L'importance biologique des liaisons faibles.

A l'aide d'exemples précis et judicieusement choisis, montrez comment les liaisons faibles interviennent dans la structure, les propriétés et la fonction des molécules du vivant.

Introduction

L'analyse chimique des êtres vivants montre que les molécules qui les constituent se répartissent en un petit nombre de catégories : l'eau, les lipides, les glucides, les acides aminés et les nucléotides ; ces deux dernières catégories étant présentes très souvent sous forme de polymères, respectivement les protéines et les acides nucléiques.
Ces molécules du vivant résultent d'une association d'éléments chimiques peu diversifiés (CHON), reliés par des liaisons covalentes stables (l'énergie nécessaire pour les rompre est élevée), dans lesquelles les atomes partagent des électrons.

En plus de ces liaisons fondamentales, il existe des interactions entre atomes d'une même molécule ou de molécules différentes, de nature diverse, qualifiées de liaisons faibles car l'énergie nécessaire pour les rompre est peu élevée. Basées sur l'attraction entre charges électriques, elles se regroupent généralement en trois catégories* : les liaisons hydrogènes, les liaisons ioniques et les interactions hydrophobes dans lesquelles on inclura les forces de Van der Waals.

Comment les liaisons faibles interviennent-elles dans la structure, les propriétés et la fonction des molécules du vivant, et donc dans l'intégrité et le fonctionnement de la cellule et de l'organisme ?

L'eau, constituant majeur du vivant, a la propriété de pouvoir établir des liaisons faibles entre ses molécules, et avec des molécules différentes : nous envisagerons leurs caractéristiques et leur importance fonctionnelle dans une première partie.
Au sein des macromolécules, des liaisons faibles peuvent également exister : nous verrons dans une 2e partie comment et quelle est leur importance concernant la structure et la fonction de ces grosses molécules.
Enfin, des liaisons faibles peuvent aussi s'établir entre molécules organiques différentes. Nous étudierons dans la 3e partie quelle est l'importance fonctionnelle de ces liaisons.

I. Importance biologique des liaisons faibles impliquant des molécules d'eau

1. Liaisons hydrogène entre molécules d'eau

Eau = molécule polaire ; caractéristiques d'une liaison hydrogène ; cohésion des molécules d'eau et forme des cellules (incompressibilité de l'eau), circulation de liquides internes (sang, sèves)
Schémas possibles : la molécule d'eau avec ses charges partielles, liaisons H entre molécules d'eau

2. Liaisons hydrogène et solubilité des petites molécules organiques

Groupements polaires – caractéristiques, diversité – et liaisons hydrogène : ex glucose
→ Molécules mobilisables, rôle dans métabolisme
Schémas possibles : la molécule de glucose avec ses groupements polaires et des liaisons H, diversité des groupements polaires des molécules organiques

3. Liaisons hydrogène et hydrophilie de grosses molécules non dissoutes

- molécules à rôle structural piégeant l'eau : pectines, GAG, protéoglycanes, constituants du biotope hydraté des cellules permettant le passage de substances dissoutes
- molécules de « stockage » baignant dans le milieu aqueux (accessibles) : stockage d'énergie (amidon, glycogène), stockage d'information (acides nucléiques)

4. Lorsque les liaisons hydrogènes avec l'eau sont impossibles : interactions hydrophobes

Les lipides, molécules amphiphiles (ex :glycérophospholipide) → agencement en double feuillet en milieu aqueux en raison des interactions hydrophobes et liaisons de Van der Waals (leurs caractéristiques) / interactions hydrophiles avec l'eau du milieu ; importance de ces liaisons dans la constitution des membranes donc la structuration de la cellule, dans la fluidité membranaire
Schémas possibles : molécule amphiphile de glycérophospholipide, agencement en double feuillet de lipides membranaires avec les liaisons mises en jeu

Transition : liaisons faibles qui s'établissent ou non avec l'eau déterminantes dans la structuration de la cellule (membranes), comme dans son fonctionnement (molécules hydrophiles / hydrophobes)…

II. Importance biologique des liaisons faibles au sein des molécules organiques

1. *Liaisons faibles et structure spatiale fonctionnelle des molécules*

a. Des molécules globulaires : exemples de protéines à rôle métabolique

- mise en évidence : Exp Anfinsen (attention à l'exploitation : relier liaisons faibles intramoléculaires et fonctionnalité)
- structure II : motifs structuraux (hélice α, feuillet β) stabilisés par des liaisons H (leur position) ; son importance fonctionnelle (ex hélices EFC dans la globine : délimitent un environnement pour l'hème fixant l'O_2)
- structure III : un exemple précis (myoglobine) ; nature des différentes liaisons faibles mises en jeu ; importance des radicaux des acides aminés (cas de Hba/ HbS) ; importance fonctionnelle (poche EFC de l'Hb tapissée de radicaux hydrophobes)
- structure IV (parfois) : ex Hb et association de 4 sous-unités par des liaisons ioniques nb (forme T) ou moins nb (forme R), en lien avec une affinité variable pour l'O_2 → permet une régulation fine par interactions entre sous-unités

Schémas possibles : expérience Anfinsen, liaisons H dans la structure secondaire, liaisons faibles impliquées dans la structure tertiaire, molécule de myoglobine avec les différentes types de liaisons faibles mises en jeu (ces trois schémas pourraient astucieusement être combinés en un seul montrant l'importance des liaisons faibles dans la structure et la fonction de la myoglobine, penser à faire des « effets loupes » !), molécules de Hb états R et T avec les liaisons ioniques mises en jeu / graphe saturation en O_2 de l'Hb

b. Des molécules fibreuses : ex de glucides à rôle structural

Liaisons H intramoléculaires dans la cellulose, la chitine → stabilisation d'une forme linéaire de ces molécules, qui permet d'établir des structures supramoléculaires (cf plus loin).

Schémas possibles : liaisons H intramoléculaires dans la molécule de cellulose

2. *Liaisons faibles et stabilité des molécules à fonction de stockage*

- Cas de l'ADN : liaisons H entre bases azotées, dont la séquence est le support de l'information génétique → structure en double hélice avec bases azotées au cœur de la molécule (stacking), d'où une protection de l'IG
- Cas des polyosides de réserve : liaisons H intramoléculaires dans l'amylose qui stabilise la forme hélicoïdale, entre les chaînes dans l'amylopectine, le glycogène, qui favorisent la forme compactée

Schémas possibles : liaisons H dans la molécule de d'ADN

Transition : Si les molécules organiques sont constituées d'un squelette carboné avec des liaisons covalentes assurant la cohésion entre atomes, les liaisons faibles intramoléculaires confèrent une structure fonctionnelle aux grosses molécules (assez stables en général). Cette fonctionnalité fait également intervenir des liaisons faibles avec d'autres molécules.

III. Importance biologique des liaisons faibles entre molécules organiques

1. *Les liaisons faibles, acteurs clé du métabolisme cellulaire : cas des enzymes*

Ex lysozyme : site actif, liaison avec le substrat et rôle des liaisons faibles dans la catalyse de l'hydrolyse de la liaison osidique. Généralisation : liaisons faibles et interactions transitoires entre une protéine et son ligand

Schémas possibles : enzyme et site actif, mécanisme de la catalyse dans le cas du lysozyme

2. *Le rôle des liaisons faibles dans la conservation et l'expression de l'IG*

- ADN et interactions avec protéines basiques (ex histones et stockage)
- interactions ADN / ARN et ARNm/ARNt pour l'expression de l'IG

Bilan : les liaisons faibles permettent des interactions transitoires ou durables

Schémas possibles : interaction ARNm/ARNt ou dénaturation ADN lors réplication ou transcription

3. *Les liaisons faibles, à l'origine de propriétés mécaniques d'associations de molécules*

Association des molécules de cellulose en microfibrilles, fibrilles puis fibres (idem pour la chitine) → réalisation d'un édifice supramoléculaire

Liaisons nombreuses et durables → résistance à l'étirement

Schémas possibles : liaisons H intramoléculaires dans la molécule de cellulose, liaisons H intermoléculaire et regroupement des molécules en microfibrilles, fibrilles, fibres et agencement dans la paroi

Conclusion :

Diversité des liaisons faibles en relation avec propriétés des groupements fonctionnels
Faciles à rompre → peuvent être labiles, transitoires
Peuvent conférer une stabilité si nombreuses ; liaison H orientée → rôle structural
Permettent des interactions avec l'eau, molécule essentielle du vivant
Liaisons molécules / ligand essentielles pour la réalisation des différentes fonctions des molécules
Nécessaires pour la réalisation des réactions du métabolisme, la réalisation et le maintien des structures biologiques, bref, nécessaires pour la vie de la cellule donc de l'organisme…
Leur facilité de rupture ou de formation permet l'entretien de la flexibilité nécessaire au maintien de l'activité biologique dans des conditions susceptibles de changer, conditions physico-chimiques du milieu (pH, température) dont dépendent ces liaisons.