

THESE

PRESENTEE A

L'UNIVERSITE BORDEAUX I

ECOLE DOCTORALE DE BIOLOGIE

Par Monsieur **Emmanuel CLEUVENOT**

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

SPECIALITE : ANTHROPOLOGIE

COURBURES SAGITTALES DE LA COLONNE VERTEBRALE
DETERMINEES PAR LA MORPHOLOGIE DES VERTEBRES.
DEVELOPPEMENT D'UNE NOUVELLE METHODOLOGIE ET
APPLICATION CHEZ *HOMO SAPIENS*.

Soutenue le 25 juin 1999

Après avis de

- Mme. María Dolores GARRALDA, Professeur, Universidad Complutense de Madrid
- M. Winfried HENKE, Professeur, Johannes Gutenberg Universität, Mainz

Devant la Commission d'examen formée de

- M. Baruch ARENSBURG, Professeur, Tel Aviv University
- M. Jaroslav BRUZEK, Directeur de Recherche, UMR 5809 CNRS, Talence
- Mme. M^a Dolores GARRALDA, Professeur, Universidad Complutense de Madrid
- M. Winfried HENKE, Professeur, Johannes Gutenberg Universität, Mainz
- M. Bernard VANDERMEERSCH, Professeur, Université Bordeaux I

RESUME

Une méthodologie originale est développée afin de reconstituer les courbures sagittales (CS) de la colonne vertébrale impliquées par la morphologie des vertèbres isolées. Le corps vertébral (CV) est défini comme un quadrilatère quelconque. Les quatre segments joignant un diamètre parasagittal d'une surface articulaire postérieure, au diamètre sagittal du CV, sont projetés dans le plan médian. L'espace intervertébral (EIV) déterminé par la morphologie de deux vertèbres adjacentes articulées, est déduit en mettant en contiguïté par le calcul leurs surfaces articulaires. Les quadrilatères représentant les CV sont empilés dans un repère cartésien afin d'étudier leur participation dans le dessin des CS. L'empilement alterné des quadrilatères représentant les CV et de ceux représentant les EIV permet d'étudier les CS impliquées par la morphologie des vertèbres. Ces profils sont décrits par les angulations calculées entre les segments dans la pile, et par une régression polynomiale qui leur est ajustée. Elle permet de calculer les localisations et valeurs des sommets, inflexions, maxima de courbure, et courbure en chaque point. Ces paramètres permettent une description statistique.

Le programme est appliqué à un échantillon subactuel. Plusieurs Néandertaliens sont comparés. Un dimorphisme sexuel net existe pour les CV. Les courbures successives sont dépendantes. La morphologie vertébrale contribue partiellement à la détermination des CS physiologiques. La variabilité rencontrée est comparable aux données physiologiques. La morphologie vertébrale n'intervient pas nécessairement dans la détermination des trois courbures. Les courbures des néandertaliens sont décrites. Les profils de Kébara et La Chapelle-aux-Saints ont une configuration nettement masculine et une lordose lombaire forte. Si les néandertaliens étudiés se situent dans la variabilité de l'échantillon actuel, des modalités particulières de la biomécanique de la charnière thoraco-lombaire sont envisageables.

SAGITTAL CURVATURES OF THE VERTEBRAL COLUMN IMPLIED BY THE MORPHOLOGY OF VERTEBRAE. DEVELOPMENT OF A NEW METHODOLOGY AND APPLICATION TO *HOMO SAPIENS*.

SUMMARY

An original methodology was developed in order to reconstruct the sagittal curvatures (SC) of the vertebral column (VC) implied by the morphology of the vertebrae. The shape of the vertebral body (VB) is defined precisely as an irregular quadrilateral. The four segments joining a parasagittal diameter of a posterior articular surface to the sagittal diameter of the vertebral body, are projected in the medial plane. The intervertebral space (IVS) determined by the morphology of two adjacent articulated vertebrae, is deduced when the two articular surfaces contiguity is mathematically restored. Quadrilaterals modelling VB can be stacked in a bivariate space in order to study the participation of these VB in the design of the SC. In the same manner, alternate stack of quadrilaterals modelling VB and of those modelling IVS allow the study of the SC implied only by vertebral morphology. Those profiles are described by the angles, in the stacks, between the segments defining vertebral levels, and by a polynomial regression fitted to the coordinates of the stack.

The methodology was programmed in Excel Macro language and applied to a sample of known sex and age. Neandertal are compared. Behaviour of angles and curvature variables are explained. A clear sexual dimorphism of VB is shown. Successive curvatures are dependent. Vertebral morphology partially contributes to the determination of physiological SC. Variability is in the same order as that of physiological data. Vertebral morphology does not necessarily determine three curvatures. Various curvatures in neandertal are accurately described. A clear male configuration of Kebara and La Chapelle-aux-Saints profiles is shown, as well as a strong lumbar lordosis. Studied neandertals are well within the sample variability, but different biomechanical patterns of the thoracolumbar level can be contemplated.

CURVATURAS SAGITALES DE LA COLUMNA VERTEBRAL IMPLICADAS POR LA MORFOLOGIA DE LAS VERTEBRAS. DESARROLLO DE UNA NUEVA METODOLOGIA Y APLICACION A *HOMO SAPIENS*.

RESUMEN

Hemos desarrollado una metodología original con el fin de reconstruir las curvaturas sagitales (CS) de la columna vertebral implicadas por la morfología de las vértebras aisladas. El cuerpo vertebral (CV) se ha definido como un cuadrilátero cualquiera. Los cuatro segmentos que unen un diámetro parasagital de una superficie articular posterior al diámetro sagital del CV, son proyectados en el plano medio. El espacio intervertebral (EIV) determinado por la morfología de dos vertebras articuladas es calculado poniendo en contigüidad sus superficies articulares. Los cuadriláteros de los cuerpos vertebrales son apilados en un sistema cartesiano para estudiar su participación en el diseño de las CS. El apilamiento alternado de los cuadriláteros que representan los CV y los EIV permite estudiar las CS implicadas por la morfología de las vértebras. Estos perfiles son descritos mediante los ángulos calculados entre segmentos, y mediante una regresión polinomial ajustada a las coordenadas de las pilas de cuadriláteros. La ecuación permite localizar y calcular los valores de los extremos, inflexiones, máximos de curvatura, y valor de la curvatura en cada punto. Asimismo, estos parámetros permiten una descripción estadística.

El programa ha sido aplicado a una muestra subactual. Varios neandertales se compararon. Existe un dimorfismo sexual de los CV. Las curvaturas son dependientes. La morfología vertebral contribuye parcialmente a las CS fisiológicas. La variabilidad es comparable a la deducida de los datos fisiológicos. La morfología vertebral no interviene necesariamente en la determinación de las tres curvaturas. Hemos descrito las curvaturas de los neandertales. Los perfiles de Kebara y La Chapelle-aux-Saints son claramente masculinos, con una lordosis lumbar fuerte. Si bien los neandertales estudiados se sitúan en la variabilidad actual, se puede contemplar la posibilidad de modalidades particulares de la biomecánica toraco-lumbar.

MOTS CLES: colonne vertébrale, courbure sagittale, régression polynomiale, évolution, variabilité, *Homo sapiens*, néandertalien.

KEY WORDS: vertebral column, sagittal curvature, polynomial regression, evolution, variability, *Homo sapiens*, neandertal.

PALABRAS CLAVES: columna vertebral, curvatura sagital, regresión polinomial, evolución, variabilidad, *Homo sapiens*, neandertal.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----|
| 1. Introduction | 18 |
| 1.1. Histoire naturelle | 18 |
| 1.2. Colonne vertébrale et bipédie | 19 |
| 1.3. Courbures sagittales | 22 |
| 1.4. Etudes de la colonne vertébrale | 25 |
| 1.5. Méthodologie proposée | 28 |
| 1. Introduction (English) | 32 |
| 1. Introducción (Castellano) | 44 |
| 2. Méthodologie | 57 |
| 2.1. Forme du corps vertébral | 57 |
| 2.2. Espace intervertébral déterminé par la morphologie vertébrale | 61 |
| 2.3. Empilement des quadrilatères | 77 |
| 2.4. Angles interceptant les segments rachidiens | 82 |
| 2.5. Calcul d'un polynôme d'ajustement | 87 |
| 3. Matériel d'étude | 98 |
| 3.1. La collection | 98 |
| 3.2. Sélection de l'échantillon | 99 |
| 3.3. Composition de l'échantillon | 104 |
| 3.4. Les néandertaliens | 112 |
| 4. Résultats | 125 |
| 4.1. Courbures rachidiennes impliquées par les corps vertébraux dans la collection de Spitalfields | 125 |
| 4.2. Courbures sagittales déterminées par la forme des corps vertébraux et des espaces intervertébraux impliqués par la morphologie vertébrale | 160 |
| 4.3. Variabilité générale des profils par sexe | 197 |
| 5. Discussion | 205 |
| 5.1. Modalités de participation des corps vertébraux dans la détermination des courbures sagittales | 205 |
| 5.2. Implication de la morphologie vertébrale dans le déterminisme des courbures physiologiques, et problèmes d'interprétation | 222 |
| 6. Application de la méthodologie aux profils vertébraux de néandertaliens. Résultats et discussion | 240 |
| 6.1. Empilements | 240 |
| 6.2. Comparaison des angulations, entre néandertaliens et par rapport à la variabilité actuelle | 261 |
| 6.3. Comparaison des valeurs de courbure | 269 |
| 7. Conclusions | 277 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS | 4 |
| CONTRIBUTIONS..... | 6 |
| RÉSUMÉ..... | 8 |
| SUMMARY..... | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| MOTS CLÉS | 9 |
| SOMMAIRE..... | 11 |
| | |
| 1. Introduction..... | 18 |
| | |
| 1.1. Histoire naturelle..... | 18 |
| | |
| 1.2. Colonne vertébrale et bipédie..... | 19 |
| 1.2.1. Résistance mécanique..... | 19 |
| 1.2.2. Mobilité..... | 21 |
| | |
| 1.3. Courbures sagittales..... | 22 |
| 1.3.1. Bipédie et fonctions de reproduction..... | 22 |
| 1.3.2. Ontogénie | 23 |
| | |
| 1.4. Etudes de la colonne vertébrale..... | 25 |
| 1.4.1. Variabilité des segments vertébraux | 25 |
| 1.4.2. La colonne vertébrale comme un tout | 26 |
| | |
| 1.5. Méthodologie proposée | 28 |
| 1.5.1. Principe..... | 28 |
| A. Forme des corps vertébraux et des espaces intervertébraux | 28 |
| B. Déduction et description du profil | 29 |
| 1.5.2. Application | 29 |
| A. Homme actuel | 29 |
| B. Néandertaliens | 29 |
| | |
| 1. Introduction (English)..... | 32 |
| | |
| 1. Introducción (Castellano)..... | 44 |

| | | |
|-------------|--|----|
| 2. | Méthodologie | 57 |
| 2.1. | Forme du corps vertébral | 57 |
| 2.1.1. | Définition du quadrilatère et calcul des angles | 59 |
| 2.1.2. | Définition des mesures sur les corps vertébraux | 60 |
| 2.2. | Espace intervertébral déterminé par la morphologie vertébrale | 61 |
| 2.2.1. | Principe de déduction de l'espace intervertébral | 61 |
| 2.2.2. | Système des mesures permettant le calcul de l'espace intervertébral | 61 |
| 2.2.3. | Nomenclature des distances et des angles | 62 |
| 2.2.4. | Définition et prise des mesures | 66 |
| 2.2.5. | Projection dans le plan sagittal médian | 66 |
| | A. Calcul des mesures en projection | 66 |
| | B. Détermination de la distance au plan médian | 68 |
| 2.2.6. | Obtention du quadrilatère intervertébral | 70 |
| | A. Longueur des côtés antérieur et postérieur | 70 |
| | B. Localisation de la surface articulaire par rapport au plan des plateaux | 71 |
| | C. Calcul de la diagonale | 71 |
| | D. Calcul des angles du quadrilatère intervertébral | 74 |
| 2.2.7. | Insertion d'un espace entre les articulaires postérieurs | 74 |
| 2.3. | Empilement des quadrilatères | 77 |
| 2.3.1. | Principe de l'empilement | 77 |
| 2.3.2. | Méthode trigonométrique de l'empilement | 78 |
| | A. Descriptions des variables | 79 |
| | B. Calcul de la pile de quadrilatères | 79 |
| 2.3.3. | Rotation de la pile et alignement sur l'axe des ordonnées | 80 |
| 2.3.4. | Options d'exécution de l'empilement | 80 |
| 2.4. | Angles interceptant les segments rachidiens | 82 |
| 2.4.1. | Description | 82 |
| 2.4.2. | Calcul | 83 |
| 2.4.3. | Traitement statistique | 83 |
| | A. Angle moyen et valeur de r | 84 |
| | B. Signification de l'angle moyen | 84 |
| | C. Intervalle de confiance de l'angle moyen | 84 |
| | D. Déviation angulaire | 85 |
| | E. Comparaison des angles moyens de deux échantillons | 85 |
| | F. Représentation graphique | 85 |
| 2.4.4. | Conclusion | 86 |
| 2.5. | Calcul d'un polynôme d'ajustement | 87 |
| 2.5.1. | Applications de l'ajustement polynomial au profil rachidien en Anthropologie | 87 |
| 2.5.2. | Choix du degré du polynôme pour la description des courbures vertébrales impliquées par la morphologie osseuse | 87 |
| 2.5.3. | Détermination des coefficients du polynôme | 90 |
| | A. Régression linéaire multiple | 90 |
| | B. Régression non linéaire | 91 |
| | C. Justification de la méthode employée | 91 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.5.4. | Description du profil vertébral au moyen du polynôme..... | 91 |
| A. | Dimensions des profils | 91 |
| 1) | Hauteurs | 91 |
| 2) | Longueurs curvilignes | 92 |
| B. | Recherche des extrema | 93 |
| C. | Recherche des point d'inflexion | 94 |
| D. | Calcul des rayons de courbure | 94 |
| E. | Calcul de la courbure | 95 |
| 2.5.5. | Variabilité des polynômes calculés | 96 |

3. Matériel d'étude..... 98

3.1. La collection..... 98

3.2. Sélection de l'échantillon..... 99

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.2.1. | Maturité rachidienne..... | 99 |
| 3.2.2. | Dégénérescence rachidienne | 100 |
| 3.2.3. | Critères de sélection de l'échantillon..... | 102 |

3.3. Composition de l'échantillon..... 104

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.3.1. | Cas de l' individu n°173 | 104 |
| 3.3.2. | Cas de l'individu n°254 | 106 |
| 3.3.3. | Echantillon retenu et quantité d'information | 108 |
| 3.3.4. | Statistiques descriptives de l'échantillon..... | 111 |

3.4. Les néandertaliens..... 112

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.4.1. | La Chapelle-aux-Saints..... | 112 |
| A. | Atlas et axis | 112 |
| B. | Série vertébrale continue cervico-thoracique | 113 |
| C. | Autres restes thoraciques | 114 |
| D. | Vertèbres lombaires | 115 |
| E. | Affections dégénératives | 116 |
| F. | Calculs possibles | 117 |
| 3.4.2. | La Ferrassie 1 | 117 |
| A. | Conservation | 117 |
| B. | Affections dégénératives | 119 |
| C. | Calculs possibles | 119 |
| 3.4.3. | Le Régourdou | 119 |
| A. | Conservation | 119 |
| B. | Précision | 120 |
| C. | Calculs possibles | 121 |
| 3.4.4. | Shanidar 2 | 121 |
| 3.4.5. | Kébara 2 | 121 |
| A. | Pathologies | 121 |
| B. | Préservation des restes | 122 |
| C. | Calculs possibles | 124 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 4. | Résultats | 125 |
| 4.1. | Courbures rachidiennes impliquées par les corps vertébraux dans la collection de Spitalfields | 125 |
| 4.1.1. | Traitement des données..... | 127 |
| | A. Quadrilatères représentant les corps vertébraux | 127 |
| | B. Piles des quadrilatères représentant les corps vertébraux | 128 |
| 4.1.2. | Mesure des angles interceptant les profils rachidiens..... | 130 |
| | A. Angle décrit par les plateaux de chaque segment vertébral | 130 |
| | B. Angle interceptant chaque étage de la pile des corps vertébraux | 135 |
| 4.1.3. | Description des profils au moyen des régressions polynomiales..... | 137 |
| | A. Dimensions des profils | 137 |
| | 1) Calcul de la longueur curviligne | 137 |
| | 2) Variabilité et différence entre les sexes | 137 |
| | B. Situation des extrema et valeurs des flèches aux extrema | 138 |
| | C. Points d'inflexion | 139 |
| | 1) Détermination sur des profils partiels | 140 |
| | 2) Choix des points d'inflexion significatifs | 140 |
| | 3) Points d'inflexion au niveau cervico-thoracique | 141 |
| | 4) Points d'inflexion au niveau thoraco-lombaire | 141 |
| | D. Maxima de courbure | 142 |
| | 1) Isolation des maxima significatifs | 142 |
| | 2) Description | 143 |
| | E. Présence et localisation des différents points remarquables | 147 |
| | 1) Résultats | 147 |
| | 2) Discussion | 151 |
| | F. Comparaison générale des courbures | 152 |
| | 1) Lordoses lombaires | 152 |
| | 2) Cyphoses | 152 |
| | 3) Discussion | 155 |
| | G. Régressions polynomiales sur l'ensemble des points | 155 |
| 4.2. | Courbures sagittales déterminées par la forme des corps vertébraux et des espaces intervertébraux impliqués par la morphologie vertébrale | 160 |
| 4.2.1. | Aspect général des courbures..... | 160 |
| 4.2.2. | Mesures des angles interceptant les segments vertébraux..... | 165 |
| | 1) Etage cervical | 165 |
| | 2) Etage thoracique | 165 |
| | 3) Etage lombaire | 165 |
| 4.2.3. | Calcul des polynômes | 167 |
| 4.2.4. | Dimensions des profils..... | 168 |
| | A. Dimensions générales de C3 à L5 | 168 |
| | B. Dimensions selon l'étage vertébral | 169 |
| 4.2.5. | Etude des extrema | 172 |
| | A. Extremum négatif au niveau cervical | 173 |
| | B. Sommet de cyphose | 173 |
| | 1) Description et comparaisons | 173 |
| | 2) Interprétation | 175 |
| | C. Extremum lombaire | 176 |
| | D. Valeurs absolues | 177 |
| | E. Sommets de courbure impliqués par la morphologie osseuse des corps vertébraux et des espaces intervertébraux, résumé | 178 |
| 4.2.6. | Points d'inflexion | 179 |
| | A. Points d'inflexion significatifs | 179 |
| | B. Expression de la position de l'inflexion | 179 |
| | C. Schémas observés | 180 |
| | D. Points d'inflexion déterminant une lordose lombaire | 181 |
| | E. Points d'inflexion déterminant une lordose cervicale | 182 |
| | F. Étude des points d'inflexion selon les extrema présents | 182 |
| | G. Flèche à l'extremum de la cyphose selon le schéma des extrema et des inflexions | 185 |
| | H. Points d'inflexions déterminés par la morphologie vertébrale - synthèse | 186 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 4.2.7. | Maxima de courbure | 188 |
| A. | Description qualitative des schémas rencontrés dans la disposition des maxima de courbure | 188 |
| 1) | Maxima de courbure sur la cyphose | 188 |
| 2) | Lordoses lombaire et cervicale | 188 |
| B. | Description quantitative | 189 |
| 1) | Remarques d'ordre méthodologique | 189 |
| 2) | Maxima de courbure sur la lordose lombaire. | 190 |
| 3) | Maxima de courbure sur la cyphose | 191 |
| a. | Cyphoses à deux maxima | 191 |
| b. | Cyphose présentant un maximum unique | 191 |
| 4) | Maxima sur la lordose cervicale | 194 |
| C. | Maxima de courbure - synthèse | 195 |
| 4.2.8. | Caractérisation des profils par la présence et la localisation des points remarquables, synthèse | 196 |
| 4.3. | Variabilité générale des profils par sexe | 197 |
| 4.3.1. | Représentation conjointe des profils par sexe et par étage en mesures réelles | 197 |
| 4.3.2. | Comparaison des régressions générales par sexe et par étage, en pourcentage de la hauteur | 198 |
| A. | Etage cervico-thoracique | 199 |
| B. | Etage thoraco-lombaire | 200 |
| C. | Etage thoracique | 201 |
| D. | Mesures des courbures, restrictions | 201 |
| E. | Synthèse | 201 |
| 5. | Discussion | 205 |
| 5.1. | Modalités de participation des corps vertébraux dans la détermination des courbures sagittales | 205 |
| 5.1.1. | Indice des hauteurs sagittales du corps vertébral | 205 |
| 5.1.2. | Transition au niveau thoraco-lombaire | 206 |
| 5.1.3. | Variation de l'indice des hauteurs et des angulations à l'étage cervical | 209 |
| 5.1.4. | Différences entre les sexes | 209 |
| 5.1.5. | Constance des modèles de variation selon les segments | 210 |
| 5.1.6. | Etude des variations déterminées dans d'autres échantillons | 211 |
| 5.1.7. | Variation de l'indice des hauteurs à l'étage lombaire | 214 |
| 5.1.8. | Dimorphisme sexuel et contraintes mécaniques au niveau des derniers segments lombaires et du sacrum | 217 |
| 5.1.9. | Conclusion | 220 |
| 5.2. | Implication de la morphologie vertébrale dans le déterminisme des courbures physiologiques, et problèmes d'interprétation | 222 |
| 5.2.1. | Angulations réciproques des vertèbres - données radiographiques détaillées (STAGNARA, 1985) | 222 |
| 5.2.2. | Problèmes d'interprétation des mesures d'angulation | 223 |
| A. | Variation des valeurs d'angulation selon le segment | 223 |
| B. | Relation entre angulation et courbure | 226 |
| C. | Angulation et courbure, exemple | 229 |
| 5.2.3. | Angulation et courbure, interprétation des mesures radiographiques | 229 |
| 5.2.4. | Comparaison des angulations dans les profils déterminés par la seule morphologie vertébrale et dans les profils physiologiques en radiographie | 230 |
| A. | Espace intervertébral physiologique mesuré sur radiographies | 231 |
| B. | Participation conjointe de chaque type d'élément et des différents segments | 234 |
| C. | Dimorphisme sexuel | 237 |
| 5.2.5. | Implication de la morphologie vertébrale dans la détermination des courbures, résumé | 237 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 6. | Application de la méthodologie aux profils vertébraux de néandertaliens. Résultats et discussion | 240 |
| 6.1. | Empilements | 240 |
| 6.1.1. | Kébara 2..... | 240 |
| | A. Empilement des corps vertébraux | 240 |
| | B. Angles interceptant la pile des corps vertébraux | 240 |
| | C. Régression polynomiale et points remarquables | 243 |
| | D. Comparaison à l'échantillon de référence | 245 |
| | E. Profil impliqué par les corps vertébraux et par les espaces intervertébraux déterminés par la morphologie vertébrale | 247 |
| | F. Profil impliqué par les corps vertébraux et par les espaces intervertébraux à l'étage cervical | 250 |
| 6.1.2. | Régourdou..... | 252 |
| | A. Corps vertébraux de l'étage cervical | 252 |
| | B. Autres corps vertébraux | 253 |
| | C. Empilement alterné | 254 |
| 6.1.3. | Shanidar 2..... | 255 |
| | A. Corps vertébraux | 255 |
| | B. Corps vertébral et espace intervertébral de C3 | 256 |
| 6.1.4. | La Chapelle-aux-Saints | 256 |
| | A. Corps vertébraux | 256 |
| | B. Empilements alternés | 257 |
| 6.1.5. | La Ferrassie 1 | 259 |
| | A. Corps vertébraux | 259 |
| | B. Empilements alternés | 260 |
| 6.2. | Comparaison des angulations, entre néandertaliens et par rapport à la variabilité actuelle | 261 |
| 6.2.1. | Empilements des corps vertébraux | 261 |
| | A. Angulations des empilements calculables | 261 |
| | B. Angulation des corps vertébraux de Kébara | 263 |
| 6.2.2. | Empilements alternés..... | 266 |
| 6.3. | Comparaison des valeurs de courbure | 269 |
| 6.3.1. | Courbures dans les empilements des corps vertébraux..... | 269 |
| 6.3.2. | Courbures dans les empilements alternés | 273 |
| | A. Etage cervical | 273 |
| | B. Etage thoracique supérieur | 276 |
| | C. Etages thoracique inférieur et lombaire | 276 |
| 7. | Conclusions | 277 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 289 |