

F. C. Neidhardt
J. L. Ingraham
M. Schaechter

Physiologie de la cellule bactérienne

Une approche moléculaire

ENSEIGNEMENT DES
SCIENCES DE LA VIE

MASSON 

Table des matières

Préface	V
Remerciements	VI
I COMPOSITION ET ORGANISATION DE LA CELLULE BACTÉRIENNE	1
Introduction	1
Composition chimique du protoplasme bactérien	2
Aspects dynamiques de la composition du protoplasme durant la croissance	5
Taille et composition chimique d'une cellule bactérienne moyenne	6
Variété et nombre des molécules	9
<i>Les protéines</i>	9
<i>Les ARN</i>	12
<i>L'ADN</i>	13
<i>Les lipides</i>	14
<i>Le lipopolysaccharide</i>	15
<i>La muréine</i>	15
<i>Les glucides</i>	16
<i>Les molécules organiques de faible poids moléculaire</i>	19
<i>Les ions inorganiques</i>	19
<i>Remarques</i>	20
Organisation de la cellule procaryote	20
II STRUCTURE ET FONCTION DES PARTIES DE LA CELLULE BACTÉRIENNE	28
Introduction	28
L'enveloppe bactérienne	28
La membrane cellulaire	28
La paroi cellulaire	30
<i>La paroi des bactéries à Gram positif</i>	31
<i>La paroi et la membrane externe des bactéries à Gram négatif</i>	35
<i>Le périplasme</i>	39
<i>La paroi des bactéries acido-alcool-résistantes</i>	40
<i>Les couches de surface cristallines</i>	40
<i>En conclusion</i>	42
La capsule	42
Les flagelles	43
Les pilis	47
Les polysomes	48
Le nucléoïde	51
Les granules de stockage et autres inclusions	53
Variations autour du modèle d'organisation	54

III ASSEMBLAGES ET POLYMÉRISATIONS : L'INTÉRIEUR DE LA BACTÉRIE	57
Introduction	57
Vue d'ensemble du métabolisme	57
L'assemblage	59
<i>L'assemblage du nucléoïde</i>	61
<i>L'assemblage des polysomes</i>	61
<i>La maturation des ARNr</i>	62
<i>L'assemblage des sous-unités ribosomiques</i>	62
<i>L'assemblage du cytosol</i>	66
Les polymérisations : introduction	68
La polymérisation de l'ADN	70
<i>La réplication de l'ADN se déroule à une vitesse et avec une précision remarquables</i>	70
<i>L'appareil réplicatif</i>	72
<i>L'appareil d'initiation</i>	73
<i>La terminaison</i>	75
<i>La vitesse de réplication</i>	75
<i>Conditions requises pour la production de l'ADN de 1 g de cellules</i>	76
La polymérisation des protéines	77
<i>L'appareil de transcription</i>	77
<i>Les signaux d'initiation</i>	79
<i>Les signaux de terminaison</i>	80
<i>La traduction</i>	80
<i>La correction d'épreuve</i>	85
<i>La vitesse de la synthèse protéique</i>	86
<i>Conditions requises pour la production des protéines de 1 g de cellules</i>	86
La polymérisation des ARN stables	88
<i>La vitesse de synthèse des ARN stables</i>	88
<i>Conditions requises pour la production des ARN stables de 1g de cellules</i>	89
La polymérisation du glycogène	89
IV ASSEMBLAGES ET POLYMÉRISATIONS : L'ENVELOPPE BACTÉRIENNE	93
Introduction	93
La membrane cellulaire	93
<i>L'insertion des lipides</i>	93
<i>L'assemblage des protéines dans la membrane cellulaire</i>	96
<i>La croissance de la membrane cellulaire</i>	101
Le périplasme	103
La paroi	104
La membrane externe	110
Les flagelles	114
Les pilis	117
La capsule	117
Les besoins énergétiques des polymérisations	119
V BIOSYNTHÈSES ET APPROVISIONNEMENTS	122
Introduction	122
Les biosynthèses	122
Les voies de biosynthèse	123

Conditions requises pour les biosynthèses	126
L'assimilation de l'azote et du soufre	130
L'assimilation du phosphore	133
La diversité nutritionnelle	134
La croissance dans les milieux riches	134
Les réactions d'approvisionnement	135
Les voies d'approvisionnement	136
La génération des métabolites précurseurs	138
La génération de l'ATP	139
La génération de l'ATP au cours de la croissance aérobie	144
La génération de l'ATP au cours de la croissance anaérobie	147
La respiration anaérobie	148
La fermentation	148
Les réactions d'approvisionnement des phototrophes	152
VI LA RECHERCHE DE LA NOURRITURE	159
Introduction	159
Le transport	159
Les différents types de transport	160
Le transport actif secondaire	161
Les systèmes de transport sensibles aux chocs osmotiques	163
La translocation de groupe	164
L'absorption de substrats spécifiques	166
Motilité et tactismes	167
Mécanique de la motilité obtenue par des flagelles	168
Le chimiotactisme, résultat d'une marche aléatoire biaisée	170
Nature et fonction des capteurs et des transducteurs du signal	171
Les autres moyens de locomotion	174
Chimiotactisme et motilité par glissades	177
VII LA CROISSANCE DES CELLULES ET DES POPULATIONS	181
Introduction	181
La croissance non limitée	181
La croissance balancée	183
La mesure de la croissance	184
La croissance des cultures	187
Le rendement de la croissance	189
L'effet de la concentration des nutriments sur le taux de croissance	191
La croissance continue	192
L'énergie de maintenance	197
La croissance balancée en pratique	198
Mesures biochimiques et radiochimiques liées à la croissance	199
Le choix du marqueur	199
Le marquage continu à l'état stable	200
Le marquage bref par impulsion	202
Cinétique de marquage des ARN messagers	203
VIII LES EFFETS DE LA TEMPÉRATURE, DE LA PRESSION ET DU pH	209
Introduction	209

Effet de la température sur la croissance bactérienne	209
<i>Effet de la température sur la composition de la cellule et sa physiologie</i>	214
<i>Les facteurs déterminant la limite supérieure de la température de croissance</i> ...	215
<i>La perte de fonction à basse température</i>	216
Effets létaux de la température	219
<i>Les bactéries qui font de la glace</i>	221
<i>Le choc cryologique</i>	221
Effet de la pression osmotique sur la croissance	222
<i>L'ajustement de l'osmolarité interne de la cellule</i>	222
<i>Effet de la haute osmolarité sur les fonctions cellulaires</i>	223
<i>Une exception : les mycoplasmes</i>	224
Effet de la pression hydrostatique sur la croissance	224
Effet du pH sur la croissance	225
IX L'ADAPTATION GÉNÉTIQUE : LE GÉNOME ET SA PLASTICITÉ	228
Introduction	228
Le génome bactérien	229
<i>Caractéristiques générales</i>	229
<i>La disposition des gènes sur le chromosome</i>	230
Les plasmides : des éléments génétiques accessoires	236
<i>Définition et détection</i>	236
<i>Les plasmides conjugatifs et la mobilisation de l'ADN</i>	237
<i>Variété et classification</i>	238
<i>Les fonctions codées par les plasmides</i>	239
Les mutations	241
<i>Les délétions</i>	241
<i>Les duplications</i>	242
<i>Les inversions</i>	245
<i>Les translocations (ou insertions)</i>	245
<i>Les microlésions</i>	245
La mutagenèse	246
Les éléments génétiques transposables	248
X L'ADAPTATION GÉNÉTIQUE : LES ÉCHANGES GÉNÉTIQUES ET LA RECOMBINAISON	255
Introduction	255
Les échanges génétiques	255
<i>La transformation</i>	256
<i>La transduction</i>	260
<i>La conjugaison et les plasmides F</i>	264
<i>La conjugaison chez les bactéries à Gram positif</i>	268
Le devenir de l'exogénote	270
La recombinaison	272
<i>La recombinaison homologue</i>	273
<i>La recombinaison spécifique d'un site</i>	276
<i>La recombinaison illégitime</i>	277
XI LA COORDINATION DES RÉACTIONS MÉTABOLIQUES	280
Introduction	280

Il existe une coordination de voies métaboliques indépendantes	280
Il existe deux modes de régulation d'une enzyme : sur son activité ou sur sa quantité	282
La régulation de l'activité enzymatique	283
<i>Les interactions allostériques</i>	284
<i>Le contrôle des voies de biosynthèse par rétroinhibition</i>	285
<i>Le contrôle des réactions d'approvisionnement</i>	287
<i>La modification covalente de certaines enzymes</i>	292
XII LA RÉGULATION DE L'EXPRESSION DES GÈNES : LES OPÉRONS	297
Introduction	297
Le contrôle de l'initiation de la transcription	298
<i>Les séquences promoteurs et l'activation des gènes</i>	298
<i>La régulation positive</i>	300
<i>La régulation négative</i>	301
<i>L'autorégulation</i>	302
Le contrôle de la terminaison de la transcription	302
Le contrôle de la traduction	304
Évolution des divers mécanismes de contrôle	304
L'opéron lac	307
<i>Le contexte</i>	307
<i>L'analyse génétique</i>	308
<i>La purification du répresseur lac</i>	311
<i>L'analyse de la région de l'opérateur par séquençage de l'ADN</i>	311
<i>lac constitue un paradigme</i>	314
L'opéron trp	315
<i>Le contexte</i>	315
<i>La répression par le tryptophane</i>	315
<i>L'atténuation dans l'opéron trp</i>	317
<i>Les constituants du système de contrôle par atténuation</i>	317
<i>L'atténuation en action</i>	319
<i>Les preuves expérimentales</i>	321
<i>L'atténuation et la physiologie de la croissance</i>	321
XIII LA RÉGULATION DE L'EXPRESSION DES GÈNES : SYSTÈMES MULTIGÉNIQUES ET RÉGULATION GLOBALE	325
Introduction	325
La corégulation d'opérons séparés	325
Vue d'ensemble des réseaux de régulation multigéniques	326
Les deux principaux systèmes multigéniques	330
<i>La répression catabolique des gènes d'approvisionnement</i>	330
<i>Le contrôle de la réaction d'austérité (ou contrôle « stringent »)</i>	334
Quatre réseaux sur un même modèle	339
<i>Le réseau de l'azote</i>	339
<i>Le réseau du phosphate</i>	341
<i>L'osmorégulation et l'expression des porines</i>	343
<i>Le métabolisme aérobie</i>	345
La transduction du signal dans les systèmes multigéniques	347
Divers moyens employés pour réguler des réseaux multigéniques	351

La désignation des systèmes multigéniques : régulons, modulons et stimulons	352
Méthodes pour reconnaître les systèmes multigéniques	353
XIV LE CYCLE CELLULAIRE	359
Introduction	359
Stratégies pour l'étude du cycle cellulaire bactérien	360
<i>En suivant la croissance d'une cellule bactérienne</i>	360
<i>En étudiant le cycle cellulaire grâce à des populations non perturbées</i>	361
<i>En synchronisant la division cellulaire</i>	363
<i>En sélectionnant en fonction de l'âge : la « machine à bébés »</i>	364
La réplication de l'ADN au cours du cycle cellulaire	366
<i>Comment la réplication de l'ADN est-elle régulée ?</i>	367
<i>La réplication des minichromosomes</i>	371
La division cellulaire	372
<i>Considérations générales</i>	372
<i>Aspects morphologiques</i>	372
<i>Aspects biochimiques</i>	374
<i>Le site de la division</i>	376
<i>Le déroulement de la division dans le temps</i>	377
<i>Division cellulaire et réplication de l'ADN</i>	378
<i>Division cellulaire et réplication plasmidique</i>	380
L'équivalent bactérien de la mitose	380
<i>Les chromosomes bactériens possèdent-ils un centromère ?</i>	381
<i>Le système de partition est-il constitué par la membrane ou par la paroi ?</i>	382
<i>Le système de partition perdure-t-il tout au long du cycle cellulaire ?</i>	382
<i>L'étude des mutants</i>	383
XV LE TAUX DE CROISSANCE EN TANT QUE VARIABLE	386
Introduction	386
Effets du taux de croissance sur l'état physiologique	387
<i>Transitions entre les états d'équilibre de la croissance</i>	391
Le contrôle du taux de croissance	392
<i>La modulation de la quantité d'ADN</i>	393
<i>Les expériences de Helmstetter et Cooper</i>	393
<i>La régulation de la synthèse des ribosomes</i>	398
<i>La régulation de la synthèse des protéines ribosomiques</i>	398
<i>La régulation de la synthèse des ARN stables (ARNr et ARNt)</i>	401
<i>La modulation de la taille cellulaire</i>	403
<i>Les autres composants de la machinerie de synthèse protéique</i>	405
<i>Le contrôle passif</i>	405
XVI LA DIFFÉRENCIATION CELLULAIRE	409
Introduction	409
Exemples choisis	412
<i>Stratégies pour répondre aux problèmes nutritionnels</i>	412
<i>L'occupation d'un site par Caulobacter</i>	419
<i>La résistance aux assauts de l'environnement</i>	420
<i>Autres paradigmes de la différenciation procaryote</i>	426

XVII ÉCOLOGIE PHYSIOLOGIQUE	429
Introduction	429
Rendre plus disponibles des nutriments	430
<i>Le fer</i>	430
La compétition pour la nourriture	431
<i>L'intestin</i>	431
La compétition pour les sites de surface	432
<i>Les pilis et autres adhésines</i>	434
La propagation dans l'environnement	435
La recherche d'un habitat approprié	436
<i>Le magnétotactisme</i>	437
La lutte à mort	438
« <i>Bdellovibrio</i> »	438
<i>Les bactériocines</i>	441
La vie en bonne intelligence!	442
<i>Le rumen</i>	442
<i>La choucroute</i>	444
<i>Les infections bactériennes mixtes</i>	444
Réponses aux questions	447
Bibliographie	451
Les auteurs	462
Le traducteur	462
Index	463