DS n°2 – Eléments de correction

L'eau et les molécules organiques

Vous montrerez que les propriétés de l'eau et des molécules organiques déterminent l'existence ou l'absence d'interactions entre elles, interactions dont vous dégagerez les conséquences biologiques.

Vous appuierez votre propos sur des exemples précis et judicieusement choisis.

Introduction

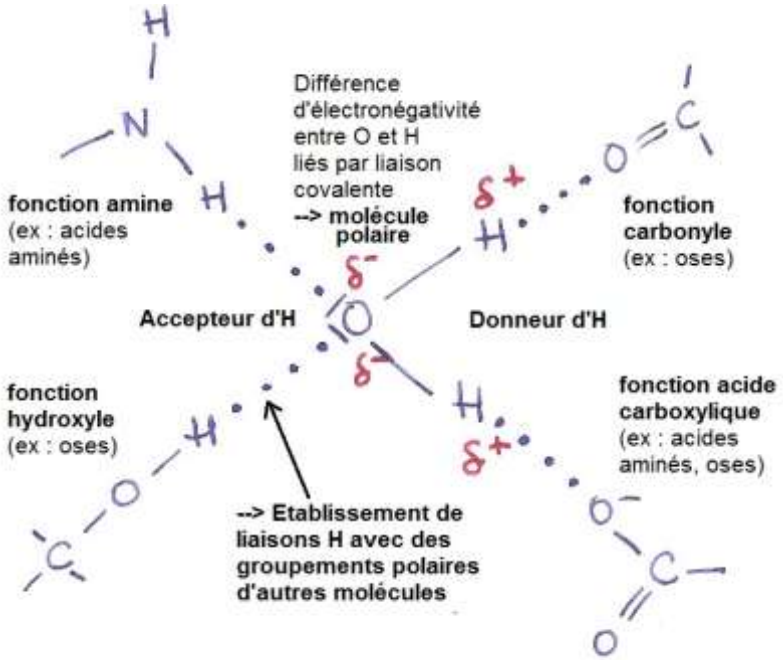
Les êtres vivants sont constitués d'eau en majorité, petite molécule minérale (75 % de la masse des végétaux et 60 % dans l'espèce humaine) et de molécules organiques. Ces dernières, produites par l'activité des êtres vivants, sont caractérisées par la présence de l'élément carbone réduit à des degrés variables.
En conséquence, les molécules organiques sont environnées par les molécules d'eau, ce qui suggère qu'il pourrait y avoir des interactions entre ces molécules, c'est-à-dire des liaisons entre molécules d'eau et molécules organiques, ou une influence de l'eau sur ces molécules.
On peut alors se demander quelles caractéristiques de la molécule d'eau et des molécules organiques déterminent l'existence ou l'absence d'interactions entre elles, et quelles en sont les conséquences biologiques.
Dans un premier temps, nous étudierons quelles propriétés des molécules sont déterminantes dans ces interactions et quelles en sont les conséquences sur la structuration des cellules. Nous verrons ensuite que la présence ou l'absence d'interactions eau – molécules organiques peut déterminer la conformation et la localisation fonctionnelles de molécules. Enfin, nous verrons que ces interactions sont mises en jeu dans le métabolisme cellulaire.

I. L'existence ou l'absence d'interactions eau – molécules organiques structurent les cellules, unités fonctionnelles du vivant

1. La polarité, condition d'établissement des interactions avec l'eau

- Eau molécule polaire (expliquer la polarité)
- Diversité des groupements polaires des molécules organiques (illustrer)
- Nature des interactions entre groupements polaires et eau : liaisons hydrogènes, leurs caractéristiques
- Les groupements polaires chargés (exemples) sont également hydrophiles
- Les groupements apolaires (exemples de groupements alkyles) sont en revanche hydrophobes

Exemple de schéma possible :



L'eau, molécule polaire et ses interactions avec les groupements polaires

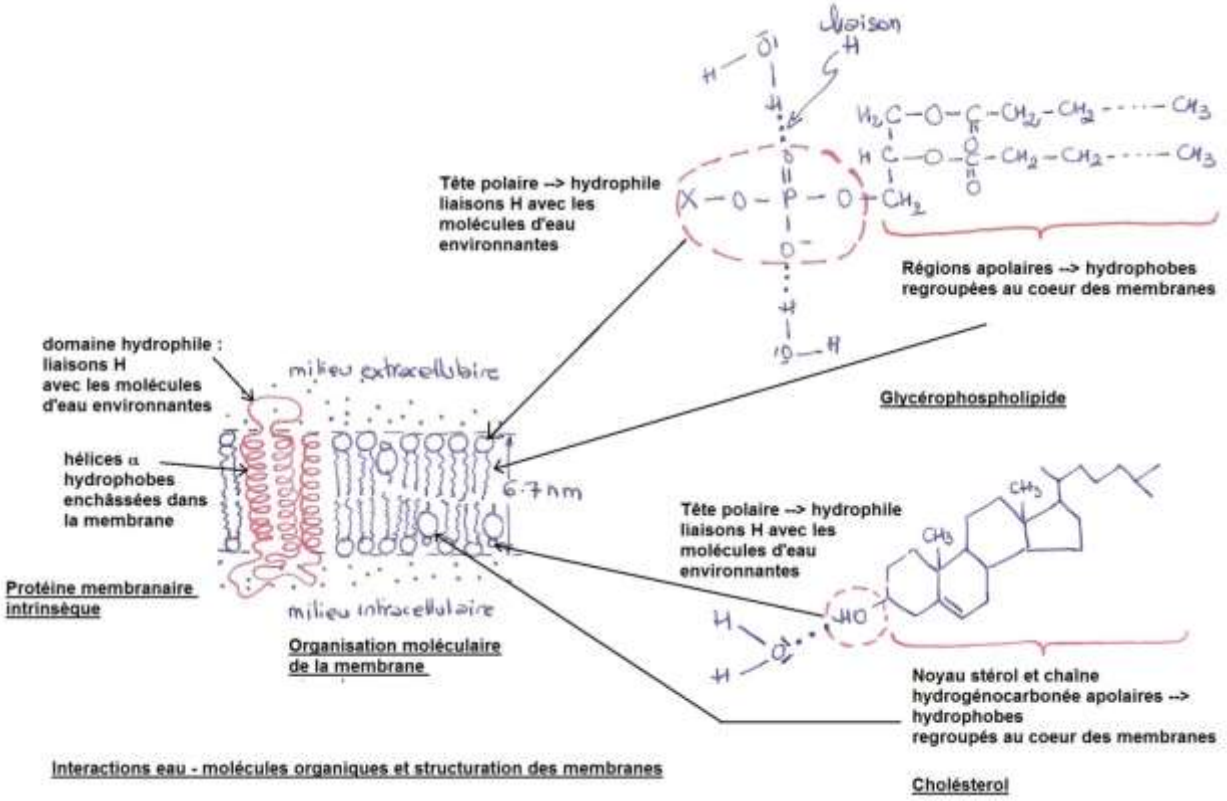
2. Les structures membranaires résultent des propriétés de leurs constituants vis-à- vis des molécules d'eau

- Les lipides membranaires sont des molécules amphiphiles qui présentent une dualité vis-à-vis de l'eau (schémas glycérophospholipide et cholestérol avec régions hydrophiles et hydrophobes)
- Approche expérimentale de l'architecture des membranes (expérience fantômes d'hématies)
- Conséquence de leur caractère amphiphile : les lipides s'assemblent en micelles ou double feuillet plan en milieu aqueux, leur tête hydrophile au contact de l'eau (liaisons H avec molécules d'eau), leurs régions hydrophobes en vis-à-vis, limitent leurs interactions avec l'eau (interactions hydrophobes) ce qui permet la mise en place de liaisons de Van der Waals stabilisant l'édifice moléculaire (schéma organisation lipidique des membranes)

3. Cette structuration a des conséquences fonctionnelles pour la cellule

- Les structures membranaires délimitent des compartiments au contenu différent de celui de leur environnement, avec des conséquences fonctionnelles : membrane plasmique et existence du compartiment cellulaire, compartimentation de la cellule eucaryote associée à une spécialisation fonctionnelle (donc partage du travail ; exemples de compartiments avec leurs caractéristiques et leur fonction), existence de gradients (ex gradients H+, forme d'énergie utilisable dans la cellule)
- L'eau passe néanmoins à travers les membranes biologiques à perméabilité sélective (osmose, aquaporines)

<u>Exemple de schéma possible :</u>



<u>Transition</u> : les interactions eau – molécules organiques déterminent la structuration fonctionnelle de la cellule. Qu'en est-t-il à l'échelle des molécules ?

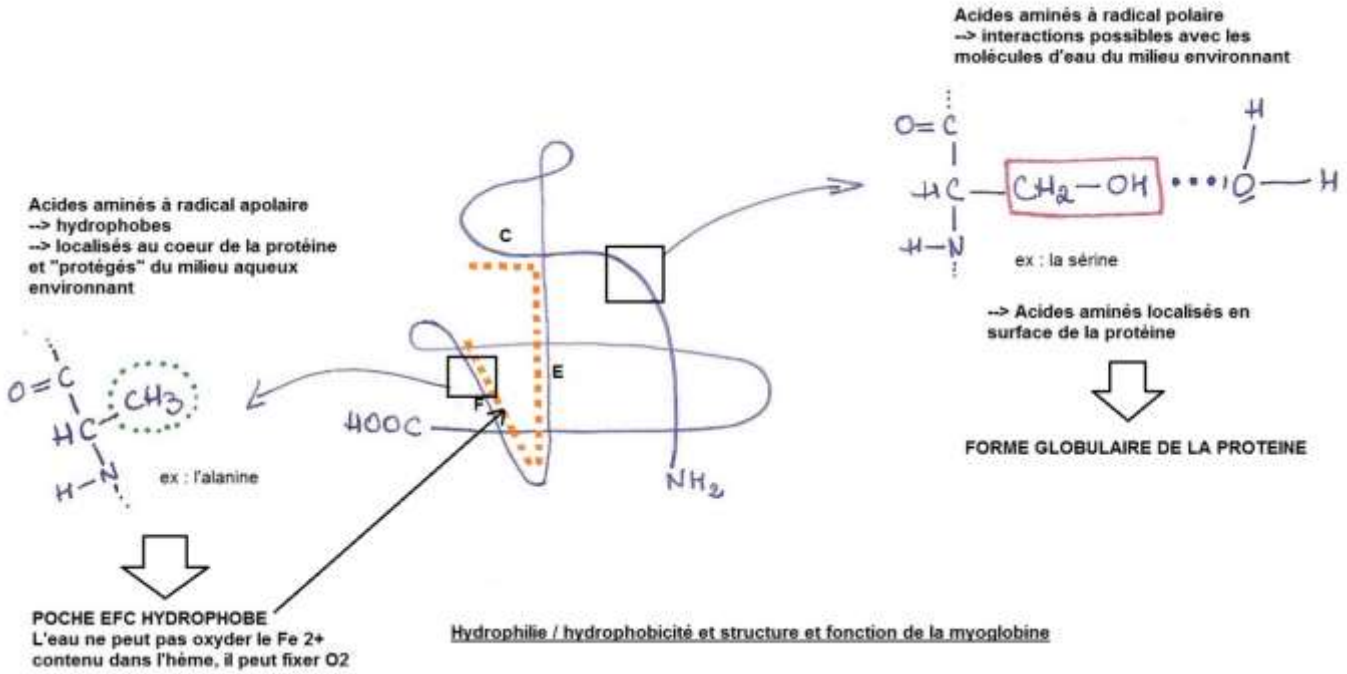
II. <u>L'existence ou l'absence d'interactions déterminent la conformation, la localisation fonctionnelle des molécules organiques</u>

1. Hydrophilie et hydrophobicité contribuent à la conformation spatiale de certaines molécules et à leur fonction

Les macromolécules comme les protéines, polymères d'acides aminés, peuvent présenter des régions hydrophiles et hydrophobes selon l'index d'hydropathie des acides aminés qui les constituent. Cet index traduit le caractère plus ou moins hydrophobe des radicaux des acides aminés.
ex : sérine, aa polaire, a. glutamique, aa polaire chargé, valine, aa apolaire.
La structure primaire d'une protéine détermine les interactions que chaque région de la molécule peut ou pas établir avec les molécules d'eau, ce qui importe en particulier pour les protéines à localisation cytosolique, le cytosol étant un milieu riche en eau.
Cette capacité ou pas à interagir avec l'eau a des conséquences fonctionnelles : ex de l'HbS comparée à l'HbA.

La présence de régions hydrophobes et de régions hydrophiles joue un rôle dans l'arrangement spatial de la molécule, les premières se trouvant localisées au cœur de la molécule et soustraite aux interactions avec l'eau, alors que les secondes sont exposées en surface de la molécule.
C'est le cas de la myoglobine (sa conformation spatiale est stabilisée par diverses liaisons entre radicaux des acides aminés), qui présente en conséquence une forme globulaire.

Conséquences fonctionnelles : la conformation spatiale de la molécule, en partie déterminée par ces interactions, ménage une poche hydrophobe dans laquelle est situé l'hème qui contient Fe^{2+}. L'ion Fe^{2+} est protégé de l'eau, donc de l'oxydation en Fe^{3+} et peut fixer O_2



2. Hydrophilie et hydrophobicité contribuent à l'arrangement spatial d'édifices plurimoléculaires et à leur fonction

Nous avons envisagé dans la première partie l'arrangement des édifices plurimoléculaires que sont les membranes biologiques, mais il existe d'autres édifices plurimoléculaires dont l'architecture est déterminée par les interactions avec les molécules d'eau : les LDL.

Ces structures associent des lipides amphiphiles arrangés en monocouche et associés à une protéine à domaines hydrophiles exposés en surface et à domaines hydrophobes enfouis dans les lipides, et un cœur hydrophobes constitué de cholestérol estérifié (ce qui masque le caractère polaire de la fonction OH) et de triglycérides apolaires.
Schéma

Cette architecture permet le transport du cholestérol en milieux aqueux : les LDL sont la forme de transport du cholestérol dans le sang, et l'apoprotéine, capable de se lier à des récepteurs membranaires spécifiques, permet l'adressage des LDL aux cellules qui ont besoin de cholestérol.

3. Hydrophilie et hydrophobicité déterminent la localisation fonctionnelle des molécules organiques

a. <u>Des molécules capables d'interagir avec les molécules d'eau en milieu aqueux</u>

Dans les différents compartiments cellulaires dont le cytosol, milieux riches en eau, sont localisées des molécules capables d'interagir avec les molécules d'eau (un premier exemple, la myoglobine, a été précédemment étudié).

Les petites molécules hydrophiles sont solubles dans l'eau : l'eau est un solvant pour ces molécules, qui sont ainsi distribuées dans toute la cellule.
Ex le glucose et ses interactions avec l'eau, d'où son ubiquité, lien avec son rôle de métabolite

Les propriétés des molécules vis-à-vis de l'eau sont également déterminantes pour leur transport dans les fluides circulants (sang, lymphe, sèves) :
- Transport des nutriments, des déchets du fonctionnement des cellules par les fluides circulants (sang, sèves) → l'eau, acteur des corrélations trophiques
- Transport de molécules informatives : hormones peptidiques

b. Des molécules incapables d'interagir avec les molécules d'eau dans les membranes

Les molécules qui – tout ou partie – ne peuvent pas interagir avec les molécules d'eau sont localisées dans les membranes.

C'est le cas pour certaines protéines membranaires. Les protéines représentent 50 % des constituants de la membrane plasmique, mais parfois davantage pour d'autres membranes biologiques (80 % pour la membrane interne mitochondriale). On distingue les protéines extrinsèques, localisées en surface des membranes, et les protéines intrinsèques, dont au moins un domaine est inséré dans une membrane.

L'étude du profil d'hydropathie des protéines intrinsèques montre au moins un domaine hydrophobe, souvent une hélice α, qui permet son ancrage dans la membrane.
Ex : glycophorine A ou bactériorhodopsine, leur fonction en lien avec leur localisation membranaire
Schéma profil d'hydropathie et interprétation : hélice α et insertion de la protéine dans une membrane

Ces protéines intrinsèques présentent des domaines hydrophiles qui se trouvent par conséquent exposés en surface des membranes, soit en face intracellulaire soit en face extracellulaire, où ils peuvent interagir avec des ligands.
C'est le cas par exemple
- de récepteurs membranaires (à des hormones peptidiques),
- des glycoprotéines dont la partie glucidique appartient au glycocalyx (fonctions du glycocalyx),
- de protéines impliquées dans les jonctions cellulaires
- de protéines impliquées dans des échanges membranaires : ex GLUT, transporteurs du glucose
→ Intégration des cellules aux tissus et à l'organisme

Certaines protéines qui grâce à leurs domaines hydrophobes sont insérées dans les membranes sont impliquées dans les échanges d'eau entre compartiments : les aquaporines
Explication des interactions avec l'eau permettant un flux d'eau à travers la membrane
Exemple de membranes comportant des aquaporines et importance fonctionnelle
(les aquaporines pouvaient aussi être mentionnées en fin de partie I)

c. Des molécules incapables d'interagir avec les molécules d'eau en surface des organismes vivant en milieu aérien

A l'échelle de l'organisme, les molécules hydrophobes permettent de limiter les pertes en eau :
- sébum et kératine de l'épiderme des Mammifères,
- cuticule cireuse des feuilles des végétaux.

Transition : La structuration et la localisation fonctionnelle des molécules organiques dépend elle aussi de la possibilité ou non d'établir des interactions avec les molécules d'eau. Ces interactions sont également mises en jeu dans le métabolisme cellulaire.

III. Les interactions entre l'eau et les molécules organiques mises en jeu dans le métabolisme cellulaire

1. La solubilité des molécules dans l'eau est déterminante pour leur place dans le métabolisme

- Conditions de la solubilité : interactions avec l'eau (molécules polaires ou ionisées) et petite taille (ex : glucose, ATP)
- Conséquences de la solubilité : caractère ubiquiste dans la cellule, facilité de mobilisation ; ex petite molécule ubiquiste et réactive, le glucose
- Cas des molécules de réserve (amidon, glycogène, triglycérides) insolubles → stabilité en relation avec le rôle de réserve énergétique

2. L'eau est un réactif du métabolisme

- L'eau réactif des hydrolyses : cas de l'hydrolyse du peptidoglycane par le lysozyme
- Réaction d'hydrolyse de l'ATP, qui permet de financer de nombreux travaux cellulaires
- L'eau et l'hydratation dans la β – oxydation des acides gras
- L'eau donneur d'électrons dans la photosynthèse

Toutes ces réactions sont catalysées par des enzymes, dont la conformation spatiale – donc la fonctionnalité – est en partie déterminée par les interactions avec l'eau (comme on l'a vu avec l'exemple d'une protéine non enzymatique, la myoglobine).

3. L'absence d'interactions avec l'eau rassemble dans certaines membranes des acteurs du métabolisme cellulaire

- Pigments chlorophylliens, ubiquinone : lipides membranaires respectivement impliqués dans l'absorption de l'énergie lumineuse / sa conversion en énergie chimique (ds les mb des thylakoïdes), et dans l'entretien d'un gradient protonique (mb interne mitochondriale)
- Protéines constitutives des chaînes redox de la membrane interne mitochondriale / de la membrane des thylakoïdes : la localisation membranaire assure une proximité de ces molécules intervenant successivement dans des réactions redox, ce qui optimise le déroulement de la chaîne de réactions
- Protéines impliquées dans la création de gradients H^+ (tels que certains complexes protéiques de la chaîne respiratoire) ou encore impliquées dans son utilisation pour la synthèse d'ATP (ATP synthase de la membrane plasmique des bactéries, de la membrane interne mitochondriale, de la membrane des thylakoïdes)

Cette localisation membranaire est capitale dans les conversions d'énergie qui mettent en jeu un gradient ! (cf cours ultérieur).

Conclusion

L'existence ou l'absence d'interactions eau – molécules organiques sont déterminées par la présence ou non de groupements polaires dans les molécules organiques. Elles ont des conséquences à la fois dans la structuration des molécules, des édifices moléculaires et donc de la cellule, dans son activité métabolique donc dans son fonctionnement.

Ces interactions sont tout aussi essentielles à l'échelle de l'organisme : l'environnement cellulaire est riche en eau, et l'eau est le fluide qui permet de transporter les nutriments, les déchets de l'activité cellulaire, les hormones… Ces interactions interviennent donc dans la réalisation des différentes fonctions vitales et dans la coopération fonctionnelle des cellules assurant l'intégrité de l'organisme.

Cependant, les rôles de l'eau dans le vivant ne se limitent pas aux interactions avec les molécules organiques : par exemple son incompressibilité lui confère un rôle de soutien chez les végétaux. Son importance capitale suggère que la question de l'approvisionnement et de la limitation des pertes en eau est cruciale pour les nombreux organismes vivant en milieu aérien desséchant.