



actualité  
scientifique

## **Structure de la membrane et adaptation aux conditions de vie extrêmes**

**Relations avec le programme Bcpst** : biologie moléculaire et cellulaire, membranes biologiques (1<sup>re</sup> année)

**Il est admis que la vie, en conditions extrêmes, requiert au niveau des membranes l'existence de lipides capables de former des membranes en monocouche. En combinant des approches de physique et de chimie de la membrane, les scientifiques montrent qu'une bicouche dont l'interface est saturée d'hydrocarbures est une voie d'adaptation possible aux conditions extrêmes.**

La membrane plasmique d'une cellule n'est pas seulement une barrière physique et une interface entre l'intérieur d'une cellule et son environnement. C'est une structure dynamique indispensable pour de nombreux processus cellulaires tels que le contrôle du trafic membranaire, la production d'énergie, la perception de l'environnement...

Pour survivre une cellule doit maintenir cette membrane fonctionnelle, quelles que soient les conditions environnementales et leurs variations. Ce qui traduit une « adaptation homéovisqueuse » de la membrane, adaptation réalisée en adaptant en temps réel la composition en lipides des membranes.

Les lipides membranaires sont des molécules amphiphiles, possédant une extrémité hydrophile (la tête polaire) et une extrémité hydrophobe (les chaînes aliphatiques). Ils s'assemblent spontanément sous forme de bicouche avec les têtes polaires pointant vers le milieu aqueux et les chaînes aliphatiques formant une région hydrophobe au centre. Jusqu'à aujourd'hui, il était admis que deux adaptations structurales des lipides des membranes permettaient la vie en conditions extrêmes :

- la synthèse de lipides transmembranaires, à deux têtes polaires formant des membranes en monocouche ;
- la connexion des chaînes lipidiques sur les têtes polaires des lipides par des liaisons éther au lieu de liaisons ester. De fait, grâce à ces liaisons éther, ces lipides sont beaucoup plus stables chimiquement.

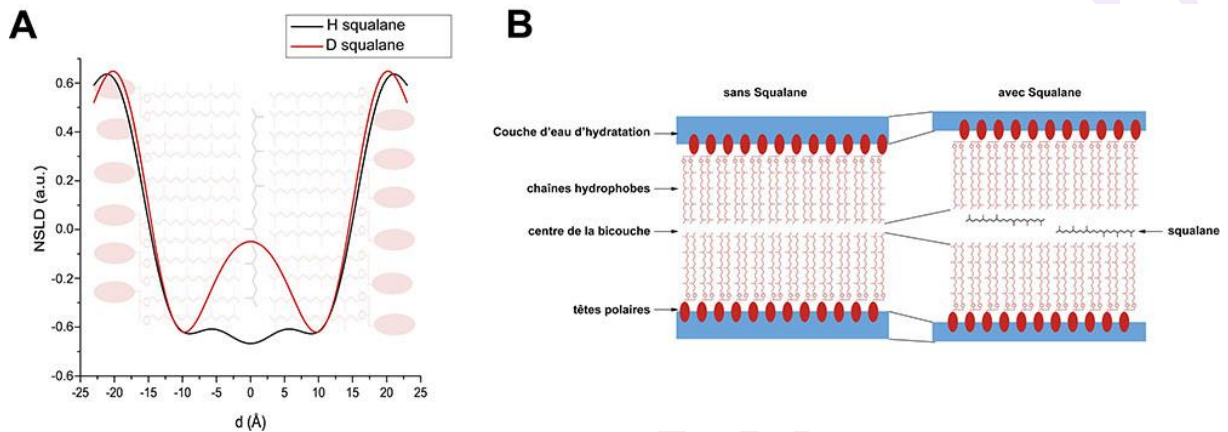
Grâce à leurs deux têtes polaires, qui chacune pointe sur une des deux faces de la membrane, ces lipides forment des monocouches lipidiques plus compactes, imperméables et stables. Plusieurs observations montrent qu'il pourrait exister d'autres voies adaptatives aux conditions extrêmes, comme chez certaines archées hyperthermophiles. Leur température de croissance optimale est supérieure à 80°C mais leur membrane est une bicouche lipidique, ce qui pose la question de la stabilité de cette membrane.

Pour expliquer la stabilité de cette bicouche lipidique dans ces conditions de vie extrêmes, les scientifiques proposent une nouvelle architecture de membrane dans laquelle cette dernière ne serait pas constituée uniquement de lipides, mais contiendrait des hydrocarbures insérés à l'interface entre les deux faces de la bicouche. Selon ce modèle, les propriétés physico-chimiques de la membrane seraient compatibles avec sa fonctionnalité.

Dans cette étude, les chercheurs ont combiné différentes approches de physique fondamentale (diffraction, contraste atomique, spectroscopie), pour apporter la preuve expérimentale des propriétés exceptionnelles de cette nouvelle ultrastructure membranaire. Comme le prédit le modèle, l'insertion des hydrocarbures (squalane) dans le centre de la membrane se caractérise par un élargissement de son domaine de stabilité vers des températures plus élevées et une forte réduction de la perméabilité aux protons, essentiels pour le maintien de

la fonction membranaires à haute température. Par ailleurs, en relâchant les contraintes topologiques des chaînes hydrophobes des lipides dans la membrane, les hydrocarbures apolaires permettent à la membrane d'adopter des courbures qui seraient inaccessibles pour ces lipides en leur absence et confèrent à la membrane des capacités nouvelles. De fait, ces courbures positives ou négatives sont essentielles dans plusieurs processus, tels que la fusion/fission membranaire ou l'insertion de nombreuses protéines dans la membrane.

L'existence de cette nouvelle voie d'adaptation pour la membrane (qui ne requiert pas l'« invention » évolutive, peu probable, de lipides à deux têtes polaires) a de nombreuses implications pour comprendre l'adaptation des cellules contemporaines. On peut penser qu'elle a pu jouer également un rôle important dans l'émergence des premières membranes puis dans l'évolution précoce des procaryotes.



#### Impact de l'insertion d'hydrocarbures apolaires dans une membrane plasmique.

**A)** Densité de longueur de diffusion neutronique en présence de squalane hydrogéné (noir) ou deutéré (rouge). La surdensité observée au centre de la bicouche qui est représenté en filigrane à l'arrière du graphe, montre la localisation du squalane au sein de la bicouche lipidique. L'épaisseur qu'il occupe indique qu'il est principalement orienté parallèlement au plan de la membrane.

**B)** Représentation schématique de la nouvelle ultrastructure membranaire en bicouche. L'insertion du squalane dans le centre de la membrane modifie principalement l'épaisseur de la bicouche et l'épaisseur de la couche d'eau d'hydratation.

© Marta Salvador-Castell, Philippe Oger

#### Pour en savoir plus

*Characterisation of a synthetic Archeal membrane reveals a possible new adaptation route to extreme conditions*, Marta Salvador-Castell, Maksym Golub, Nelli Erwin, Bruno Demé, Nicholas J. Brooks, Roland Winter, Judith Peters et Philippe M. Oger, *Communications Biology*. 2 juin 2021. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02178-y>