

CHAP 11-ACT DOC-Membranes

1. MEMBRANES CELLULAIRES

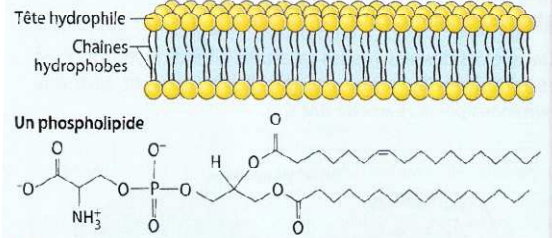
ACT DOC BELIN p158

« Les membranes cellulaires sont notamment formées de phospholipides [doc. 5], molécules amphiphiles qui possèdent une partie (tête) polaire hydrophile (qui aime l'eau) et deux chaînes carbonées hydrophobes (qui repoussent l'eau). Quand on les mélange à l'eau, ces molécules s'ordonnent en structure à deux couches [doc. 5] : les queues hydrophobes se rassemblent, face à face, à l'intérieur de cette bicouche. Si la bicouche est plane, ses bords sont en contact avec l'eau. Pour éviter ce contact, les bicouches s'arrangent en petites structures sphériques : les têtes hydrophiles forment la surface de la sphère, tandis que les extrémités hydrophobes s'orientent à l'intérieur de la sphère, d'où l'eau est exclue ».

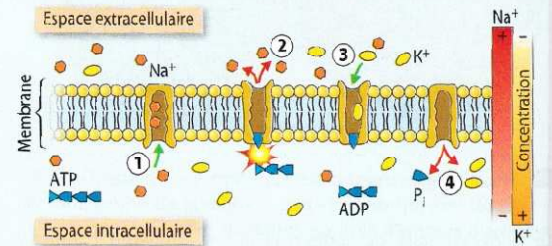
D'après A. Brack et B. Lederq, *La vie est-elle universelle ?*, EDP Sciences, 2003.

Une membrane cellulaire est perméable. Elle régule les entités susceptibles de pénétrer dans la cellule ou d'en sortir. Un exemple de mécanisme actif d'échange d'ions entre la cellule et son environnement extérieur est « la pompe sodium-potassium » [doc. 6].

Dans l'état initial, la pompe est fermée du côté extracellulaire et le canal possède une grande affinité avec les ions sodium Na^+ : trois pénètrent dans le canal (1). Une molécule d'ATP se fractionne, cédant de l'énergie et un ion phosphate (noté P_i). Le canal se referme du côté intracellulaire, s'ouvre du côté extracellulaire et les ions Na^+ sont libérés dans l'espace extracellulaire (2). Le canal possède alors une grande affinité avec les ions potassium K^+ : deux pénètrent dans le canal (3). Ils provoquent la fermeture du canal du côté extracellulaire et l'ouverture du côté intracellulaire. Les ions K^+ sont relargués du côté intracellulaire (4). Le cycle est ainsi achevé. Le transport actif, déclenché par un apport énergétique, inverse le mouvement spontané (transport passif) du flux d'ions et force ces derniers à entrer ou sortir de la cellule, d'une concentration faible vers une concentration plus forte.



5 Schéma d'une bicouche phospholipidique.



6 Le fonctionnement de la pompe sodium-potassium.

1. Pourquoi les parties hydrophobes se font-elles face dans l'organisation de la membrane ? Pourquoi les têtes hydrophiles ont-elles une forte affinité pour l'eau ?

Les parties hydrophobes se font face pour supprimer tout contact entre elles et l'eau. Les têtes hydrophiles ont une forte affinité avec l'eau car elles sont polaires (avec une répartition asymétrique des charges).

Complément : on peut examiner les interactions intermoléculaires qui se développent entre les molécules. Il s'agit des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène. Les longues chaînes carbonées sont maintenues face à face grâce à des interactions de type van der Waals. Par ailleurs, il y a également des interactions attractives entre les ions de la tête hydrophile et le dipôle eau (liaison hydrogène + van der Waals).

2. Quelle source d'énergie permet le fonctionnement de la pompe sodium-potassium ?

L'énergie provient de la scission de l'ATP en ADP + phosphate inorganique.

3. Dans quel sens les ions Na^+ et K^+ devraient-ils traverser la membrane en l'absence de transport actif ?

La concentration en ions potassium K^+ est plus élevée à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur. L'inverse est vrai pour les ions sodium Na^+ . Ces gradients de concentrations devraient respectivement entraîner un déplacement spontané des ions K^+ vers l'extérieur de la cellule et un déplacement spontané des ions Na^+ vers l'intérieur de la cellule.

4. Quel est le bilan, en termes de nombre d'ions échangés, pour chaque cycle de la pompe ?

Pour chaque cycle de la pompe, trois ions Na^+ sont expulsés du milieu intracellulaire et remplacés par deux ions K^+ provenant du milieu extracellulaire.

5. Lorsque le flux d'ions à travers la membrane est nul, comparer la concentration en ions K^+ et concentration en ions Na^+ entre le milieu intracellulaire et extracellulaire.

Lorsque la cellule est au repos, la concentration en ions K^+ est plus élevée à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur. L'inverse est vrai pour les ions sodium Na^+ . Il y a une dissymétrie des charges de part et d'autre de la membrane : il y a donc une différence de potentiel transmembranaire, appelée (abus de langage) potentiel de membrane.

Rédiger une synthèse

6. Expliquer en un court paragraphe la structure de la membrane et son rôle de transporteur d'ions.

La membrane cellulaire a une structure sphérique en bicouche. Les molécules amphiphiles (les phospholipides) s'auto-assemblent de telle sorte que leurs parties hydrophobes se font face et que leurs parties hydrophiles sont en contact avec un milieu aqueux. Cette bicouche présente des canaux qui permettent d'échanger, sans coût énergétique, des ions entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Ces échanges sont pilotés par des gradients de concentration. Cependant, certaines cellules disposent d'une pompe ionique permettant de réaliser un transport actif d'ions et d'entretenir l'inégalité de répartition des ions K^+ et Na^+ de part et d'autre de la membrane.

7. Quel est l'intérêt du transport actif d'ions pour les cellules ?

Avec le transport actif, les cellules peuvent prélever dans leur environnement des substances rares, mais essentielles à leur fonctionnement, ou à l'inverse, se débarrasser de déchets toxiques, même dans un environnement extrêmement pollué. Le transport actif constitue un gain en potentiel de survie pour la cellule.

2. SEPARATION MEMBRANAIRE

ACT DOC Bordas p162

Doc 1 Historique

Au début du xv^e siècle, l'abbé et physicien français Jean Antoine Nollet, travaillant sur des vessies animales, mit en évidence le caractère semi-perméable des membranes : elles ne laissent passer que certains solutés, empêchant les autres de les traverser en agissant comme un filtre.

En 1861, Thomas Graham, professeur de chimie à l'Université de Londres, parvint à faire passer l'urée contenue dans l'urine vers de l'eau à travers une membrane constituée de parchemin végétal. En purifiant ainsi une solution grâce à une membrane, il venait de concevoir le premier dispositif de dialyse, qui allait évoluer jusqu'au « rein artificiel ».

Au début du xx^{ème} siècle sont produites les premières membranes artificielles, et 1960 marque le début des applications industrielles des membranes.

Doc 2 Traitement de l'eau par membrane

Les techniques de séparation par membrane constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. Elles permettent de répondre à la sévérité croissante des normes, aux volumes toujours plus grands d'eau à traiter, et à la pollution grandissante réserves.

Leur principe consiste non plus à éliminer chimiquement les micropolluants, mais à les extraire physiquement par filtrage mécanique. Elles présentent en effet le très gros avantage de n'utiliser aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien.

Très fiables, elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaises odeurs, et de qualité constante, quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter.

Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé.

D'après le site CNRS/sagascience, « L'eau douce. une ressource précieuse », www.cnrs.fr/eau

| | Compositions | Avantages | Inconvénients |
|--|--|---|---|
| Membranes organiques (plus de 80 % du marché) | <ul style="list-style-type: none">• Acétate de cellulose• Polyamide• Polysulfones• Polymères fluorés• Dérivés acryliques | <ul style="list-style-type: none">• Mise en œuvre aisée• Disponibles dans toutes les tailles de pores (de la microfiltration à l'osmose inverse)• Faible coût de production | <ul style="list-style-type: none">• Faible résistance thermique• Faible résistance chimique |
| Membranes minérales | <ul style="list-style-type: none">• Céramique• Métal• Verre | <ul style="list-style-type: none">• Grande résistance thermique (plusieurs centaines de degrés)• Grande résistance chimique (adaptées aux solvants organiques, aux acides, bases, oxydants...)• Grande résistance mécanique (pressions de 10 à 100 bar) | <ul style="list-style-type: none">• Planes ou tubulaires uniquement (rigidité trop importante)• Membranes de microfiltration et d'ultrafiltration uniquement• Fragiles, cassent facilement• Coût supérieur à dix fois celui des membranes organiques |

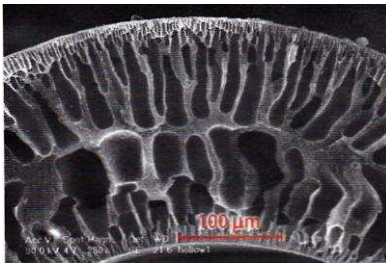


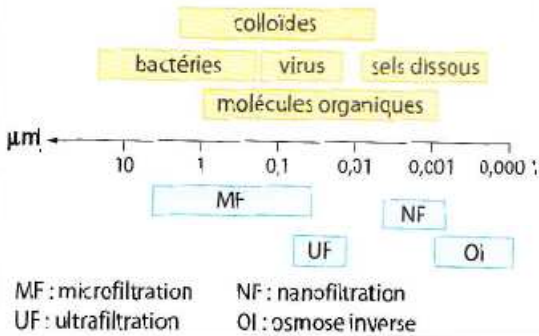
Fig 1 Vue en coupe d'une membrane



Fig 2 Unité de traitement de l'eau

Doc 4 Les technologies de séparation membranaire

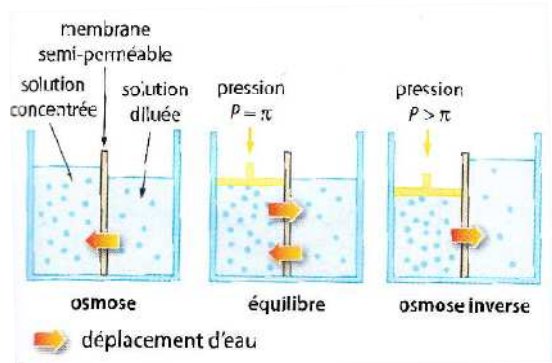
Les technologies membranaires emploient une membrane comme barrière entre l'eau non traitée et l'eau filtrée qui a pénétré par les pores de la membrane. Les capacités de filtration des membranes sont classifiées selon le spectre suivant, établi en fonction de la taille des pores :



Doc 5 Osmose inverse

Lorsque de l'eau de mer, qui contient 35 grammes de sel par litre, et de l'eau déminéralisée sont séparées par une membrane, il se produit le phénomène d'osmose : l'eau migre spontanément à travers la membrane des régions les moins concentrées en sel vers les régions les plus concentrées. Il se produit ainsi une augmentation de la pression hydrostatique dans la région la plus concentrée, jusqu'à atteindre une pression d'équilibre, appelée pression osmotique (notée π), qui est de l'ordre de 25 bars pour l'eau de mer.

Si on exerce dans le compartiment contenant l'eau de mer une pression P supérieure à la pression osmotique π , il se produit une inversion du flux des molécules d'eau : on parle d'osmose inverse.



EXTRAIRE ET EXPLOITER DES INFORMATIONS

Généralités sur les membranes

1. Qu'est-ce qu'une membrane ?

Une membrane est une couche mince de matériau poreux et perméable qui sépare deux milieux.

2 a. Qu'est-ce que la semi-perméabilité ?

La semi-perméabilité est la propriété d'une membrane de ne laisser passer que certaines entités chimiques.

b. D'où provient cette propriété ?

Cette propriété est due à la taille des pores de la membrane : ils ne laissent passer que les espèces chimiques dont la taille est inférieure à leur diamètre.

3 a. Qu'est-ce qu'une dialyse ?

Lors d'une dialyse, la membrane permet de séparer des solutés afin de purifier une solution.

b. Quelles sont les différentes technologies de séparation membranaire ?

On distingue : microfiltration, ultrafiltration, nano-filtration et osmose inverse.

Traitement de l'eau par procédé membranaire

4. Quels sont les avantages et inconvénients du traitement de l'eau par membrane ?

Le traitement de l'eau par filtration membranaire permet d'obtenir une eau très pure, d'une qualité très bonne et constante et sans utiliser de réactifs chimiques. Son seul inconvénient est son coût élevé.

5. Quelle est la différence entre une filtration par membrane et une filtration classique ?

Les diamètres des pores d'une membrane sont beaucoup plus faibles que ceux d'un filtre normal, ce qui permet de filtrer des particules dissoutes dans le solvant comme des molécules ou des ions.

6. Justifier les termes microfiltration et nanofiltration.

Une microfiltration permet de filtrer des particules de taille supérieure au micromètre tandis qu'une nanofiltration permet de filtrer des particules de quelques nanomètres.

7 a. Dans quel procédé peut être utilisée la membrane de la figure 1 ?

Cette membrane a des pores d'environ 5 μm de diamètre ; elle peut donc être utilisée pour un procédé de microfiltration.

b. Peut-on s'en servir pour rendre l'eau potable ?

Elle ne permet donc pas d'éliminer les bactéries, les virus et les ions nocifs et ne peut donc pas être utilisée pour rendre l'eau potable.

8 a. D'après vous, utilise-t-on des membranes organiques ou minérales pour le traitement de l'eau potable ? dans le cas du recyclage de solvant ?

Seules les membranes en polymère organique ont des pores suffisamment petits pour rendre l'eau potable. En revanche, on utilisera une membrane minérale pour le traitement des solvants du fait de leur grande résistance chimique.

b. Les membranes organiques sont constituées de polymères. Justifier cette affirmation.

Les membranes organiques sont constituées de molécules telles que des polyamides, des polysulfones, ou encore des polymères fluorés : ce sont des polymères.

9 a. Qu'est-ce que l'osmose ?

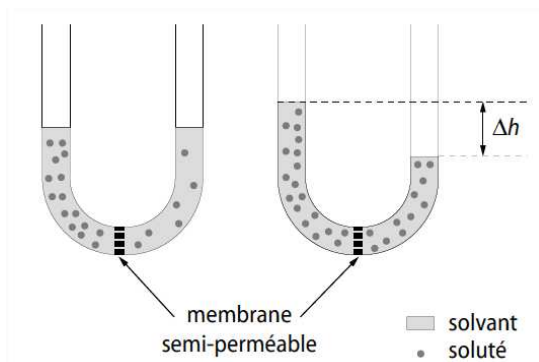
L'osmose est la migration spontanée des molécules d'eau à travers une membrane vers les régions plus concentrées en soluté.

b. Proposer une expérience permettant de mettre en évidence ce phénomène.

Mettre dans un tube en U deux solutions de concentrations différentes d'un même soluté, séparées par une membrane : on observe la migration des molécules d'eau du compartiment le moins concentré vers le plus concentré, ce qui se traduit, au bout d'un certain temps, par une différence de niveau de liquide entre les compartiments.

état initial

état final



10. Quelle est la pression osmotique de l'eau de mer? Expliquer pourquoi dessaler l'eau de mer par osmose inverse pour la rendre potable représente un coût élevé.

La pression osmotique de l'eau de mer est d'environ 25 bars : il faut donc lui appliquer une pression importante, supérieure à 25 bars, pour pouvoir provoquer l'osmose inverse, ce qui a un coût énergétique très élevé.

11. Les membranes cellulaires des êtres vivants sont constituées d'une double couche de lipides.

a. Quelle est l'utilité de cette membrane ?

Les membranes cellulaires permettent de laisser rentrer les nutriments à l'intérieur de la cellule et d'évacuer les déchets vers l'extérieur.

b. Expliquer pourquoi on met du sel sur les concombres pour les faire « dégorger ».

En présence de sel, l'eau contenue dans les cellules de concombre (région peu concentrée en sel) migre vers l'extérieur de la cellule (région très concentrée en sel). Ainsi, les cellules se vident de leur eau, ce qui permet de faire « dégorger » le concombre.

Pour conclure

12. Citer deux exemples d'utilisation des membranes.

On peut citer l'utilisation des membranes pour les dialyses ou les osmoses inverses.

3. LIPOSOMES

ACT DOC Hachette p158

Les liposomes, du grec lipos signifiant « graisse » et sôma signifiant « corps », sont des petites sphères creuses, ou vésicules. Leur membrane est constituée d'une double couche (ou bicouche) de molécules phospholipidiques (doc. 1) incluant un petit volume de solvant aqueux. D'origine naturelle, les liposomes sont aujourd'hui préparés au laboratoire.

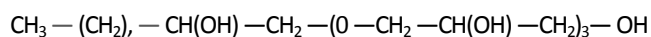
La principale application des liposomes est le transport de substances biologiques ou chimiques préalablement encapsulées. En effet, ils permettent de faire passer au travers de la membrane cellulaire des substances qui n'ont pas d'affinité pour celle-ci.

Les liposomes peuvent « dissoudre » un médicament et le libérer lentement sur une cible prédéterminée. Le médicament hydrophile ou lipophile est ainsi véhiculé sans être dilué ou altéré.

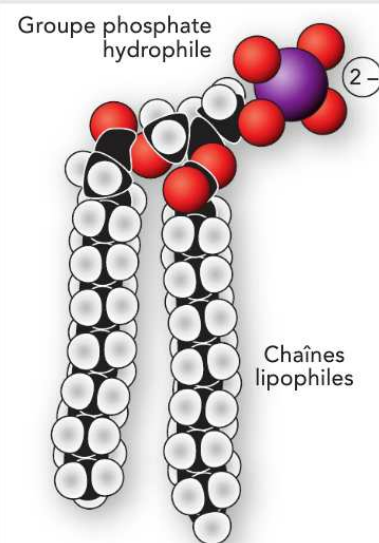
Les liposomes sont utilisés pour traiter des empoisonnements par des ions de métaux lourds (Pb^{2+} , Hg^{2+} , etc.). En effet, les substances utilisées pour ces traitements forment avec ces ions, des complexes ioniques très stables qui peuvent être dissous dans les liposomes et ainsi être éliminés de l'organisme.

C'est l'utilisation des liposomes dans les produits cosmétiques qui les a fait connaître au grand public. Les composés hydratants, les substances anti-oxydantes, le collagène, etc. « dissous » dans les liposomes sont en suspension dans des solutions aqueuses. Cela évite l'emploi d'alcool, de glycérol ou d'huile pour appliquer ces traitements.

D'autres composés que les phospholipides peuvent être utilisés pour former des vésicules. C'est le cas des lipo-polyglycérols, de formule générale :



avec n 10; les microcapsules alors obtenues sont appelées liposomes.



Doc. 1 Modèle moléculaire d'un glycéro-phospholipide.

Problématique :

En s'aidant de schémas, justifier que les glycéro-phospholipidiques et des lipo-polyglycérols, peuvent être utilisés dans la synthèse de liposomes ou de niosomes pour « dissoudre » et donc véhiculer des substances organiques ou des composés ioniques dans l'organisme.

Une façon de faire

1. Rechercher, dans les formules des deux espèces proposées, la partie lipophile et la partie hydrophile.
2. Analyser le texte pour dessiner les vésicules formées par ces espèces amphiphiles.
3. Identifier dans quelle partie des vésicules des espèces organiques et des espèces ioniques peuvent être « dissoutes ».

Comment le faire ?

- Identifier, d'une part, les longues chaînes carbonées et, d'autre part, les groupes ioniques ou les groupes susceptibles d'établir des liaisons hydrogène avec l'eau.
- Rechercher dans le texte la description des vésicules. Cela permet de positionner les têtes polaires des vésicules.
- Utiliser le fait qu'une espèce organique est le plus souvent lipophile et hydrophobe, alors qu'une espèce ionique est au contraire hydrophile et lipophobe.

► Solution rédigée

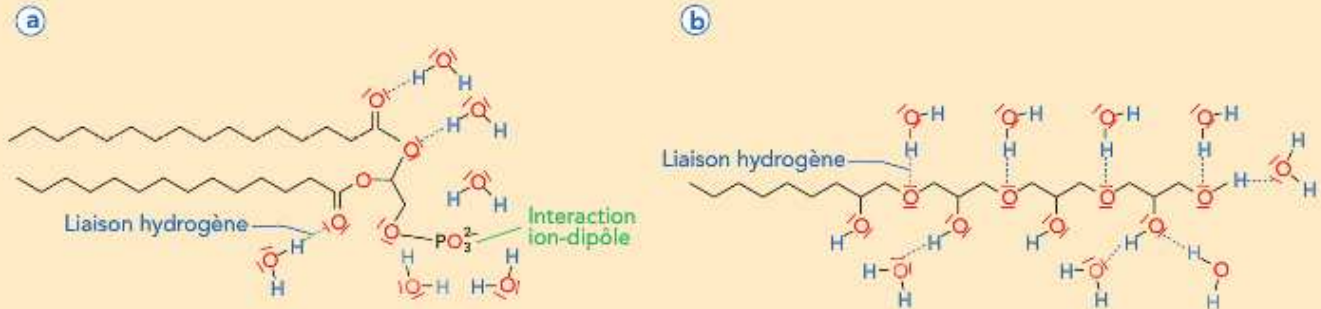
1 Les glycéro-phospholipides et les lipo-polyglycérols présentent de longues chaînes carbonées; celles-ci sont à l'origine du **caractère lipophile** de ces deux espèces.

Les glycéro-phospholipides possèdent une tête phosphatée ionique, $-\text{OPO}_3^{2-}$, qui peut se lier à l'eau, molécule polaire, par des interactions de type ion-dipôle et liaison hydrogène (**doc. 2a**).

Les lipo-polyglycérols possèdent plusieurs groupes hydroxyle, $-\text{OH}$, susceptibles de former des liaisons hydrogène avec l'eau (**doc. 2b**).

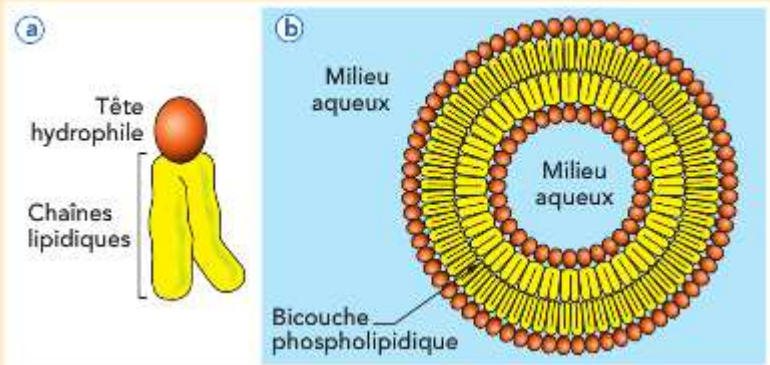
Ces têtes ioniques ou polaires confèrent à ces espèces un **caractère hydrophile**.

À la fois lipophiles et hydrophiles, ces espèces sont **amphiphiles** et sont donc des **tensioactifs**.



Doc. 2 Caractère amphiphile des glycérophospholipides (a) et des lipo-polyglycérols (b).

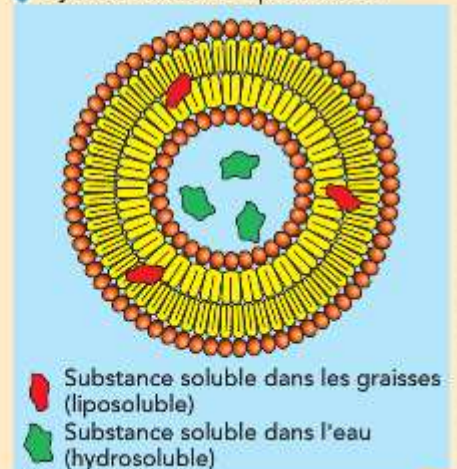
2 Les vésicules ayant « une membrane constituée d'une double couche ou bicouche de molécules phospholipidiques incluant un petit volume de solvant aqueux », on en déduit que les têtes polaires des tensioactifs forment la surface interne et la surface externe des vésicules. Une vésicule de liposome peut donc être représentée par le schéma du **document 3**. Pour un niosome, le schéma serait le même, mais le tensioactif n'aurait qu'une seule chaîne lipidique et non deux.



Doc. 3 Phospholipide stylisé (a) et coupe diamétrale d'un liposome (b).

3 Les espèces ioniques, hydrophiles et lipophobes, vont naturellement se « dissoudre » dans le petit volume de solvant aqueux, incluses dans la vésicule, alors que les espèces organiques, généralement lipophiles et hydrophobes, vont se « dissoudre » dans le volume formé par les chaînes carbonées de la membrane (**doc. 4**).

Doc. 4 Encapsulation d'espèces hydrosolubles ou liposolubles.



- Substance soluble dans les graisses (liposoluble)
- Substance soluble dans l'eau (hydrosoluble)

Réponse au problème posé

Présentant des domaines lipophiles et hydrophiles, les liposomes et les niosomes peuvent « dissoudre » des espèces organiques (lipophiles) ou ioniques (hydrophiles) et ainsi véhiculer ceux-ci dans l'organisme.