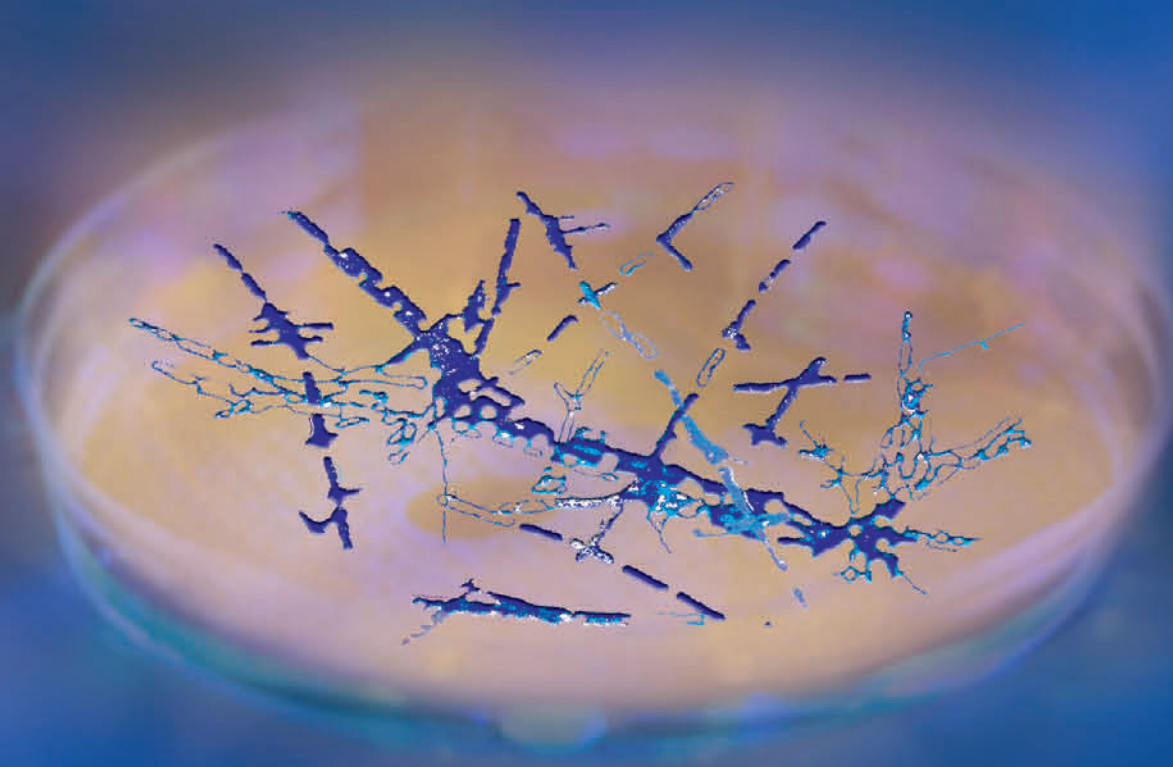
Monographies de microbiologie
collection dirigée par Jean-Paul Larpent

Bacillus anthracis

Éric Dromigny



Editions TEC & DOC
EM inter
Lavoisier

Bacillus anthracis

Collection « Monographies de microbiologie »
dirigée par Jean-Paul Larpent

Bacillus anthracis

Éric Dromigny

maître de conférences
à l'École nationale vétérinaire de Nantes

Editions TEC & DOC
11, rue Lavoisier
75008 Paris

Editions Médicales internationales
Allée de la Croix Bossée
94234 Cachan cedex

Dans la même collection

Staphyloccocus aureus
Y. Le Loir, M. Gautier, coord., 2009

Bacillus cereus
É. Dromigny, 2008

Erisyphe Necator
M.-F. Corio-Costet, 2007

Les tiques – Identification, biologie, importance médicale et vétérinaire
C. Pérez-Eid, 2007

Les écosystèmes digestifs
G. Fonty, F. Chaucheyras-Durand, 2007

Campylobacter
É. Dromigny, 2007

Legionella
S. Jarraud, J. Freney, 2006

Candida pathogènes
D. Chabasse, R. Robert, A. Marot, M. Pihet, 2006

Escherichia coli O157 : H7
C. Vernozy-Rozand, M.-P. Montet, 2e édition, 2005

Listeria
J.-P. Larpent, 3e édition, 2004

Chlamydia
D. Corsaro, A. Le Fraou, 2002

Entérobactéries – Systématiques et méthodes de diagnostic
B. Joly, A. Reynaud, 2002

© LAVOISIER, 2009
ISBN : 978-2-7430-1194-9
ISSN : 1625-9319

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des-Grands-Augustins – 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code pénal art. 425).

Avant-propos

Bacillus anthracis est l'agent bactérien du charbon, une maladie humaine et animale, qui est aussi dénommée « *anthrax* » en anglais.

Bacillus anthracis est une bactérie de tout premier plan, quel que soit le domaine auquel on s'intéresse.

Sur le plan historique, le charbon est une maladie qui fait partie intégrante de l'histoire de l'humanité.

Le charbon a très certainement vu le jour avec les grandes civilisations agricoles, en Mésopotamie et en Égypte, il y a de cela environ 7 000 ans (Davis *et al*., 2004).

Cette conjecture semblerait confirmée par la Bible elle-même, quand il s'agit de décrire certaines des plaies qui ont frappé l'Égypte, bien avant l'ère chrétienne.

Pour de nombreux auteurs, cette maladie, ce « fléau » d'origine divine, est à n'en pas douter du charbon.

Les preuves ne semblent pas manquer dans l'Exode, ni du point de vue de la description des symptômes, ni du point de vue épidémiologique, car on y trouve décrite une maladie très grave, touchant l'homme et de nombreux animaux, véritable zoonose des temps anciens.

Par la suite, le charbon a gardé un certain caractère divin aux yeux des hommes, puisque c'est une maladie qui est souvent décrite comme un « feu sacré » (*sacer ignis* en latin).

Les symptômes et le contact avec des animaux malades en sont connus, puisque les bergers, qui contractent souvent le charbon cutané, l'appellent « pustules » (*quam pustulam vocant pastores*, en latin) (Eitel, 2003).

Au XVIIe siècle, en France et en Europe, le charbon a partagé avec la peste bovine le premier rang des maladies épizootiques (Morens, 2003).

Le XIXe siècle, et le début du XXe siècle, ont été marqués par le charbon humain, sous la forme de la maladie des trieurs de laines (ou « *woolsorter's disease* »).

Ces faits historiques marquants ont conféré au charbon l'image d'une grande maladie historique.

Par une sorte de logique molle, ou d'amnésie rétrograde, on a même tendance à considérer que *Bacillus anthracis* appartient au passé (« maladie du passé, maladie dépassée »), ce qui n'est bien sûr qu'une illusion.

Bien au contraire, *Bacillus anthracis* fait, encore et toujours, partie de notre actualité, avec, en 2001, un exemple de dissémination volontaire de ce que l'on appelle souvent par une sorte de métonymie, le charbon, ou encore, à l'américaine, « l'anthrax » en référence à la seule bactérie.

Il reste donc à rappeler dans cet ouvrage la place occupée par le charbon dans l'histoire moderne.

Sur le plan scientifique, *Bacillus anthracis* est la première bactérie pour l'homme et l'animal dont on a démontré le pouvoir pathogène, et ceci non seulement avec une grande clairvoyance, mais encore avec une très grande rigueur.

En effet, la microbiologie expérimentale a vu le jour lorsque Koch a établi ce que l'on appelle depuis ses « postulats », permettant de démontrer, de façon scientifique, que l'agent du charbon de l'homme et de l'animal était bien cette « bactéridie charbonneuse » déjà décrite par Davaine, et d'autres encore, qui était présente en grande quantité dans le sang des animaux charbonneux.

Toutefois, on se posait encore il y a peu des questions au sujet des mécanismes de la maladie.

Ces questions concernaient le rôle de la toxine charbonneuse, et d'un point de vue plus général, les chercheurs se sont intéressés à la pathogénie des différentes formes du charbon chez l'homme (charbon cutané, charbon respiratoire et charbon digestif), ainsi que chez l'animal.

Sur le plan microbiologique, parmi les bactéries du genre *Bacillus*, *Bacillus anthracis* a longtemps été considéré comme un véritable chef de file.

C'est ainsi que l'on parlait, pour qualifier *Bacillus cereus*, de *Bacillus* « anthracoïde », ou « *pseudoanthrax-like* » ; il suffisait d'isoler un *Bacillus* lors d'une pathologie ressemblant au charbon pour que, sans chercher plus avant, on parle de *Bacillus anthracis* (Kramer et Gilbert, 1989).

Toutefois, *Bacillus cereus*, pour de nombreux auteurs, est devenu depuis quelques années le chef de file du « groupe *Bacillus cereus* », dont *Bacillus anthracis* ferait maintenant partie.

Il n'en reste pas moins que de nombreux chercheurs continuent à s'intéresser à cette bactérie, et notamment à sa place taxonomique, car la grande proximité de *Bacillus anthracis* et de *Bacillus cereus* est encore matière à débat à l'heure actuelle.

Sur le plan vétérinaire, la très grande mortalité observée dans les troupeaux frappés du charbon a conduit de nombreux chercheurs à développer très tôt un moyen de lutte efficace.

C'est ce qui a été fait, à la fin du XIXe siècle, avec de nombreux travaux visant la mise au point d'un vaccin contre le charbon chez l'animal.

Ainsi, le premier vaccin contre le charbon date des travaux de Pasteur et de ses collaborateurs, et de sa démonstration publique de l'efficacité de sa souche atténuée par la chaleur, en 1881, à Pouilly-le-Fort, près de Melun, sur cinquante moutons.

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

Depuis, la vaccination a certes évolué, mais elle reste le moyen de lutte le plus efficace contre cette terrible maladie animale.

L'état actuel de cette vaccination, chez l'animal, mais aussi chez l'homme, est donc une question d'actualité.

Il en va de même de l'ensemble des moyens de lutte, dont on dispose contre cette terrible maladie (police sanitaire, enfouissement des cadavres, incinération, et d'autres encore).

Sur le plan sanitaire, *Bacillus anthracis* est reconnu comme étant responsable de maladies humaines et animales d'une gravité extrême, marquées par une mortalité importante, et notamment avant la découverte de la vaccination anticharbonneuse ou des antibiotiques.

Même à l'heure actuelle où nous disposons de vaccins performants et d'antibiotiques efficaces, le pronostic du charbon n'est pas toujours favorable, en particulier chez l'homme, en cas de charbon respiratoire ou de charbon digestif, souvent diagnostiqués trop tard.

Chez l'animal, particulièrement chez les ruminants, il peut être particulièrement foudroyant, avec, par exemple, des cas de mort subite qui ont été décrits chez le bison (Dragon *et al*., 1999).

Des questions subsistent cependant : comment le traite-t-on ? Y a-t-il des souches de *Bacillus anthracis* qui sont résistantes aux antibiotiques ? Quels en sont les symptômes essentiels dans les différentes espèces animales ? Comment peut-on reconnaître une des trois formes de charbon humain, le charbon cutané, le charbon respiratoire et le charbon digestif ?

Sur le plan numérique, le charbon animal et humain est encore très présent dans certains pays d'Afrique, comme le Zimbabwe, ou en Asie, où il touche la faune sauvage, les animaux domestiques et l'homme.

Le charbon animal persiste même encore en Amérique du nord, avec des foyers chez le bison au Canada, ou chez les cerfs à queue blanche, aux États-Unis.

En France, le charbon n'est plus une préoccupation de premier plan, à cause de sa faible incidence chez les bovins (un ou deux foyers par an) et chez l'homme (aucun cas autochtone depuis 2001).

Cependant, le charbon reste bien une maladie animale récurrente en France.

La maladie étant devenue sporadique, la vaccination systématique des animaux d'élevage est abandonnée, les vétérinaires ne mettent plus la fièvre charbonneuse sur leur liste des maladies « possibles », l'identification du charbon bactéridien en est retardée, les moyens de lutte sont mis en place tardivement.

Cette interrogation a été relancée récemment par trois cas de charbon humain, dans la région de Metz, fin 2008, dont un cas observé chez un ouvrier d'abattoir, travaillant de l'autre côté de la frontière, en Allemagne.

Pour ce dernier cas, la transmission ne serait pas d'origine carnée et professionnelle, mais elle serait liée à une infection dans une ferme de Lorraine (Promedmail, 2008t).

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

On s'interrogera donc encore sur la fréquence réelle du charbon dans notre pays, et sur sa localisation géographique.

Dans les pays d'Afrique noire, on peut se demander pourquoi le charbon est tellement « incrusté », alors même que la vaccination a permis par le passé de maîtriser cette maladie, en particulier dans ce qui s'appelait à l'époque la Rhodésie, et qui est devenu depuis le Zimbabwe.

Sur le plan de l'origine de la maladie charbonneuse, on a reconnu depuis longtemps le rôle du réservoir hydrotellurique dans la transmission du charbon chez les animaux sauvages et domestiques.

Ainsi, dans de nombreux pays, dont la France, il est clair que la fièvre charbonneuse des animaux d'élevage provient souvent de véritables « champs maudits », où *Bacillus anthracis* persisterait sous la forme de spores, et ceci pendant des dizaines d'années, voire des siècles.

À côté de cette survie extraordinaire dans le milieu extérieur, sous la forme sporale, on s'interroge toutefois sur la possibilité qu'aurait cette bactérie de se multiplier dans le sol, à l'occasion de véritables cycles bacillaires « saprophytiques », en dehors même de l'organisme d'un animal malade.

Les échanges de plasmides avec les autres bactéries du groupe *Bacillus cereus sensu lato* deviendraient alors peut-être possibles.

Ces échanges pourraient concerner les plasmides de virulence, qui interviennent dans la maladie du charbon.

Mise à part l'origine tellurique de *Bacillus anthracis*, une autre origine de la maladie charbonneuse chez l'animal est représentée par les farines de viandes et d'os, utilisées dans l'alimentation animale. L'identification de leur rôle date des années 1950 à 1960.

On peut alors se demander si les pratiques d'équarrissage fautives qui ont conduit à la crise dite de « la vache folle » (ou encéphalopathie spongiforme bovine), n'ont pas favorisé l'émergence de nouveaux foyers de charbon, en Europe ou ailleurs.

Chez l'homme, le rôle des phanères animales, la laine des moutons, le pelage des chèvres, est bien connu, avec l'identification, dès la fin du XIXe siècle, de la maladie des trieurs de laine (ou « *woolsorter's disease* », littéralement « maladie du trieur de laine »), maladie observée chez les ouvriers des usines, intervenant sur des matières premières non traitées, et porteuses de spores de *Bacillus anthracis*.

Il a semblé toutefois intéressant pour les chercheurs de se pencher sur la question des autres modes de transmission, et notamment la transmission du charbon alimentaire humain. En particulier, le charbon humain, contracté par consommation de viandes, mériterait à coup sûr d'être réévalué.

Les facteurs de cette transmission font aussi l'objet de nombreux débats scientifiques à l'heure actuelle : la sensibilité des différentes espèces animales et de l'homme, la nature des terrains où se trouvent les spores de *Bacillus anthracis*, les échanges commerciaux, l'alimentation des animaux de rente, et d'autres encore.

Sur le plan de la guerre biologique et du bioterrorisme, *Bacillus anthracis* doit être considéré, à juste titre, comme une arme redoutable, capable d'atteindre l'homme et l'animal.

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

La constitution de stocks militaires de spores de *Bacillus anthracis* par certains pays, la dissémination volontaire ou accidentelle de ces spores, des essais de « bombes à charbon », l'enfouissement de ces stocks dans le sol, la dissémination volontaire de spores de *Bacillus anthracis* dans des enveloppes de courrier, des menaces de bioterrorisme, les exemples d'utilisation de *Bacillus anthracis* comme arme biologique ne manquent pas.

Il reste à préciser l'ampleur de cette utilisation, ses conséquences actuelles sur le risque de transmission du charbon à l'homme et à l'animal.

Un épisode récent de dissémination accidentelle et limitée de *Bacillus anthracis* dans un laboratoire français a encore souligné l'actualité de cette bactérie en tant que souche de laboratoire.

En effet, on continue à entretenir des souches de *Bacillus anthracis* dans différents laboratoires dans le monde, et notamment en France.

Cela veut dire qu'une erreur de manipulation est toujours possible, et que cela peut conduire à la contamination des personnes par la bactéridie charbonneuse (Promed-mail, 2009a ; Promed-mail, 2009b).

Enfin, sur le plan du contrôle du charbon animal et humain, on peut s'interroger sur la nature et l'efficacité du dispositif réglementaire français, européen et international, qui vise directement ou indirectement *Bacillus anthracis*, et notamment en ce qui concerne l'équarrissage ou les pratiques d'enfouissement des cadavres.

Cette question est d'autant plus importante que l'ensemble du dispositif réglementaire concernant les sous-produits animaux a été rénové, avec principalement le règlement n° 1774/2002, dont beaucoup de dispositions concernent, directement ou indirectement, la prévention du charbon animal.

Ce contrôle repose aussi sur des mesures en cas de foyer humain ou animal, ainsi que des moyens de recherche et d'identification au laboratoire, qui vont de la simple gélose aux méthodes les plus modernes de la biologie moléculaire.

Ces nombreuses et importantes questions font de *Bacillus anthracis* un sujet d'actualité, qui méritait qu'on lui consacre une monographie complète.

C'est ce qui a été fait avec ce livre, autour d'un plan progressif et complet, en reprenant certains des éléments constitutifs du livre « *Bacillus cereus* », publié en 2008 dans la même collection, et dans lequel *Bacillus anthracis* était cité fréquemment, en raison de la grande proximité de ces deux bactéries.

Ont été reprises aussi certaines parties du cours sur les zoonoses alimentaires, que je dispensais aux étudiants de l'École nationale vétérinaire de Nantes, et notamment à ceux de la première promotion, il y a bientôt 30 ans.

Le charbon bactéridien avait une place importante dans ce cours, en tant que maladie alimentaire *sensu lato*, autant par ingestion de viandes charbonneuses, que par manipulation de sous-produits animaux.

Ce noyau d'information a été étoffé, et, bien sûr, actualisé, grâce aux données scientifiques les plus récentes, sans oublier pour autant les publications des pionniers du genre, qui datent, pour certaines, de la fin du XIXe siècle, ou du début du XXe.

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

Cette monographie est consacrée à *Bacillus anthracis* en tant tel, mais les autres bactéries du groupe *Bacillus cereus* (*sensu lato*, selon l'expression en anglais) seront aussi évoquées, pour leur proximité taxonomique avec *Bacillus anthracis*, et notamment *Bacillus cereus*, voisin très proche de *Bacillus anthracis*.

Son plan permet de balayer l'ensemble des connaissances actuelles concernant la taxonomie, la morphologie, la physiologie, le pouvoir pathogène, l'épidémiologie et le contrôle de *Bacillus anthracis*.

Son index a été élaboré de façon à permettre de trouver l'ensemble des informations sur les sujets qui intéressent les différentes professions concernées par le charbon, et notamment la profession vétérinaire, qui reste un des maillons essentiels de la lutte contre cette zoonose grave dans notre pays.

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

Table des matières

Avant-propos V

Chapitre 1

Taxonomie de *Bacillus anthracis*

1. Nomenclature des rangs taxonomiques 1
   1.1. Le domaine des Eubactéries 1
   1.2. *Phylum* des Firmicutes 2
   1.3. La classe des *Bacilli* 2
   1.4. L'ordre des Bacillales 3
   1.5. La famille des *Bacillaceae* 3
   1.6. Le genre *Bacillus* 5
   1.7. Le « groupe *Bacillus cereus* ». 7
      1.7.1. Les taxons du « groupe *Bacillus cereus* » 7
      1.7.2. Argumentation à propos du « groupe *Bacillus cereus* » 8
2. Classification des *Bacillus* 11
   2.1. Classification phénétique 12
      2.1.1. Classification morphologique. 12
      2.1.2. Classification physiologique. 13
      2.1.3 Classification sérotypique (*B. cereus*) 14
   2.2. Classification phylogénétique 16
      2.2.1. Acides nucléiques, phylogénie et « *clusters* » 16
      2.2.2. Clades, lignées et complexes clonaux 18
      2.2.3. Protéomique, corrélations phylogénétiques et *« clusters »* 19
      2.2.4. Rapport évolutionnaire. 21

Chapitre 2

Morphologie et structure cellulaire de *Bacillus anthracis*

1. La cellule végétative 25
   1.1. Forme et dimensions cellulaires 25

1.2. Composants de la cellule . . . 25
1.2.1. La capsule . . . 25
1.2.2. La *« S-layer »* ou couche « S » . . . 28
1.2.3. La paroi cellulaire . . . 30
1.3. Le génome de *Bacillus anthracis* . . . 33
1.3.1. Caractères généraux du génome . . . 33
1.3.2. Différences de contenus génomiques . . . 35
1.3.3. Génomique des plasmides . . . 36
1.3.4. Bactériophages . . . 39
1.3.5. Génomique de la capsule . . . 40
1.3.6. Génomique du flagelle . . . 41
2. La forme sporale . . . 42
2.1. Morphologie sporale . . . 42
2.2. Composants de la spore . . . 43
2.2.1. Architecture de la spore . . . 43
2.2.2. Structure des spores de *B. anthracis* . . . 44
2.2.3. L'*exosporium* de la spore . . . 45
2.2.4. La tunique de la spore . . . 49

Chapitre 3

Physiologie de *Bacillus anthracis*

Introduction . . . 51
1. Physiologie de la cellule végétative . . . 52
1.1. Croissance de *Bacillus anthracis* . . . 52
1.1.1. Cinétique de croissance de *Bacillus anthracis* . . . 52
1.1.2. Phases de croissance de *Bacillus anthracis* . . . 52
1.1.3. Facteurs du développement de *Bacillus anthracis* . . . 54
1.1.4. Utilisation du glucose . . . 56
1.1.5. Influence de la souche . . . 57
1.1.6. Croissance anaérobie de *B. anthracis* . . . 58
1.1.7. Utilisation des acides aminés . . . 58
1.2. Adaptation de *B. anthracis* aux stress sub-létaux . . . 59
1.2.1. Réponse aux stress . . . 59
1.2.2. Régulation de la réponse au stress . . . 61
1.3. Résistance de la forme végétative de *B. anthracis* . . . 64
1.3.1. Résistance dans les substrats biologiques . . . 64
1.3.2. Résistance sur milieu de culture . . . 65
1.3.3. Résistance à la chaleur . . . 66
1.3.4. Résistance à la dessiccation . . . 66
2. Physiologie de la spore de *B. anthracis* . . . 67
2.1. Sporulation . . . 67
2.1.1. Formation de la spore *(B. cereus)* . . . 67
2.1.2. Cinétique de la sporulation . . . 68
2.1.3. Facteurs cardinaux . . . 69
2.1.4. Sporulation et oxygène, un débat moderne . . . 69
2.1.5. Sporulation et température . . . 71
2.1.6. Sporulation et pH . . . 71

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

2.2. Interactions sporales avec le milieu extérieur 72
2.3. Survie sporale et résistance de la spore à divers agents 73
2.3.1. Résistance des spores dans les milieux de culture 73
2.3.2. Résistance dans les substrats biologiques 73
2.3.3. Thermorésistance des spores 74
2.3.4. Résistance à la dessiccation 82
2.4. Germination 82
2.4.1. Étapes de la germination *(Bacillus cereus)* 82
2.4.2. Mécanismes de la germination 82
2.4.3. Activation par des germinants 82
2.4.4. Calcium et germination 84
2.4.5. Température et germination sporale 84
2.4.6. Activité lytique 84
2.4.7. Génomique de la sporulation 85

Chapitre 4

Le charbon humain et animal

Introduction 87
1. Le charbon, tableaux cliniques et lésions 88
1.1. Le charbon humain 88
1.1.1. Le charbon cutané humain 88
1.1.2. Le charbon respiratoire humain 92
1.1.3. Atteintes digestives humaines par *B. anthracis* 95
1.1.4. Le charbon généralisé humain 96
1.1.5. La méningite charbonneuse humaine 97
1.1.6. Les complications du charbon chez l'homme 97
1.2. Le charbon animal 98
1.2.1. Caractères généraux du charbon animal 98
1.2.2. Incubation chez l'animal 102
1.2.3. Les foyers de charbon des animaux domestiques 103
1.2.4. Le charbon des ruminants 103
1.2.5. Le charbon du porc 106
1.2.6. Le charbon du cheval 108
1.2.7. Le charbon des carnivores domestiques 108
1.2.8. Le charbon des oiseaux 110
1.2.9. Le charbon de la faune sauvage 111
1.2.10. Pouvoir pathogène expérimental 116
2. Pathogénie du charbon 118
2.1. Historique de la pathogénie du charbon 118
2.1.1. Premières découvertes 118
2.1.2. Travaux décisifs 119
2.1.3. Les postulats de Koch 120
2.2. Mécanismes de l'infection charbonneuse 120
2.2.1. Mécanismes généraux de l'infection charbonneuse 120
2.2.2. Mécanismes de l'infection cutanée humaine 120

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

2.2.3. Mécanismes de l'infection pulmonaire humaine 121
2.2.4. Mécanismes de l'infection digestive. 123
2.3. Pathogénie des toxines charbonneuses et de la capsule 124
2.3.1. Nature des toxines charbonneuses 125
2.3.2. Structure des toxines charbonneuses 126
2.3.3. Nature de la capsule de *B. anthracis* 127
2.3.4. Mode d'action des toxines charbonneuses et de la capsule 128
2.3.5. Génomique du pouvoir pathogène 135
2.4. Réponses de l'hôte au cours du charbon 139
2.4.1. Initiation de l'inflammation 139
2.4.2. Inhibition de l'inflammation 140
2.4.3. Phagocytose 142
2.5. Interactions spore-hôte 143
2.5.1. Rôle de la spore dans la virulence de *B. anthracis* 143
2.5.2. Voies d'activation de la sporulation 143
2.5.3. Rôle de BclA. 144
2.6. Facteurs de virulence secondaires ou mal connus 144
2.6.1. Facteurs d'adhésion et hydrophobicité 144
2.6.2. Protéines de *S-layer* ou couche « S » 145
2.6.3. Sidérophores 146
2.6.4. Phospholipases C 146
3. Traitement et prophylaxie médicale du charbon. 146
3.1. Traitement du charbon humain 146
3.1.1. Pronostic général 146
3.1.2. Traitement du charbon humain. 146
3.2. Traitement du charbon animal 150
3.2.1. Traitement symptomatique 150
3.2.2. Procédure recommandée 150
3.2.3. Sérothérapie 150
3.2.4. Interférons. 151
3.2.5. Contrôle biologique 151
3.2.6. Traitement interdit 151
3.3. Vaccination contre le charbon. 151

Chapitre 5

Épidémiologie du charbon dû à *Bacillus anthracis*

1. Épidémiologie descriptive. 154
1.1. Historique du charbon animal et humain 154
1.1.1. Avant l'ère chrétienne. 154
1.1.2. Début de l'ère chrétienne 155
1.1.3. Le charbon aux XVIIe et XVIIIe siècles. 155
1.1.4. Le charbon au XIXe siècle. 157
1.1.5. Le charbon au début du XXe siècle. 158
1.1.6. Le charbon dans la deuxième moitié du XXe siècle 163
1.2. Répartition géographique 165
1.2.1. Formes épidémiologiques, définitions 165

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

1.2.2. Répartition mondiale 166
1.2.3. Statut de l'Afrique. 167
1.2.4. Statut de la France 168
1.2.5. Souches épidémiques 169
1.3. Différentes situations épidémiologiques 170
1.3.1. Situations hyperendémiques. 170
1.3.2. Situations endémiques et à endémicité variable. 173
1.3.3. Régions à charbon faiblement endémique ou enzootique 177
1.3.4. Régions à charbon sporadique 179
1.3.5. Régions « indemnes ». 186
1.3.6. Régions mal définies 187
1.4. Le charbon alimentaire, une forme fréquente chez l'homme. 188
1.4.1. Définition du charbon alimentaire humain 188
1.4.2. Le charbon humain par ingestion d'aliments 189
1.4.3. Charbon d'abattage. 198
1.4.4. Charbon par manipulation de viandes 199
2. Épidémiologie analytique 201
2.1. Les réservoirs de *Bacillus anthracis*. 201
2.1.1. Généralités sur les réservoirs 201
2.1.2. Le réservoir hydrotellurique. 201
2.1.3. Le réservoir animal de *Bacillus anthracis*. 214
2.1.4. Le réservoir humain de *Bacillus anthracis* 215
2.1.5. La circulation des *Bacillus* entre les réservoirs 216
2.2. Modes de transmission chez l'animal 219
2.2.1. Charbon animal d'origine alimentaire. 219
2.2.2. Transmission horizontale du charbon animal 224
2.2.3. Transmission directe d'animal à animal 228
2.3. Modes de transmission chez l'homme 229
2.3.1. Historique de la transmission du charbon chez l'homme. 229
2.3.2. Panorama des modes de transmissions du charbon chez l'homme 229
2.3.3. Métiers à risque au contact des animaux producteurs 230
2.3.4. Charbon d'abattage et par manipulation de viandes 230
2.3.5. Transmission du charbon par les viandes cadavériques. 231
2.3.6. Le charbon, une zoonose alimentaire par ingestion. 231
2.3.7. Transmission volontaire ou accidentelle du charbon humain ou animal. . . 240
2.3.8. Les modes mineurs de transmission du charbon à l'homme 243
3. Épidémiologie synthétique et facteurs d'apparition du charbon. 246
3.1. Sensibilité de l'homme et de l'animal au charbon 246
3.1.1. Sensibilité de l'homme au charbon 246
3.1.2. Espèces animales sensibles au charbon 248
3.1.3. Espèces animales peu sensibles au charbon. 257
3.1.4. La théorie du stress chez l'animal 261
3.2. La vaccination, un facteur essentiel 263
3.3. Conditions climatiques et charbon 264
3.3.1. Observations générales. 264
3.3.2. Été et charbon animal en France 264
3.3.3. Rôle des conditions climatiques 265

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

3.4. Pratiques alimentaires à risque 267
3.4.1. Abattage d'animaux malades hors abattoir 267
3.4.2. Consommation de viandes cadavériques 269
3.5. Facteurs géologiques 270
3.5.1. Terrains favorables et défavorables au charbon (observations) 270
3.5.2. Explications possibles du rôle des terrains 274
3.6. Facteurs météorologiques 276
3.6.1. Influence de la température ambiante 276
3.6.2. Le vent, facteur de dispersion et de dilution 276
3.6.3. Le cœfficient d'inactivation dans les aérosols 277
3.6.4. Réchauffement de la planète et charbon 277
3.7. Activités humaines 278
3.7.1. Panorama des activités humaines favorisant le charbon 278
3.7.2. Échanges commerciaux et importations 279
3.7.3. Activités industrielles 279
3.7.4. Déplacements de bétail 279
3.8. Facteurs humains 280
3.8.1. Désaffection des éleveurs 280
3.8.2. Voyages et déplacements 281
3.8.3. Guerres, bouleversements et catastrophes naturelles 281
3.8.4. Traditions et charbon humain 283
3.9. Alimentation animale et équarissage 283
3.9.1. Rôle des poudres de viandes et d'os 283
3.9.2. Résistance de *Bacillus anthracis* aux traitements de l'équarrissage 285
3.9.3. Encéphalopathie spongiforme bovine, équarissage et charbon 287
3.10. Facteurs écologiques 288
3.11. Facteurs microbiens 289
3.11.1. Théorie de l'adaptation au froid 289
3.11.2. Facteurs plasmidiques 289
3.11.3. Microflore antagoniste 292
4. Épidémiologie prospective 293
4.1. Le charbon, une maladie qui se raréfierait 293
4.2. Le charbon, une maladie intermittente 294
4.2.1. Intermittence du charbon animal 294
4.2.2. Exemple du charbon du bison au Canada 294
4.3. Le charbon, une maladie qui persistera 296

Chapitre 6

Le contrôle de *Bacillus anthracis*

1. *Bacillus anthracis*, charbon, pouvoirs publics et réglementation 299
1.1. Dispositif réglementaire 299
1.1.1. Textes européens 299
1.1.2. Textes français 305
1.1.3. Textes de l'OIE (Office international des épizooties) 310
1.1.4. Textes d'information 310

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

1.2. Dispositions réglementaires 311
1.2.1. Dispositions relatives au charbon humain 311
1.2.2. Dispositions relatives au charbon animal. 313
1.2.3. Dispositions relatives au charbon « zoonose ». 317
1.2.4. Dispositions relatives aux viandes charbonneuses. 318
1.2.5. Dispositions relatives à l'hygiène en alimentation animale 321
1.2.6. Dispositions relatives aux sous-produits et règlement 1774/2002 321
2. Mise en place des mesures de contrôle des foyers de charbon. 336
2.1. Panorama des mesures de contrôle 336
2.1.1. Mesures offensives 336
2.1.2. Mesures défensives. 337
2.2. Vaccination contre le charbon. 338
2.2.1. Généralités sur la vaccination 338
2.2.2. Historique de la vaccination. 338
2.2.3. Vaccins humains actuels. 340
2.2.4. Vaccins humains de deuxième génération 345
2.2.5. Vaccination chez l'animal. 348
2.3. Inspection et recherche des viandes charbonneuses. 350
2.3.1. Inspection des viandes en général 350
2.3.2. Inspection des viandes du porc. 351
2.4. Élimination des cadavres et des viandes. 354
2.4.1. Enfouissement des cadavres. 354
2.4.2. Incinération des cadavres 362
2.4.3. Destruction des cadavres et des viandes à l'équarrissage 365
2.5. Destruction de *Bacillus anthracis* dans les locaux et l'environnement 370
2.5.1. Sensibilité de *Bacillus anthracis* aux désinfectants. 370
2.5.2. Désinfectants et fumigations 371
2.5.3. Destruction de *Bacillus anthracis* dans les locaux 371
2.5.4. Désinfection du matériel 372
2.5.5. Destruction de *Bacillus anthracis* dans l'environnement 373
2.5.6. Exemple d'un arrêté préfectoral. 374
2.6. Destruction de *Bacillus anthracis* dans les aliments 374
2.6.1. *B. anthracis* et pasteurisation du lait et des produits laitiers 374
2.6.2. Ionisation 374
2.6.3. Hautes pressions 375
2.6.4. Traitements combinés. 375
2.6.5. Élimination naturelle de *Bacillus anthracis* 376
2.6.6. Modélisation du risque de charbon alimentaire. 376
2.7. Mesures adaptées à la dissémination volontaire et au bioterrorisme 376
2.7.1. Ensemble des méthodes adaptées à la dissémination volontaire et au bioterrorisme 376
2.7.2. Plans d'urgence en France 376
2.7.3. Destruction des stocks de spores de *Bacillus anthracis* 377
2.7.4. Destruction de *B. anthracis* dans les sols artificiellement contaminés 377
2.7.5. Destruction de *B. anthracis* dans les locaux artificiellement contaminés 380
2.7.6. Conventions 380

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

3. Méthodes de détection de *Bacillus anthracis* 380
3.1. Géloses d'isolement 380
3.1.1. Géloses au sang 380
3.1.2. Milieux spécifiques de *Bacillus anthracis* 381
3.1.3. Milieux communs avec *Bacillus cereus* 383
3.1.4. Milieux spécifiques de *Bacillus cereus* 389
3.2. Procédures de recherche de *Bacillus anthracis* 390
3.2.1. Présentation générale des méthodes de recherche de *Bacillus anthracis* . . 390
3.2.2. Recherche chez l'animal 391
3.2.3. Mise en culture au laboratoire médical 393
3.2.4. Procédures en cas de suspiscion de dissémination volontaire 393
3.2.5. Méthodes de recherche dans les locaux 394
3.2.6. Méthodes moléculaires de recherche 394
3.3. Les laboratoires de référence 395
4. Méthodes d'identification de *Bacillus anthracis* 395
4.1. Diagnostic médical d'orientation 395
4.1.1. Diagnostic médical d'orientation chez l'animal 395
4.1.2. Diagnostic médical d'orientation chez l'homme 396
4.1.3. Tests d'orientation chez l'homme 398
4.2. Diagnostic de genre 399
4.3. Techniques d'identification 400
4.3.1. Aspect des cultures 400
4.3.2. Identification au microscope 401
4.3.3. Biotypage 403
4.3.4. Sérotypie 404
4.3.5. Lysotypie 405
4.3.6. Antibiorésistance 406
4.3.7. Méthodes moléculaires 406
4.3.8. Immuno-tests 409
4.4. Panorama des caractères d'identification de *Bacillus* spp. 411
4.5. Caractères spécifiques des *Bacillus* 411
4.5.1. *Bacillus anthracis* 411
4.5.2. Souches atypiques de *Bacillus anthracis* 415
4.5.3. *Bacillus cereus* 415
4.5.4. *B. thuringiensis* 416
4.5.5. *Bacillus mycoides* et *Bacillus pseudomycoides* 416
4.5.6. *B. weihenstephanensis* 416
4.5.7. *B. pumilus* 417
4.5.8. *Bacillus licheniformis* 417
4.5.9. Souches probiotiques 417

Conclusion 419

Bibliographie 423

Index 461

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

Monographies de microbiologie
collection dirigée par Jean-Paul Larpent

Bacillus anthracis

Bacillus anthracis est une bactérie de premier plan. Depuis les travaux de Koch, elle a été reconnue comme étant responsable du charbon bactéridien (ou fièvre charbonneuse ou *anthrax* en anglais), maladie humaine et animale d'une gravité extrême pouvant entraîner une mortalité importante au sein des troupeaux.

Le charbon reste très présent dans certains pays d'Afrique, d'Asie et de l'ex-URSS où il touche la faune sauvage, les animaux domestiques et l'homme. Il arrive même qu'il se retrouve en France chez certains troupeaux bovins et, plus rarement, chez l'homme.

Malgré la médiatisation que lui ont valu des actes récents de dissémination volontaire, *Bacillus anthracis* est un micro-organisme qui sait se faire oublier. Les mesures de prévention ont tendance à être négligées, en particulier en ce qui concerne les cheptels de ruminants, ce qui conduit à une véritable résurgence de la maladie, y compris en France.

De façon à regrouper les caractéristiques essentielles de *Bacillus anthracis* et du charbon, cet ouvrage se présente comme une synthèse balayant la totalité du sujet : systématique, morphologie, physiologie, pouvoir pathogène, épidémiologie, et contrôle.

Lorsque cela s'avère nécessaire , cette monographie évoque également *Bacillus cereus* et d'autres *Bacillus* du groupe « *Bacillus cereus sensu lato* » comme *Bacillus thuringiensis*.

Doté d'un plan progressif et pourvu de nombreux tableaux et figures, cet ouvrage s'appuie sur une sélection riche de plus de 800 articles scientifiques, dont le plus ancien remonte à 1877 et aux travaux de Pasteur. Il s'adresse aux microbiologistes comme aux médecins et vétérinaires avides de mieux connaître cette bactérie ainsi qu'aux enseignants et étudiants dans ces domaines.

Éric Dromigny est docteur vétérinaire et maître de conférences (HDR) à l'École nationale vétérinaire de Nantes. Il enseigne en particulier l'hygiène et l'industrie des denrées alimentaires d'origine animale, le droit alimentaire français et européen et les toxi-infections alimentaires. Il est également l'auteur de *Campylobacter* et de *Bacillus cereus* dans la même collection.

978-2-7430-1194-9
9 782743 011949