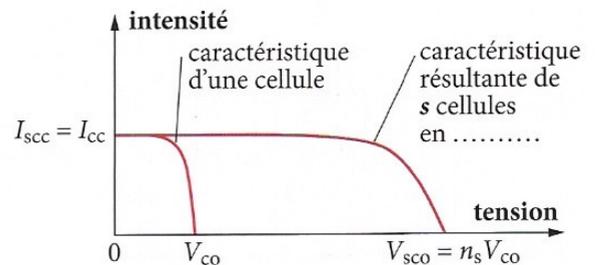
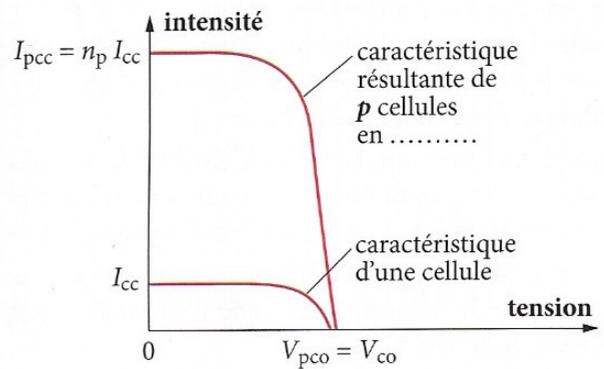
Mot-clé Photovoltaïques

DOC 1. Composition d'un panneau solaire

C'est le dopage de la bande de silicium qui crée un champ électrique interne : à l'interface i , des électrons sont déplacés vers la zone de dopage N, des trous vers la zone de dopage P. L'exposition de la cellule à un rayonnement fournit de l'énergie à certains électrons qui vont alors participer au courant électrique : son intensité est quasiment proportionnelle à la puissance électromagnétique de transfert par unité de surface en $W \cdot m^{-2}$. Les valeurs d'intensité et de courant obtenues avec une seule cellule sont faibles, c'est pourquoi de nombreuses cellules vont être associées, en série et en dérivation pour créer un panneau solaire.



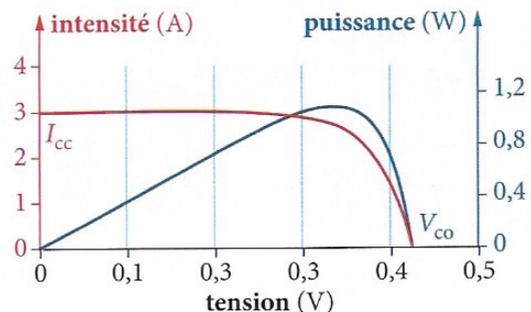
a. Coupe d'une cellule de panneau solaire au silicium amorphe.



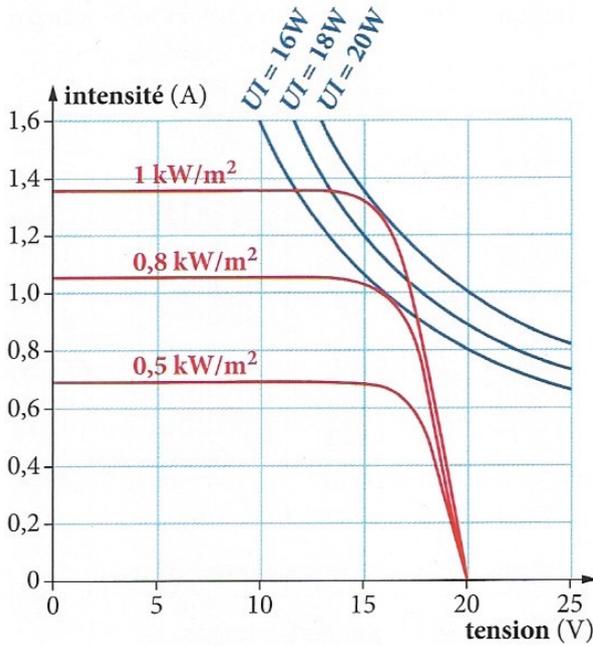
b. Courbes caractéristiques $I = f(U)$ pour deux montages différents. I est l'intensité du courant débité par le photogénérateur ; U est la tension entre ses bornes.

DOC 2. Utilisation de cellules photovoltaïques

L'utilisation optimale d'un générateur consiste à alimenter un appareil, appelé « charge », afin que la puissance de transfert des cellules photovoltaïques soit maximale. (La puissance est calculée par le produit de la tension entre les bornes et l'intensité du courant délivré.) Le point de charge idéal MPP des cellules correspond à une puissance maximale.



DOC 3. Influence de l'éclairement sur les courbes tension-intensité d'un photogénérateur



QUESTIONS

DOC.1

- a. Comment est orienté le champ électrique entre les zones dopées N et P de la figure a du DOC. 1 ?
- b. Les p cellules de la figure b doivent-elles être montées en série ou en dérivation pour augmenter l'intensité du courant ? Comment faut-il associer les n cellules de la figure b pour augmenter la tension délivrée par le panneau ?

DOC.2

- c. Par lecture graphique, vérifier que les valeurs d'intensité I_{MPP} et de tension U_{MPP} correspondent à une puissance $P_{max} = 0,9$ W.

DOC.3

- d. La puissance 20 W peut-elle être atteinte pour les éclairements donnés ?
- e. Lire l'intensité de la tension aux bornes pour un éclairement de 1 kW/m², pour les trois puissances données.
- f. Lire la valeur de la puissance maximale pour l'éclairement 0,5 kW/m².

11 Modélisation du transport membranaire

Compétences générales Extraire et exploiter des informations – Rédiger une synthèse

Mots-clés Membrane – Tensioactifs

PROBLÉMATIQUE

Le transport des ions à travers les membranes des cellules vivantes est réalisé grâce des protéines transmembranaires. Étudions une expérience de chimie permettant de modéliser le transport des ions à travers une membrane liquide et comparons les deux systèmes.

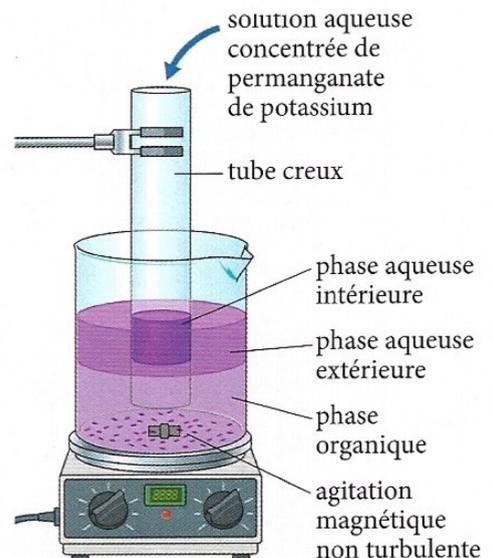
DOC 1. Expérience

Le dispositif est constitué d'un bécher dans lequel plonge un tube creux, maintenu en l'air par une pince. Un barreau aimanté permet une agitation non turbulente du milieu. On introduit dans un premier temps du dichlorométhane, solvant organique peu polaire, non miscible à l'eau plus dense que l'eau, de manière à ce que le dichlorométhane arrive à un niveau un peu plus haut que le bas du tube creux. On introduit ensuite de l'eau à l'extérieur du tube creux. Enfin, on introduit une solution aqueuse de permanganate de potassium ($K^+(aq) + MnO_4^-(aq)$). La couleur violette est due aux ions permanganate.

En l'état, rien ne se passe : la solution aqueuse intérieure est séparée de la solution aqueuse extérieure, et les ions permanganate ne peuvent pas diffuser car ils ne sont pas du tout solubles dans la phase organique.

On ajoute alors un agent de transfert de phase, un éthercouronne.

Au bout d'une heure d'agitation, on commence à voir la phase organique prendre une teinte rose, ainsi que la phase aqueuse extérieure, preuve qu'elles contiennent des ions permanganate. Si on attend un temps très long, les deux phases aqueuses prennent la même teinte.

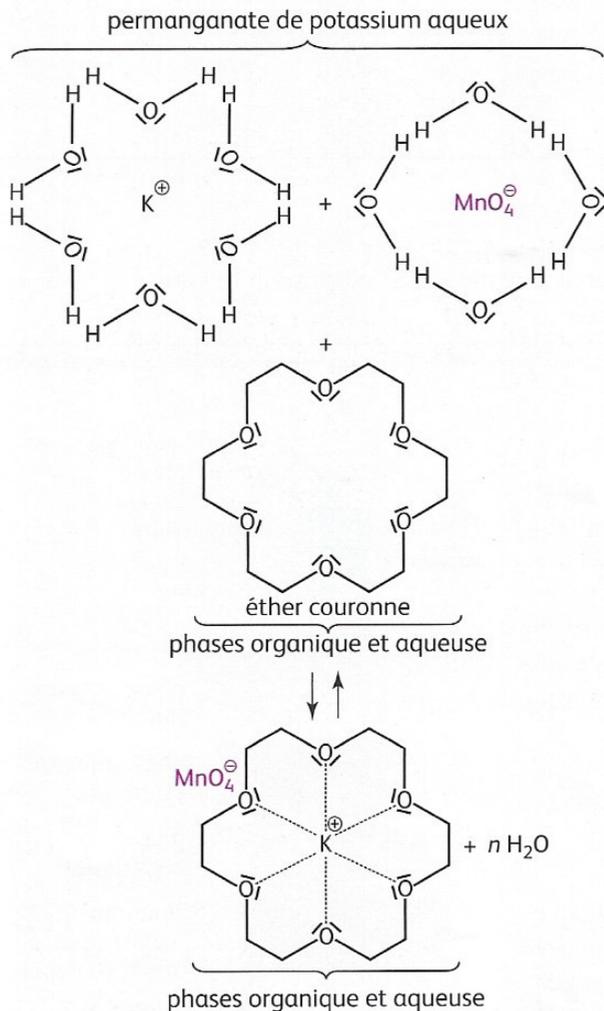


DOC 2. Propriétés d'un éthercouronne

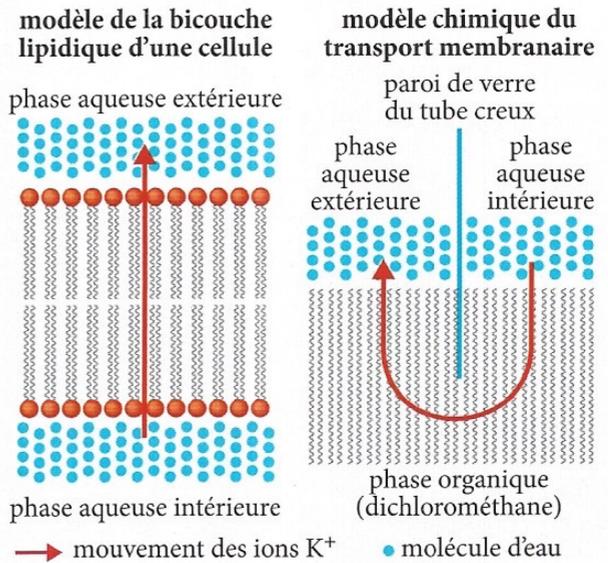
L'éthercouronne est essentiellement soluble dans la phase organique (molécule organique apolaire), mais partiellement soluble dans la phase aqueuse car il peut accepter des liaisons hydrogène de la part de l'eau. Cette molécule possède une cavité centrale dont la taille est parfaitement adaptée à un ion potassium K^+ , et établit des liaisons faibles entre l'ion et les atomes d'oxygène. On dit alors que l'ion potassium est complexé par l'éthercouronne.

L'ion potassium complexé devient alors partiellement soluble dans la phase organique. Afin de respecter l'électroneutralité globale de la phase, l'ion permanganate est entraîné avec le complexe, ce qui explique la coloration rose (très faible) de la phase organique. On dit qu'il y a eu un *transfert de phase* de l'ion potassium.

Lorsque l'ion complexe arrive au voisinage de la phase aqueuse extérieure, la réaction inverse de décomplexation se produit, ce qui explique ensuite la coloration rose de la phase aqueuse extérieure. En attendant assez longtemps, l'équilibre thermodynamique est atteint, et la concentration en permanganate de potassium est identique dans les deux phases aqueuses.



DOC 3. Comparaison du système naturel et du système chimique

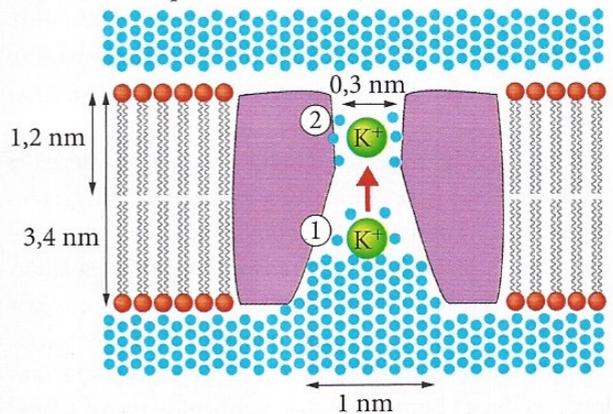


DOC 4. Transport par les protéines transmembranaires

L'expérience du DOC. 1 est un bon modèle chimique qui mime les canaux potassium des bicouches lipidiques. La différence principale résulte dans le fait que les deux phases aqueuses sont au même niveau horizontal dans le modèle chimique, ce qui n'est pas le cas dans le modèle biologique. Le canal est constitué d'une protéine transmembranaire dont les principales caractéristiques géométriques sont présentées sur la figure ci-dessous.

Le canal a la forme d'un cône. À son extrémité la plus large, l'eau peut pénétrer, ainsi que les ions potassium K^+ , entourés des molécules d'eau les solvatant (zone ① sur la figure). Par contre, dans la partie de plus faible diamètre, l'ion potassium solvaté est trop gros pour pénétrer : l'ion potassium se débarrasse de l'eau le solvatant, et ce sont les atomes d'oxygène des groupes carbonyles de la protéine qui prennent le relais (zone ② sur la figure).

Dans cette zone, l'analogie avec la chimie est très forte : ce sont les atomes d'oxygène de l'éthercouronne qui entrent en interaction avec l'ion potassium dans le modèle chimique.



QUESTIONS

- Pourquoi le dichlorométhane permet-il de bien modéliser l'intérieur d'une bicouche lipidique d'une cellule vivante ?
- Expliquer, en 5 lignes maximum, pourquoi, lors de l'expérience, l'eau à l'extérieur du tube creux se colore progressivement en rose.
- En 20 lignes maximum, comparer le principe du transfert des ions à travers une membrane cellulaire et celui de l'expérience. On mettra en évidence les points communs et les différences.

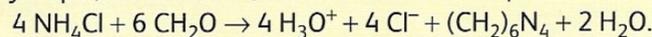
12 Étude cinétique d'une colle

Compétence générale Effectuer un raisonnement scientifique

Mot-clé Colle

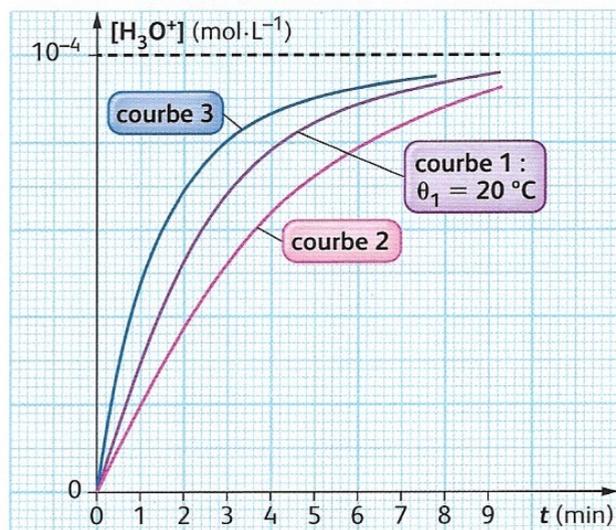
PROBLÉMATIQUE

La vitesse de prise d'une colle à base d'urée $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2$ et de « formol » $\text{CH}_2(=\text{O})$ dépend fortement du pH. Ces colles durcissent plus rapidement lorsque le pH du milieu diminue. Afin de diminuer la durée de réaction de polymérisation lors du collage, on peut ajouter un durcisseur permettant de diminuer le pH de la colle. Par exemple, le chlorure d'ammonium NH_4Cl est un durcisseur réagissant avec le méthanal $\text{CH}_2(=\text{O})$ (« formol ») pour former de l'acide chlorhydrique, un acide fort, selon la réaction d'équation :

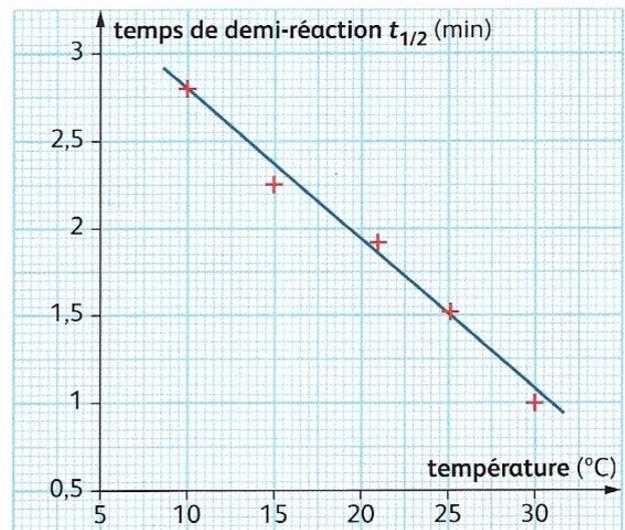


La réaction est réalisée à la température $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$.

DOC 1. Évolution temporelle de la concentration en ions H_3O^+ en fonction de la température



DOC 2. Évolution du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ avec la température



QUESTIONS

- Pourquoi étudie-t-on l'évolution temporelle de la concentration en ions H_3O^+ ?
- Déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ sur le **DOC 1**.
- Calculer la valeur du pH à la date $t_{1/2}$.
- Quelle courbe du **DOC 1** correspond à la réaction réalisée à une température supérieure à 20°C ? Justifier.
- Citer un autre facteur qui permettrait de diminuer le temps de réaction.
- Le **DOC 2** représente l'évolution du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ en fonction de la température sur une plage réduite de la température. Comment peut être modélisé ce graphique ? Comment évolue quantitativement le temps de demi-réaction lorsque la température du milieu réactionnel croît de 5°C ?