

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	7
Chapitre 1 - NOTIONS D'ÉNERGIE ET DE FLUX	9
1.1. Introduction.....	9
1.2. Notions de thermodynamique	13
1.2.1. Principe de conservation de l'énergie, application à la calorimétrie	13
1.2.2. Notions de rendement d'une machine et d'entropie.....	16
1.2.3. Irréversibilité et production d'entropie	19
1.2.4. Relation entre la production d'entropie, l'affinité et le degré d'avancement d'une réaction chimique.....	20
1.2.5. Probabilité et entropie	21
1.2.6. Variation d'enthalpie libre liée à l'évolution d'un système	22
1.2.7. Potentiel chimique, loi d'action de masse et constante d'équilibre d'une réaction	24
1.2.7.1. Expression du potentiel chimique	24
1.2.7.2. Loi d'action de masse et constante d'équilibre	25
1.2.7.3. Dépendance de la constante d'équilibre par rapport à la température	26
1.2.7.4. Relation entre ΔG et vitesse de réaction.....	27
1.2.8. Thermodynamique des systèmes hors de l'équilibre.....	27
1.3. Conclusions	30
Chapitre 2 - L'ÉNERGIE OSMOTIQUE	31
2.1. Expression thermodynamique	31
2.2. Transports et transporteurs	33
2.2.1. Généralités	33
2.2.2. Exemples de transporteurs de la membrane plasmique	36
2.3. Cas de l'eau et effet DONNAN	38
2.3.1. Diffusion de l'eau et pression osmotique.....	38
2.3.2. Effet DONNAN.....	40
2.4. Conclusions	40
Chapitre 3 - L'ÉNERGIE CHIMIQUE	43
3.1. Nucléotides adényliques	43
3.1.1. Structure	43
3.1.2. Instabilité de l'ATP	44
3.1.3. Origine de l'instabilité des liaisons pyrophosphates et méthodes de dosage de l'ATP	46

3.1.4. Réactions du métabolisme faisant intervenir l'ATP	48
3.1.4.1. ATP donneur de groupe phosphoryl	48
3.1.4.2. ATP donneur de groupe pyrophosphoryl	50
3.1.4.3. ATP donneur de groupe adénosyl monophosphate	50
3.1.5. ATP hydrolases (ATPases) et ATP synthases	51
3.1.5.1. Les ATPases de type P ou E ₁ -E ₂ ATPases	51
3.1.5.2. Les ATP synthases ou ATPases de type F ₀ -F ₁	53
3.1.5.3. Les ATPases de type V	54
3.1.5.4. Les ABC ATPases	54
3.2. Autres composés comportant des groupes à haut potentiel de transfert	55
3.2.1. Les nucléotides	55
3.2.2. Créatine-phosphate et autres composés phosphorylés	57
3.2.2.1. Créatine-phosphate	57
3.2.2.2. Autres composés phosphorylés	58
3.2.3. Thioesters	59
3.3. Conclusions	60
Chapitre 4 - OXYDORÉDUCTION	63
4.1. Thermodynamique des oxydoréductions	63
4.1.1. Oxydants et réducteurs	63
4.1.2. Force électromotrice des piles et potentiel d'oxydoréduction	65
4.1.2.1. Expression du potentiel d'oxydoréduction en absence de transfert de proton	65
4.1.2.2. Transfert d'électrons lié à celui de protons en phase aqueuse	66
4.1.2.3. Mesure des potentiels d'oxydoréduction	67
4.2. Pyridines nucléotides	68
4.2.1. Structure et biosynthèse	68
4.2.2. Réactions nécessitant un coenzyme pyrimidique	69
4.2.3. Potentiel d'oxydoréduction	71
4.2.4. Mécanisme et stéréospécificité de la réaction d'oxydoréduction	73
4.3. Flavines	74
4.3.1. Structure et propriétés physico-chimiques	74
4.3.2. Réactions nécessitant un coenzyme flavinique, mécanismes	75
4.4. Quinones	77
4.5. Cytochromes	78
4.5.1. Structure et biosynthèse des porphyrines et de l'hème	78
4.5.2. Structure électronique du fer et chélation des ions ferreux et ferriques	80
4.5.3. Différents types de cytochrome	81
4.5.3.1. Cytochromes de type a	81
4.5.3.2. Cytochromes de type b	81
4.5.3.3. Cytochromes de type c	82
4.6. Protéines fer-soufre	82
4.7. Les acides aminés	82

4.8. Métabolisme du dioxygène et des radicaux libres	83
4.8.1. <i>Transporteurs de dioxygène</i>	84
4.8.2. <i>Réactivité et toxicité du dioxygène</i>	85
4.9. Conclusions	87
Chapitre 5 - RÉGULATION ET CONTRÔLE DU MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE	89
5.1. Régulation allostérique.....	89
5.2. Phosphorylation des protéines	91
5.2.1. <i>Le système adénylate cyclase</i>	91
5.2.2. <i>L'ion calcium</i>	93
5.2.3. <i>Le système inositol triphosphate et diacylglycérol</i>	94
5.2.4. <i>Les récepteurs à tyrosine kinase</i>	95
5.3. Théorie du contrôle du métabolisme.....	96
5.3.1. <i>Coefficient de contrôle</i>	97
5.3.2. <i>Coefficient d'élasticité</i>	99
5.4. Organisation des enzymes et canalisation des métabolites	100
5.4.1. <i>Généralités</i>	100
5.4.2. <i>Complexes multi-enzymatiques</i>	103
5.4.3. <i>Exemples de canalisation</i>	105
5.5. Conclusions	108
Chapitre 6 - MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE DES SUCRES	111
6.1. Métabolisme du glycogène	111
6.1.1. <i>Dégradation du glycogène cellulaire</i>	112
6.1.2. <i>Biosynthèse du glycogène</i>	112
6.1.3. <i>Régulation du métabolisme du glycogène</i>	112
6.2. Glycolyse et fermentations.....	115
6.2.1. <i>Réactions de la glycolyse</i>	115
6.2.1.1. <i>Formation du glucose-6P</i>	116
6.2.1.2. <i>Isomérisation du glucose-6P en fructose-6P</i>	118
6.2.1.3. <i>Réactions catalysées par la phosphofructokinase</i> <i>et la fructose-1,6biphosphatase</i>	120
6.2.1.4. <i>Scission de l'hexose en deux trioses</i>	122
6.2.1.5. <i>Isomérisation du dihydroxyacétone phosphate</i> <i>en glycéraldéhyde-3phosphate</i>	124
6.2.1.6. <i>Réactions conduisant à la synthèse d'ATP</i>	124
6.2.2. <i>Energétique et réversibilité de la glycolyse - Canalisation des métabolites</i> ...	129
6.2.3. <i>Les fermentations</i>	130
6.2.3.1. <i>Fermentation lactique et formation de glycérol-3P</i>	131
6.2.3.2. <i>Fermentation alcoolique</i>	132
6.2.3.3. <i>Autres fermentations</i>	133
6.3. Conclusions	134

Chapitre 7 - COMPARTIMENTATION ENZYMATIQUE MITOCHONDRIALE ET MÉTABOLISME MATRICIEL	135
7.1. Compartimentation mitochondriale.....	135
7.1.1. Structure des mitochondries	135
7.1.2. Composition des membranes.....	137
7.1.3. Les enzymes des espaces solubles	138
7.1.4. Mesure des espaces, gonflement et contraction des mitochondries.....	138
7.2. Métabolisme énergétique de la matrice mitochondriale	140
7.2.1. Métabolisme du pyruvate.....	140
7.2.2. Cycle des acides tricarboxyliques	143
7.2.3. Réactions anaplérotiques et régulation du métabolisme intermédiaire.....	147
7.2.4. Canalisation	149
7.2.5. β -oxydation des acides gras.....	150
7.2.6. Catabolisme des acides aminés	153
7.3. Conclusions	155
Chapitre 8 - OXYDATIONS PHOSPHORYLANTES	157
8.1. Mise en évidence d'un couplage entre respiration et synthèse d'ATP	157
8.1.1. Mesure du P/O.....	157
8.1.2. Mesures polarographiques et effet des inhibiteurs	158
8.2. Explication chimiosmotique	160
8.2.1. Principes et bases théoriques.....	160
8.2.2. Bases expérimentales.....	164
8.2.2.1. Mise en évidence d'un flux de protons associé aux réactions chimiques	164
8.2.2.2. Mesure de la force protonmotrice.....	165
8.2.2.3. Découplage et protonophores.....	168
8.2.2.4. Synthèse d'ATP sous l'effet d'une force protonmotrice créée artificiellement.....	168
8.2.2.5. Les interactions moléculaires ne sont pas indispensables.....	169
8.2.2.6. Relations entre les flux et les forces	170
8.3. Perméabilité de la membrane interne et systèmes de transport.....	171
8.3.1. Etudes par les techniques du gonflement des mitochondries	171
8.3.2. Transporteurs de métabolites	173
8.3.3. Transporteurs de cations	177
8.3.3.1. Transport des ions monovalents	177
8.3.3.2. Transport du Ca^{2+}	179
8.3.4. Perméabilités induites à faible spécificité	180
8.4. Substrats et structure de la chaîne respiratoire	181
8.4.1. Différents substrats respiratoires et systèmes navettes.....	181
8.4.2. Structure générale de la chaîne d'oxydoréduction	183
8.5. Localisation des sites de couplage et énergétique	186
8.5.1. Détermination expérimentale des sites	186
8.5.2. Énergétique de la chaîne et stœchiométrie	187

8.6. Dissipation de l'énergie	189
8.7. Réversibilité des oxydations phosphorylantes	191
8.8. Contrôle des oxydations phosphorylantes	192
8.9. Structure-fonction des complexes mitochondriaux.....	194
8.9.1. <i>Complexe 1 ou NADH-ubiquinone oxydoréductase</i>	194
8.9.2. <i>Complexe 2 ou succinate-ubiquinone oxydoréductase</i>	195
8.9.3. <i>Complexe 3 ou ubiquinol-cytochrome c oxydoréductase</i>	195
8.9.3.1. Structure du complexe.....	196
8.9.3.2. Mécanisme : cycle des quinones	196
8.9.3.3. Bases expérimentales du modèle	198
8.9.4. <i>Complexe 4 ou cytochrome c oxydase</i>	198
8.9.4.1. Structure de la cytochrome c oxydase.....	199
8.9.4.2. Mécanisme de réduction du dioxygène	200
8.9.4.3. Recherche des étapes impliquées dans le couplage entre transfert des H ⁺ et électrons.....	201
8.9.4.4. Cheminement des H ⁺ et hypothèses sur le mécanisme de couplage ..	202
8.9.4.5. Les sous-unités surnuméraires	204
8.9.5. <i>Complexe 5 ou ATP synthase</i>	204
8.9.5.1. Composition	204
8.9.5.2. Mécanisme	205
8.9.5.3. Structure tridimensionnelle du secteur F1	209
8.9.5.4. Modèle rotationnel	210
8.9.6. <i>Nicotinamide nucléotide transhydrogénase</i>	210
8.10. Conclusions.....	211
Chapitre 9 - MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE DE DIFFÉRENTS ORGANES OU CELLULES	213
9.1. Hépatocytes.....	213
9.1.1. <i>Anatomie fonctionnelle du foie</i>	213
9.1.2. <i>Métabolisme des sucres et régulation du taux de glucose dans le sang</i>	214
9.1.3. <i>Métabolisme des acides aminés</i>	217
9.1.4. <i>Métabolisme des acides gras</i>	218
9.1.5. <i>Les corps cétoniques</i>	219
9.2. Cellules musculaires	220
9.2.1. <i>Muscles squelettiques</i>	220
9.2.2. <i>Muscle cardiaque</i>	222
9.3. Adipocytes.....	224
9.3.1. <i>Tissus adipeux bruns</i>	224
9.3.2. <i>Tissus adipeux blancs</i>	224
9.4. Cellules du système nerveux	226
9.5. Exemple de microorganisme eucaryote : la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	230
9.6. Conclusions	234

Chapitre 10 - ENERGÉTIQUE DE LA PHOTOSYNTHÈSE	235
10.1. Principes généraux.....	235
10.2. Principe de la réaction photochimique	237
10.2.1. Rappel des lois de la photochimie.....	237
10.2.2. Transferts d'énergie entre molécules.....	239
10.3. Les pigments photosynthétiques	239
10.4. Structure et fonction des complexes.....	241
10.4.1. Structure des antennes	241
10.4.2. Les photosystèmes.....	242
10.4.2.1. Photosystème II	243
10.4.2.2. Photosystème I	245
10.4.3. Structure du complexe b_6-f	245
10.5. Mécanisme de la transduction de l'énergie dans les thylakoïdes	246
10.6. Régulation de la photosynthèse.....	248
10.7. Utilisation de l'énergie produite	249
10.8. Exemples de relations fonctionnelles entre les compartiments cellulaires...	252
10.8.1. Photorespiration ou cycle du glycolate	252
10.8.2. Transfert d'énergie entre les différents compartiments cellulaires	254
10.9. Conclusions.....	255
POSTFACE	257
BIBLIOGRAPHIE	261