

Les associations moléculaires non covalentes dans la vie cellulaire

Introduction

L'unité du monde vivant est la cellule, un espace délimité par une membrane, et séparant deux milieux de compositions différentes. La cellule peut être considérée comme un assemblage de millions de molécules, de natures très variées. Cet assemblage est-il une simple juxtaposition de molécules ?

La réponse peut venir de simples observations. Par exemple, la cellule animale présente une organisation très ordonnée, avec des compartiments séparés et une distribution des molécules bien particulière. De la même manière, il est facile de montrer que des molécules entrent dans la cellule alors que d'autres en sortent, ou que des polymères se forment, comme l'amidon dans les cellules de stockage des tubercules.

Les molécules semblent donc disposées les unes par rapport aux autres de façon ordonnée et montrer des interactions entre elles. Contrairement aux liaisons covalentes qui unissent deux atomes avec une haute énergie (environ 300 à 450 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$), les liaisons non covalentes sont qualifiées de liaisons faibles car l'énergie de leur formation ou de leur rupture est de moindre importance (de 1 à 100 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$). Elles permettent à des molécules de s'associer, mais de manière plus ou moins durable.

Les associations moléculaires peuvent ainsi être abordées sous un angle spatial mais aussi dynamique et temporel.

L'eau est la molécule la plus abondante des cellules vivantes, représentant jusqu'à 70% de leur masse. Les molécules qui peuvent s'y associer sont dites hydrophiles alors que celles qu'elle exclut sont dites lipophiles ou hydrophobes. Les associations des molécules organiques avec l'eau sont essentielles à leur disposition dans la cellule, ce qui sera abordé dans un premier temps.

Par ailleurs, les associations des molécules entre elles montrent un état plus ou moins dynamique. Ainsi, nous montrerons que la cellule présente des associations moléculaires dont la stabilité est rendue possible par un nombre élevé de liaisons faibles. Mais nous verrons aussi que cette association est labile : de faible énergie, ces liaisons peuvent se rompre et autoriser des réactions chimiques, des mouvements, des dissociations, etc. indispensables à la vie de la cellule.

Où

Les molécules organiques et minérales qui composent la Terre sont des édifices constitués d'atomes liés par des liaisons covalentes : il s'agit de liaisons issues de la mise en commun d'électrons entre deux atomes. Leur énergie de liaison est élevée (300 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) donc il s'agit de liaisons fortes, difficiles à rompre. Il existe d'autres liaisons fortement énergétiques : celles qui relient deux ions de charge opposée, les liaisons ioniques, dont l'énergie varie entre 40 et 100 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

À côté de cela existent des liaisons que l'on qualifie de faibles car leur énergie est inférieure à 20 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Leur faible énergie les rend labiles, c'est-à-dire faciles à rompre ou à se former. Ainsi, dans un milieu vivant, l'agitation moléculaire est un facteur important de la mise en place ou de la rupture de ces liaisons. Nous allons rechercher en quoi les liaisons faibles permettent les interactions entre molécules au sein des cellules et comment elles participent à leur activité.

Notre première approche s'appuiera sur une molécule particulière : l'eau. Il s'agit de

la molécule la plus abondante de la cellule (70% de sa masse) et elle est donc plus ou moins associée à toutes les molécules organiques de cellule. Son étude permettra de décrire et identifier ces liaisons faibles afin de montrer leur implication dans la répartition des molécules au sein des compartiments cellulaires. Puis nous chercherons à montrer que les liaisons faibles, peuvent, en grand nombre, assurer une structure stable alors qu'en faible nombre, elles sont plutôt impliquées dans des interactions transitoires et dynamiques.

1. Les associations des molécules avec l'eau conduisent à leur répartition moléculaire et à leur repliement dans l'espace

1.1. Les liaisons faibles avec l'eau déterminent le caractère hydrophile ou hydrophobe des molécules

électronégativité

liaisons H, liaisons de van der Waals et interactions hydrophobes résultantes (+ éventuellement les liaisons ioniques)

indice d'hydropathie des molécules et sa mesure

1.2. Conséquences sur la vie cellulaire

la membrane plasmique

assemblage des molécules amphiphiles : membrane de phospholipides, liposome, micelle

idée de fluidité membranaire rendue possible car les liaisons sont faibles
protéine membranaire

Schéma de membrane à proposer ici.

assemblages volumineux : protéoglycannes associant ions et eau (ou cohésion des molécules d'eau dans le xylème pour le programme de spé)

assemblage des molécules hydrophobes, rassemblées car exclues de l'eau (triglycérides dans les gouttelettes lipidiques des adipocytes, stockage stable d'énergie)

lipoprotéines : apolipoprotéines et transport des TG et cholestérol

Bilan

Les liaisons entre les molécules permettent non seulement de les associer mais aussi de les orienter les unes par rapport aux autres. Ceci conduit à l'état le plus stable en terme d'énergie (rassemblement des hydrophobes entre eux, formation de liaisons entre molécules hydrophiles).

2. Des liaisons faibles en grand nombre à l'origine de structures stables

2.1. La paroi végétale, des molécules qui forment une matrice stable à rôle structural

Cellulose

assemblage en microfibrilles grâce à des liaisons H intermoléculaires

lien avec la fonction de structure et le caractère peu digestible

pectines et association

hémicellulose liées à la cellulose

Schéma possible ici d'une paroi avec ses constituants

2.2. L'ADN, une molécule stable qui conserve l'information génétique

ADN et la formation de liaisons entre bases azotées CG et AT : grand nombre donc stabilité à relier à la fonction de conservation du génome ; faible tautomérie due à la présence des liaisons H.

encore possibilité de séparer les 2 brins : transcription et réplication

Schéma possible ici montrant les liaisons entre les deux brins d'ADN

Bilan

Les liaisons faibles en grand nombre conduisent à des structures tridimensionnelles solides qui peuvent assurer des fonctions grâce à leur forme stable. Mais elles conservent encore une possibilité de se rompre donc les édifices ne sont pas figés. C'est encore plus vrai lorsqu'elles sont présentes en faible nombre : la dynamique moléculaire en est alors plus importante.

3. Des liaisons faibles transitoires qui permettent des interactions dynamiques

3.1. Les liaisons faibles temporaires : exemple des protéines quaternaires

exemple de l'hémoglobine et transition allostérique R-T

Liaisons faibles et association des protomères

Fixation de dioxygène et modification de la conformation => impact sur l'affinité pour le dioxygène Les 2 conformations R et T à décrire

exemple de la PKA : liaison réversible entre sous-unités R et C + liaison à l'AMPc

Une association et une dissociation possible qui régule l'activité de l'enzyme

Une liaison à l'AMPc qui est temporaire aussi : voir après.

Schéma possible montrant les sous-unités liées ou séparées. Axer aussi sur la liaison de l'AMPc qui sépare les sous-unités

3.2. Des associations intermoléculaires transitoires et spécifiques : les enzymes et récepteurs

lysozyme : site de liaison et site catalytique

Montrer la spécificité de substrat et l'importance des acides aminés de liaison

Montrer l'importance des liaisons au sein du site actif dans la catalyse

la liaison temporaire entre un site de liaison et son substrat kinésine et association transitoire avec le microtubule (+ hydrolyse de l'ATP)

leucine zipper

3.3. Des associations moléculaires permettant la coopération de nombreux acteurs

l'endocytose : clathrine, AP, récepteur, ligand et dynamine

Schéma possible des interactions lors d'une endocytose

adrénaline et son récepteur membranaire, protéine G

Schéma possible des interactions aléatoires

exocytose et protéines SNARE

Conclusion

Les liaisons de faible énergie s'établissent de façon spontanée entre les atomes de charges partielles opposées. Elles sont très nombreuses, s'établissent rapidement et se défont tout autant, en fonction de l'agitation moléculaire et de leur environnement. En grand nombre, elles sont impliquées dans la stabilisation des structures, avec toutefois la possibilité de les rompre de manière transitoire sans une forte dépense énergétique. Elles sont également à l'origine des assemblages ponctuels et dynamiques comme des liaisons enzyme- substrat, récepteur-ligand, ou entre sous-unités de protéines IV...

Alors que les liaisons covalentes constituent les molécules, les liaisons faibles leur assurent forme et réactivité : elles sont donc tout aussi essentielles à la chimie de la vie.