

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Analyse de la variation intra- et inter-populationnelle. Application de deux méthodes  
craniométriques sur des collections amérindiennes-canadiennes

Par  
Josiane Lettre

Département d'Anthropologie  
Faculté des Arts et Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès Sciences  
en Anthropologie

Janvier, 2009

© Josiane Lettre, 2009



6 W  
4  
004  
2009  
V70/4



Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :  
Analyse de la variation intra- et inter-populationnelle. Application de deux méthodes  
craniométriques sur des collections amérindiennes-canadiennes

présenté par :

Josiane Lettre

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Bernard Chapais  
président-rapporteur

Dr Isabelle Ribot  
directrice de recherche

Dr Michelle Drapeau  
membre du jury

## RÉSUMÉ

**Introduction :** L'exploration de la diversité morphologique humaine est un aspect important des études bioarchéologiques. Cette problématique est traditionnellement abordée par une approche morphométrique bidimensionnelle standardisée. Les limites de cette méthode ont mené à l'élaboration de la morphométrie géométrique. Alors que la littérature soutient que cette nouvelle méthode tridimensionnelle est plus détaillée que l'approche traditionnelle, peu d'articles se sont attardés à les comparer. Mon **objectif** est donc la comparaison de la morphométrie traditionnelle (MT) et de la morphométrie géométrique (MG) quant à la quantité et la nature des informations obtenues sur la variation intra- et inter-populationnelle. L'**échantillon** provient d'une région géographique encore peu explorée craniométriquement. Il se compose de trois groupes amérindiens-canadiens, provenant du Nunavut (N=63), du Manitoba (N=14) et de la Colombie-Britannique (N=30). Le sexe a été évalué macroscopiquement sur le squelette, car les populations sont archéologiques (derniers 5000 ans). Des mesures et des points anatomiques correspondants ont été récoltés sur les crânes et analysés selon les techniques propres à chacune des méthodes. À cause de la taille des échantillons, les **résultats** sont préliminaires, mais révèlent une complémentarité entre les deux méthodes. Même si les pourcentages d'individus du Nunavut correctement classifiés selon leur sexe sont presque identiques pour les deux méthodes (88,7% pour la MT et 88,5% pour la MG), la variation intra-populationnelle est plus détaillée à partir de la MG. La MG a permis de confirmer l'importance de caractères liés à la largeur du crâne, à la forme du front dans les détails de sa courbure, à la proéminence de la glabelle et à la largeur du processus basilaire. L'analyse de la variation inter-populationnelle a montré une légère différence entre les pourcentages d'individus correctement classifiés selon leur origine géographique (87,3% pour la MT et 90,4% pour la MG). La MG a permis une meilleure visualisation des changements morphologiques : les crânes provenant du Nunavut sont globalement plus graciles, alors que ceux des régions de l'Ouest, plus anciens, semblent plus robustes (torus supra-orbitaire, largeur du crâne, largeur nasale).

**Mots clés :** Bioarchéologie, morphométrie, crâne, variation intra-populationnelle, variation inter-populationnelle.

## ABSTRACT

**Introduction :** The exploration of the human morphological diversity is an important aspect of bioarchaeological studies. This issue is widely discussed by using a traditional two-dimensional morphometric approach. Some limitations of this method have led to the elaboration of geometric morphometrics. While the literature argues that this new method is more detailed than the traditional one, few articles have focused on their comparison. This project therefore **aims** to compare the traditional morphometrics (TM) and the geometric morphometrics (GM) about the quantity and nature of information obtained by each of them on the intra and interpopulational variation. The **sample** comes from a geographical region not really explored craniometrically. It consists of three Canadian Amerindian groups, from Nunavut (N=63), Manitoba (N=14) and British-Columbia (N=30). Because they are archaeological populations (last 5000 years), the sex was assessed macroscopically on the skeleton. Measures and anatomical points (correspondents when possible) were collected on all individuals within the sample and were analyzed by techniques specific to each method. **Results**, which are preliminary because of the size of the sample, reveal that these two approaches are complementary. Although the percentages of individuals from Nunavut correctly classified according to their sex are almost identical for both methods (88.7% for TM and 88.5% for GM), the intrapopulational variation is more detailed with the GM. The GM has confirmed the importance of characters associated with the width of the skull, the profile of the forehead contour, the prominence of the glabella and the width of basilar process. The analysis of the interpopulational variation showed a slight difference between the percentages of individuals correctly classified according to their geographical origin (87.3% for TM and 90.4% for GM). The GM has enabled a better visualization of morphological changes: the skulls from Nunavut are generally more gracile, while those from regions of the West, the earliest ones, seem more robust (supraorbital ridges, width of the skull, wide nose).

**Key words :** Bioarchaeology, morphometry, skull, intrapopulational variation, interpopulational variation.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>PAGE DE TITRE</b> .....	<b>i</b>
<b>IDENTIFICATION DU JURY</b> .....	<b>ii</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>viii</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>x</b>
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUCTION .....	1
1.2 PRÉSENTATION DU MÉMOIRE .....	3
<b>CHAPITRE 2 : LA MORPHOMÉTRIE : SON HISTOIRE, SES MÉTHODES ET SES APPLICATIONS</b> .....	<b>4</b>
2.1 LA MORPHOLOGIE ET LA MORPHOMÉTRIE.....	4
2.1.1 <i>La morphologie humaine</i> .....	4
2.1.2 <i>La morphométrie</i> .....	4
2.2 L'ÉTUDE DE LA VARIATION CHEZ LES POPULATIONS HUMAINES .....	6
2.2.1 <i>La variation intra-populationnelle</i> .....	7
2.2.2 <i>Le dimorphisme sexuel chez l'humain moderne</i> .....	8
2.2.3 <i>La variation inter-populationnelle</i> .....	11
2.2.4 <i>Les sources de la variation</i> .....	12
2.3 APPROCHES MORPHOMÉTRIQUES : MORPHOMÉTRIE TRADITIONNELLE ET MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE.....	13
2.3.1 <i>La morphométrie traditionnelle</i> .....	13
2.3.2 <i>La morphométrie géométrique</i> .....	15
2.3.2.1 Les débuts et la révolution méthodologique.....	15
2.3.2.2 « The outline methods » et « The landmark methods » .....	16
2.3.2.3 L'analyse des données .....	17
2.3.3 <i>Conclusion : synthèse méthodologique</i> .....	19
2.4 MORPHOMÉTRIE CRÂNIENNE GÉOMÉTRIQUE VS MORPHOMÉTRIE CRÂNIENNE TRADITIONNELLE .....	19
2.4.1 <i>Les questions relatives à l'histoire évolutive des humains</i> .....	20
2.4.2 <i>Le dimorphisme sexuel</i> .....	21
2.4.3 <i>La variation inter-populationnelle actuelle</i> .....	23
2.4.4 <i>Synthèse</i> .....	25
<b>CHAPITRE 3 : PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE</b> .....	<b>26</b>
<b>CHAPITRE 4 : MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	<b>29</b>
4.1 POPULATIONS À L'ÉTUDE.....	29
4.1.1 <i>Nunavut : Les Sadlermiut de Native Point, Île Southampton</i> .....	29
4.1.2 <i>Manitoba</i> .....	31
4.1.3 <i>Colombie-Britannique : « The Prince Rupert Harbour Project »</i> .....	32
4.2 RÉCOLTE DES DONNÉES BRUTES .....	34
4.2.1 <i>Morphométrie traditionnelle</i> .....	34
4.2.2 <i>Morphométrie géométrique</i> .....	35
4.3 ANALYSE DES DONNÉES .....	37

4.3.1 <i>Morphométrie traditionnelle</i> .....	37
4.3.1.1 Variation intra-populationnelle.....	38
4.3.1.2 Variation inter-populationnelle.....	39
4.3.2 <i>Morphométrie géométrique</i> .....	40
4.3.2.1 Les données manquantes .....	40
4.3.2.2 Variation intra- et inter-populationnelle .....	40
<b>CHAPITRE 5 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....</b>	<b>43</b>
5.1 MORPHOMÉTRIE TRADITIONNELLE.....	43
5.1.1 <i>Variation intra-populationnelle et dimorphisme sexuel au sein du Nunavut.....</i>	43
5.1.1.1 Analyses statistiques univariées.....	43
5.1.1.2 Analyses statistiques multivariées .....	46
5.1.2 <i>Variation inter-populationnelle au sein d'échantillons de populations amérindiennes-</i>	
<i>canadiennes diverses</i> .....	49
5.1.2.1 Analyses statistiques univariées.....	49
5.1.2.2 Analyses statistiques multivariées .....	51
5.2 MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE .....	55
5.2.1 <i>Variation intra-populationnelle et dimorphisme sexuel au sein du Nunavut.....</i>	55
5.2.1.1 Analyse en Composantes Principales .....	55
5.2.1.2 Analyse discriminante multiple .....	56
5.2.2 <i>Variation inter-populationnelle au sein d'échantillons de populations amérindiennes-</i>	
<i>canadiennes diverses</i> .....	60
5.2.2.1 Analyse en Composantes Principales .....	60
5.2.2.2 Analyse discriminante multiple .....	61
5.3 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS.....	67
<b>CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>
6.1 INFORMATION SUR LA VARIATION INTRA-POPULATIONNELLE: COMPARAISON ET COMPLÉMENTARITÉ	
DES DEUX MÉTHODES .....	69
6.1.1 <i>Face et voûte crânienne</i> .....	69
6.1.2 <i>Base crânienne</i> .....	72
6.2 INFORMATION SUR LA VARIATION INTER-POPULATIONNELLE: COMPARAISON ET COMPLÉMENTARITÉ	
DES DEUX MÉTHODES .....	73
6.3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'ÉTUDES .....	77
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>89</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>93</b>
<b>ANNEXE C.....</b>	<b>99</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1. Informations concernant l'échantillon du Manitoba. ....	32
Tableau 4.2. Informations concernant l'échantillon de la Colombie-Britannique. ....	33
Tableau 4.3. L'échantillon total. ....	34
Tableau 4.4. Morphométrie traditionnelle : Analyse de l'erreur intra-observateur. Variables présentant une différence significative entre les observations. ....	35
Tableau 5.1. Nunavut – Comparaison des statistiques descriptives des hommes et des femmes (en rouge) à partir de 32 mesures crâniennes (en mm). ....	43
Tableau 5.2. Nunavut - Statistiques descriptives des variables les plus dimorphiques. .	46
Tableau 5.3. Nunavut - Matrice de rotation des composantes. ....	47
Tableau 5.4. La signification des composantes quant au dimorphisme sexuel. ....	48
Tableau 5.5. Nunavut - Coefficients standardisés de la fonction discriminante canonique. .....	49
Tableau 5.6. Morphométrie traditionnelle - Résultats de la classification selon le sexe des individus. ....	49
Tableau 5.7. Signification de la différence craniométrique entre les trois populations à l'étude, pour 32 mesures. ....	50
Tableau 5.8. Variation inter-populationnelle - Matrice de rotation des composantes. ...	52
Tableau 5.9. La signification des composantes quant à la variation inter-populationnelle .....	53
Tableau 5.10. Morphométrie traditionnelle : Variation inter-populationnelle - Coefficients standardisés des fonctions discriminantes canoniques. ....	54
Tableau 5.11. Morphométrie traditionnelle - Résultats de la classification selon l'origine des individus. ....	54
Tableau 5.12. « Eigenvalue », proportion de la variation totale et signification (t-test) des 17 premières composantes principales pour l'analyse du dimorphisme sexuel. ....	55
Tableau 5.13. Morphométrie géométrique - Résultats de la classification selon le sexe des individus. ....	56
Tableau 5.14. « Eigenvalues », proportion de la variation totale et signification (ANOVA) des 19 premières composantes principales pour l'analyse de la variation inter-populationnelle. ....	61
Tableau 5.15. Morphométrie géométrique : Variation inter-populationnelle – Coefficients standardisés des fonctions discriminantes canoniques. ....	62
Tableau 5.16. Morphométrie géométrique - Résultats de la classification selon l'origine des individus. ....	62
Tableau 5.17. Tableau synthèse des principaux résultats. ....	67

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. « Homme de Vitruve » par Léonard de Vinci (Wikipédia, 07-06-2007). .....	1
Figure 2.1. Effet de la GPA – Vue supérieure de 50 crânes numérisés (Franklin, 2005 : 157). .....	18
Figure 4.1. Carte géographique de l'emplacement du site archéologique de Native Point, sur l'île Southampton, au Nunavut (adaptée de Merbs, 1983). Vue d'ensemble du Canada.....	30
Figure 4.2. Carte géographique de l'emplacement des sites archéologiques faisant partie du « Prince Rupert Harbour Project » (Cybulski, 2001 : 5). GbTo-31 : Boardwalk; GbTo-30 : Parizeau Point; GbTn-19 : Ridley Island; GbTo-23 : Garden Island; GbTo-36: Baldwin; GbTo-18: Dodge Island; GbTo-33 : Lachane.....	33
Figure 4.3. Morphométrie géométrique - Analyse de l'erreur intra-observateur. La composante principale 1 (axe x) vs la composante principale 2 (axe y); ● première numérisation, ○ deuxième numérisation .....	37
Figure 4.4. Morphométrie traditionnelle et morphométrie géométrique : étapes de l'analyse statistique effectuées dans le cadre de ce projet de recherche .....	42
Figure 5.1. Analyse du dimorphisme sexuel. La composante principale 1 (axe x – 44,6% de la variance) vs la composante principale 3 (axe y – 8% de la variance). Pour les ellipses $p=0,700$ . ○ Femmes (N=27), x Hommes (N=23). .....	48
Figure 5.2. Analyse de la variation inter-populationnelle. La composante principale 1 (axe x – 19,2% de la variance) vs la composante principale 7 (axe y - 5% de la variance). Pour les ellipses $p=0,700$ . ○ Nunavut (N=50), x Manitoba (N=9), + Colombie-Britannique (N=12). .....	53
Figure 5.3. Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 3 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite (A et B) et vue inférieure (C et D), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A et C) à l'extrémité positive (femmes : B et D) de la composante principale 3.....	57
Figure 5.4. Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 5 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite (A et B), vue de face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A, C et E) à l'extrémité positive (femmes : B, D et F) de la composante principale 5. ....	58
Figure 5.5. Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 11 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite du crâne (A et B), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A) à l'extrémité positive (femmes : B) de la composante principale 11.....	59
Figure 5.6. Variation inter-populationnelle entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. La composante principale 1 (axe x – avec schémas illustrés pour cette dernière) vs la composante principale 3 (axe y); * Nunavut, ● Manitoba, ■ Colombie-Britannique. Vue latérale droite (A et B), vue de	

face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (Manitoba et Colombie-Britannique : A, C et E) à l'extrémité positive (Nunavut : B, D et F) de la composante principale 1. ....	64
Figure 5.7. Variation inter-populationnelle entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. La composante principale 1 (axe x) vs la composante principale 3 (axe y - avec schémas illustrés pour cette dernière); * Nunavut, ● Manitoba, ■ Colombie-Britannique. Vue latérale droite (A et B), vue de face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (Nunavut : A, C et E) à l'extrémité positive (Colombie-Britannique - et Manitoba - : B, D et F) de la composante principale 3.	66
Figure 6.1. Différences morphologiques entre un homme et une femme Sadlermiut. Photos du profil gauche (la ligne blanche représente le plan de Francfort), de la face et de la base crânienne (vue inférieure). ....	71
Figure 6.2. Différences morphologiques entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. Les trois individus présentés sont des hommes. Photos du profil gauche (la ligne blanche représente le plan de Francfort), de la face et de la base crânienne (vue inférieure). ....	75
Figure A.1. Mesures traditionnelles de la voûte, de la face et de la base retenues pour le projet. ....	92
Figure A.2. Morphométrie géométrique : points anatomiques de la voûte et de la face retenus pour le projet.....	97
Figure A.3. Morphométrie géométrique : points anatomiques de la base retenus pour le projet. ....	98

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dr Isabelle Ribot, ma directrice de recherche, pour son support, ses encouragements, ses commentaires critiques et ses suggestions. J'ai énormément appris sous sa supervision grâce à sa rigueur et à son intérêt immense pour la bioarchéologie.

Je ne pourrais passer sous silence l'aide précieuse que Dr Daniel Franklin m'a apportée concernant la morphométrie géométrique et ses rudiments. Malgré la distance qui nous sépare, il a su répondre à toutes mes interrogations et me conseiller pour mes analyses.

Je remercie également la communauté du Nunavut et le Musée Canadien des Civilisations pour l'autorisation d'étudier les magnifiques collections archéologiques. Merci particulièrement à Dr Jerome Cybulski, qui a pris le temps de s'assurer que j'avais toutes les informations relatives aux populations étudiées. Merci aussi à Colleen McGuire et à Megan Gardiner, pour leur accueil chaleureux et pour tous les renseignements qu'elles m'ont fournis.

Merci à Dr Michelle Drapeau et Dr Bernard Chapais, membres du jury, pour leurs commentaires et appréciations.

Enfin, merci à ma famille et à mes amis, tous ces gens qui gravitent autour de moi et qui m'ont encouragée et soutenue dans ce projet. Un merci tout spécial à François, pour être qui il est, pour ses valeurs, sa présence et son intelligence.

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

### 1.1 Introduction

Le corps humain, tant par ses proportions que par ses dimensions, a fasciné un grand nombre d'artistes et de scientifiques, particulièrement au cours des derniers siècles et des dernières décennies. L'étude de la géométrie du corps humain n'est donc pas récente et l'intérêt qui est porté à cette discipline remonte à très longtemps. Nous pouvons entre autres penser aux artisans égyptiens qui, dès le Moyen Empire, utilisaient des grilles afin de bien représenter les proportions humaines, tout en incluant les différences observables entre les femmes et les hommes (Slice, 2005). Pensons également à Léonard de Vinci, célèbre personnage de la Renaissance, qui a su marquer son époque tant par ses œuvres artistiques, notamment « La Joconde », que par ses nombreuses inventions (Zwijnenberg, 1999). Il s'est lui-même intéressé au corps humain en produisant aux alentours de 1492 l'un des croquis anatomiques les plus célèbres de son temps, connu sous le nom de « l'Homme de Vitruve » (figure 1.1). Il est alors parvenu à représenter dans un cercle parfait, ainsi que dans un carré, le croquis d'un homme présenté selon deux positions superposées (Zwijnenberg, 1999). Mais qu'en est-il de l'étude du squelette humain?

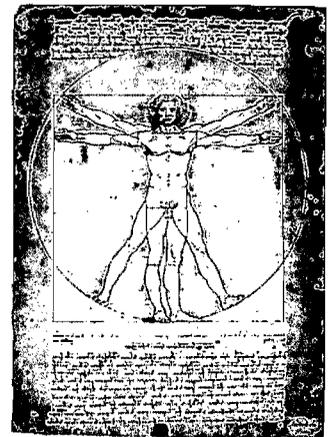


Figure 1.1. « Homme de Vitruve » par Léonard de Vinci (Wikipédia, 07-06-2007).

À la base, c'est la comparaison de différentes parties anatomiques chez certains individus et l'exploration de la diversité morphologique et de la variation humaine qui intéressent les anthropobiologistes et les bioarchéologues (Tyrrell, 2000; Adams *et al.*, 2004). La bioarchéologie – l'étude des populations passées par l'analyse de restes humains provenant de sites archéologiques de périodes diverses, surtout l'Holocène, mais aussi le Pléistocène supérieur – est issue de l'anthropobiologie. Par conséquent, c'est précisément au squelette humain, lié à son contexte archéologique d'origine, que les bioarchéologues s'intéressent, cette charpente complexe composée de 206 os (White

et Folkens, 2005). Son étude permet non seulement d'observer les variantes morphologiques entre individus provenant d'une même population ou d'une même région géographique, mais aussi entre individus de populations provenant de différents territoires. La morphométrie, puisque c'est ainsi que se nomme la discipline destinée à quantifier ces variations de taille et de forme, suscite encore aujourd'hui l'intérêt scientifique de plusieurs et elle est encore en continuelle évolution (Frieß, 1999; Harvati, 2002; Adams *et al.*, 2004). En effet, on ne cesse de chercher de nouvelles méthodes d'analyse (exemples : quantification des méthodes et statistiques plus précises et appropriées) et de nouvelles techniques permettant de recueillir les données brutes.

Ces nouvelles techniques morphométriques, dont fait partie la morphométrie géométrique, ont d'ailleurs déjà permis de répondre à plusieurs questions concernant les analyses de la forme, dans des domaines aussi variés que la croissance et le développement (O'Higgins et Jones, 1998; Vidarsdottir *et al.*, 2002), l'évolution (O'Higgins, 2000; Harvati, 2002), l'écologie (Adams et Rohlf, 2000) et la morphologie fonctionnelle (Manfreda *et al.*, 2006). Les nouvelles techniques développées surpassent-elles alors les méthodes classiques déjà établies? Ce projet a ainsi pour but de comparer la quantité et la nature des informations que fournissent deux méthodes morphométriques en contexte bioarchéologique : la morphométrie traditionnelle (mesures bidimensionnelles) et la morphométrie géométrique, récente méthode ajoutant la troisième dimension aux analyses. Pour ce faire, nous comparerons dans un premier temps les résultats obtenus à partir de ces deux méthodes quant au dimorphisme sexuel crânien observé à l'intérieur d'une population homogène donnée (Sadlermiut, Nunavut – variation intra-populationnelle). Dans un deuxième temps, ce sont les résultats obtenus suite à l'examen des différences régionales sur les crânes de trois échantillons de populations amérindiennes-canadiennes (Nunavut, Manitoba et Colombie-Britannique – variation inter-populationnelle) qui seront comparés. Cette analyse comparative méthodologique, jamais réellement effectuée auparavant, permettra de distinguer le potentiel de chacune des deux techniques et par conséquent, d'optimiser les analyses en bioarchéologie.

## 1.2 Présentation du mémoire

Le chapitre 2, qui constitue le cadre conceptuel de ce projet de recherche, visera à retracer le développement et l'étendue du domaine de la morphométrie, permettant ainsi d'avoir une connaissance plus approfondie sur le sujet. Les concepts centraux de ce mémoire, tels que la variation intra-populationnelle, le dimorphisme sexuel et la variation inter-populationnelle, seront abordés. Sera ensuite dressé un bref historique des évolutions technologiques qu'a subi le domaine de la morphométrie au sein de l'anthropologie biologique. Seront également comparées, sur le plan méthodologique et théorique, les approches dites « traditionnelles » et la morphométrie géométrique. Le fonctionnement et l'utilité, ainsi que les avantages et les limites de ces deux méthodes seront abordés. Nous illustrerons et comparerons finalement, à l'aide de quelques exemples, les résultats obtenus et les diverses applications de la morphométrie traditionnelle et de la morphométrie géométrique en anthropologie biologique. Ces techniques semblent se compléter, bien qu'elles diffèrent en elles-mêmes. Par exemple, les résultats obtenus par la morphométrie géométrique peuvent confirmer et/ou apporter de nouveaux éléments de réponse venant compléter ceux obtenus par les méthodes traditionnelles (Adams *et al.*, 2004; Slice, 2005; Franklin, 2005).

Dans quelle mesure et de quelle façon les résultats obtenus par la morphométrie géométrique, suite à l'analyse de la variation intra- et inter-populationnelle, sont-ils différents de ceux obtenus par la morphométrie traditionnelle? C'est un des principaux questionnements de ce projet de recherche, qui sera décrit en détail au chapitre 3 de ce mémoire. Le chapitre 4 présentera le matériel utilisé, c'est-à-dire les populations à l'étude et la taille de l'échantillon. Les démarches méthodologiques employées pour la récolte des données brutes et l'analyse de ces dernières, tant pour la méthode traditionnelle que pour la morphométrie géométrique, seront aussi présentées. Au chapitre 5, les résultats obtenus seront détaillés. Le chapitre 6 constitue l'aboutissement de ce projet puisque les résultats y seront discutés, de façon à pouvoir répondre aux questions que pose ce mémoire.

## CHAPITRE 2 : LA MORPHOMÉTRIE : SON HISTOIRE, SES MÉTHODES ET SES APPLICATIONS

### 2.1 La morphologie et la morphométrie

#### 2.1.1 La morphologie humaine

L'anthropobiologie a notamment pour but d'étudier et d'examiner la diversité, liée à la morphologie, qui existe entre différents groupes humains (Tyrrell, 2000). La morphologie, ou anatomie si on se réfère à la biologie, permet donc de mettre en évidence et d'analyser les ressemblances ainsi que les différences biologiques, entre autres quant à la forme et à la taille, qui peuvent exister entre certains individus ou entre certaines populations (Hiernaux, 1980; Howells, 1989). En d'autres termes, cette science descriptive permet d'étudier la structure et les formes extérieures du corps humain et plus globalement de l'être vivant. Durant le 20<sup>e</sup> siècle, alors que la biologie passait d'une science descriptive à une science quantitative, l'analyse de la morphologie subissait la même transformation (Adams *et al.*, 2004).

#### 2.1.2 La morphométrie

Suite à la définition donnée de la morphologie, nous pouvons déduire que la morphométrie vise à quantifier les différences de taille et de forme qui sont observables entre des individus (Aiello, 1992; Frieß, 1999). Il s'agit, par exemple, de l'étude et de l'analyse de la géométrie de certaines régions anatomiques du squelette humain. En fait, la morphométrie étudie la taille et les formes, mais plus précisément leurs associations, leurs causes et leurs effets (Bookstein, 1991; Adams *et al.*, 2004). C'est le rapport d'une forme à l'autre que l'on désire examiner. Le but est ici de comprendre comment les formes biologiques varient les unes par rapport aux autres au sein d'une espèce et entre espèces. Ceci mène aussi à une meilleure compréhension de l'évolution de notre propre espèce, *Homo sapiens sapiens*, et de sa diversité actuelle issue entre autres de

changements dans les processus ontogénétiques (Aiello, 1992; O'Higgins, 2000; Richtsmeier *et al.*, 2002).

L'étude morphométrique repose grandement sur une approche statistique, permettant alors d'analyser et d'interpréter les nombreuses données recueillies. Le nombre de variables à l'étude est en effet souvent élevé, ce qui rend les analyses plus complexes. Les analyses statistiques multivariées (exemples : l'Analyse en Composantes Principales et l'Analyse discriminante multiple), largement employées en anthropologie biologique, deviennent alors très utiles puisqu'elles permettent de synthétiser et de visualiser une grande quantité d'information.

Il faut savoir que les premières utilisations du concept de la morphométrie furent faites par deux statisticiens : David G. Kendall et Fred L. Bookstein, bien connus dans le domaine discuté ici, soit l'anthropobiologie. Ceci eut lieu à la fin des années 70, alors qu'ils s'intéressaient à la variation des formes chez les cellules et les animaux. Ils s'inspirèrent des travaux de deux individus en particulier : le peintre Albrecht Dürer et le botaniste D'Arcy Wentworth Thompson. À cette époque la morphométrie correspondait à l'application de statistiques multivariées à des groupes de variables quantitatives (Adams *et al.*, 2004). Il faut ensuite attendre la fin des années 80 et le début des années 90, pour qu'une révolution en technologie morphométrique se produise, en réponse à certaines difficultés que posait la morphométrie traditionnelle. Plus précisément, de nouvelles méthodes, permettant de conserver et de visualiser la géométrie des structures morphologiques en trois dimensions, furent mises au point (Adams *et al.*, 2004). De ce fait, il existe désormais une morphométrie dite « traditionnelle » et une autre, plus récente, reposant sur de nouvelles techniques, nommée la morphométrie géométrique. Ce projet de maîtrise consiste donc en une comparaison de l'application de ces deux méthodes en bioarchéologie.

## 2.2 L'étude de la variation chez les populations humaines

Deux termes (espèce et population) que l'on retrouvera fréquemment dans les sections qui suivent seront ici définis. Ces termes représentent souvent les unités de base des recherches et c'est pour cette raison qu'on s'y attarde. Une espèce, selon Mayr se définit comme un « Agrégat reproductivement isolé de populations panmixtiques » (1974 : 455). Ceci fait référence à un groupe d'individus semblables, par leur aspect par exemple, qui sont féconds entre eux.

Lorsque l'on entreprend une étude anthropobiologique, il est important de bien délimiter son unité d'échantillonnage, c'est-à-dire la population que l'on désire examiner (Hiernaux, 1980). Il est toutefois plutôt difficile de donner une définition précise de ce qu'est une population, principalement en archéologie, puisqu'il est primordial de tenir compte à la fois des critères biologiques et des critères sociaux (Chamberlain, 2006). En biologie, il s'agit d'un ensemble d'individus d'une même espèce qui ont une plus grande probabilité de se reproduire entre eux, plutôt qu'avec ceux d'un autre groupe. En sciences sociales, une population représente un groupe parmi lequel les individus sont liés entre eux par, entre autres, une langue, une culture et une histoire commune (Chamberlain, 2006). Hiernaux souligne pour sa part qu'« [...]un découpage en populations concrètes (comme villages, tribus, nations) peut être éphémère [...] » (1980 :20). Ces unités peuvent effectivement se scinder en de nouvelles unités et se fusionner à d'autres suite, par exemples, à des migrations ou à des changements dans les modes et degrés d'appariement (endogamie, exogamie). Soulignons également le fait que d'étudier des populations archéologiques entraîne nécessairement une perte d'informations, étant donné que l'on ne retrouve souvent qu'une partie des individus appartenant à la population initiale. La démographie des populations archéologiques est donc souvent une représentation biaisée d'une population vivante (Saunders, 1995). De ce fait, la diversité passée est sous-estimée puisque nous partons d'un échantillon souvent biaisé au niveau représentatif.

### 2.2.1 La variation intra-populationnelle

Comme son nom l'indique, la variation intra-populationnelle souligne la diversité qui peut exister parmi les individus appartenant à une même population. Elle inclut notamment le dimorphisme sexuel (Downs et Bleibtreu, 1972). Il est parfois difficile d'identifier les causes de la variation intra-populationnelle car la distinction entre le génétique et l'environnemental n'est pas toujours claire, le deuxième pouvant interagir sur le premier. Les différences socio-économiques entre les individus entraînent par exemple une certaine diversification au sein d'une même population. Notons aussi que l'homogénéité d'un groupe augmente si les individus qui le composent sont endogames et qu'elle diminue si les individus sont exogames (Stefan, 1999).

La génétique des populations humaines<sup>1</sup> a permis de découvrir que la majorité de la diversité biologique humaine existait **au sein** des populations locales<sup>2</sup> (85%), indiquant ainsi une variation intra-populationnelle élevée. Ceci signifie par conséquent que la diversité existant **entre** les populations locales d'une même région géographique (5%) et **entre** les régions géographiques (10%) serait plus petite, indiquant une faible variation inter-populationnelle. Ces résultats ont été obtenus à la suite de l'analyse des fréquences alléliques d'un certain nombre de facteurs génétiques (Lewontin, 1972), des groupes sanguins (Latter, 1980) et des polymorphismes de l'ADN (Jorde *et al.*, 2000). Relethford (1994) a pour sa part voulu tester cette problématique en étudiant la variation craniométrique. Les résultats obtenus ont démontré que seulement de 11 à 14% de la diversité craniométrique existait **entre** les régions géographiques et par conséquent, que 86 à 89% de cette diversité existait **au sein** de ces régions. Dans une analyse plus approfondie (variation craniométrique et couleur de la peau) cet auteur (2002) est parvenu à des résultats très similaires à ceux mentionnés précédemment. L'étude de la morphologie humaine est donc dans ce cas-ci aussi convaincante que celle de certains marqueurs génétiques. En bref, il est ici important de retenir et de souligner

---

<sup>1</sup> La génétique des populations humaines est l'étude des processus qui influencent et déterminent la composition et la variabilité des caractères héréditaires à l'intérieur des populations, ainsi que la différenciation et la structure génétique des populations (Relethford, 2001).

<sup>2</sup> La population locale est ici l'unité de base.

l'importance de la variation intra-populationnelle et intra-spécifique dans le phénomène de la diversité biologique humaine. La variation entre les individus d'une même population est en effet plus élevée que la variation existant entre différentes populations, provenant d'une même région géographique ou de plusieurs. Il apparaît donc logique de commencer à analyser d'abord à un niveau intra-régional avant d'aller à une échelle plus grande (inter-régionale). Il est en effet nécessaire de partir d'une unité de base (une population ou une région), de bien comprendre sa variation, pour par la suite bien saisir la variation à une échelle supérieure (entre certaines populations ou régions).

### 2.2.2 Le dimorphisme sexuel chez l'humain moderne

Le dimorphisme sexuel peut être défini comme étant l'ensemble des différences morphologiques marquées entre des individus masculins et féminins appartenant à une même espèce ou à une échelle plus fine, au sein d'une même population (unité biologique de base) (Mayr, 1974). Chez les êtres humains, le dimorphisme sexuel fait généralement référence à la différence de grandeur et de masse corporelle entre les sexes. Deux principales catégories de méthodes s'offrent aux bioarchéologues lorsque vient le temps de déterminer le sexe des individus faisant parties de leur échantillon. Il y a tout d'abord les méthodes dites visuelles ou qualitatives, caractérisées par l'observation de particularités morphologiques précises (Buikstra et Ubelaker, 1994; Lahr et Wright, 1996). Ils peuvent aussi avoir recours aux méthodes quantitatives, reposant sur des mesures linéaires et des analyses statistiques univariées et multivariées (Holland, 1986; Howells, 1989; Graw, 1999).

Si l'on considère uniquement le squelette humain (dans le cas d'individus archéologiques), il est possible d'observer que celui de l'homme est plus large et plus robuste (notamment des os plus robustes et des attaches musculaires plus développées) que celui de la femme (Chamberlain, 2006). Ceci serait notamment lié à une masse musculaire plus élevée. De plus, les hommes ne sont généralement pas pédomorphes. La pédomorphie correspond à un maintien de caractères juvéniles de l'espèce ancestrale (Godfrey, 1999). La pédomorphie est liée à l'hétérochronie, qui fait quant à elle

référence à un changement évolutif dans le développement, la notion de temps étant ici primordiale (Klingenberg, 1998).

Outre la stature et le fait que les os des femmes soient généralement plus légers et plus fins, d'autres différences entre les deux sexes sont observables sur le crâne et sur le bassin. Ce dernier constitue d'ailleurs la région anatomique humaine la plus fiable pour l'estimation du sexe puisqu'on peut y observer les adaptations morphologiques liées à la reproduction. Chez la femme, le bassin est moins haut et plus large, permettant ainsi le passage de l'enfant lors de l'accouchement (Mays, 1998; Chamberlain, 2006). Le crâne permet aussi de différencier les femmes des hommes. Ces derniers sont entre autres caractérisés par une hypertrophie de certaines régions crâniennes, telles que les mastoïdes, la région nucale et les zones d'attachement des muscles liés à la mastication (Chamberlain, 2006). Ainsi, certaines régions anatomiques du corps humain sont plus utiles que d'autres lorsque vient le temps de faire un diagnostic (Camps *et al.*, 1968; Bruzek, 1992). Rappelons aussi que les caractères sexuels apparaissent au cours de la croissance sur le squelette. Par conséquent, la détermination du sexe est beaucoup plus facile chez les individus ayant atteint l'âge de la puberté ou l'âge adulte (Bruzek, 1992).

Malgré ces différences morphologiques, le squelette des hommes et des femmes reste extrêmement semblable dans l'ensemble. En effet, il est bien établi qu'*Homo sapiens* ne possède pas un niveau de dimorphisme sexuel très élevé, comparativement par exemple à celui facilement observable chez la majorité des primates non-humains (Plavcan, 2001). Chez l'être humain moderne, on affirme que l'homme serait seulement de 4 à 10 % plus « imposant » et plus robuste que la femme (Gaulin et Boster, 1992). L'estimation du sexe des individus archéologiques n'est donc pas toujours évidente.

Quant aux explications données pour l'existence du dimorphisme sexuel chez les humains, elles sont assez nombreuses. Nous devons bien entendu introduire ici la notion de sélection sexuelle, élaborée par Charles Darwin (1859, 1871). Celle-ci agit notamment à travers la compétition mâle-mâle (sélection intra-sexuelle) au sein d'une

même espèce, où ces derniers doivent « lutter » entre eux. L'accouplement, et plus précisément la reproduction, sont alors les motivations (Darwin, 1871; Plavcan et van Schaik, 1997; Kappeler et van Schaik, 2004). La sélection sexuelle agit généralement davantage sur les mâles, puisque la compétition entre les mâles est plus élevée que celle entre les femelles (Darwin, 1871; Andersson, 1994). Ceci entraîne la sélection d'attributs différents chez chaque sexe. Ce processus, lié aussi à un investissement parental inégal des deux sexes, produit le dimorphisme sexuel. Le dimorphisme sexuel est par conséquent en grande partie dû, chez les mammifères, à la sélection sexuelle. Chez l'humain moderne, le dimorphisme sexuel origine sûrement aussi de la sélection sexuelle. En effet, alors *qu'Homo sapiens* est peu dimorphique, nous ne pouvons exclure l'hypothèse de la sélection sexuelle puisque les hominidés montrent un degré de dimorphisme sexuel significatif, spécialement *Australopithecus afarensis* (McHenry, 1994). Le degré de dimorphisme sexuel chez les hominidés aurait diminué, pour se rapprocher de celui chez l'humain moderne, avec l'origine d'*Homo erectus* (McHenry, 1994).

Poursuivons maintenant en abordant quelques processus proximaux, via lesquels la sélection sexuelle produit un certain dimorphisme sexuel chez l'être humain moderne. Ont notamment été discutés, les processus génétiques. En fait, il y a une composante génétique à la stature et cela est notamment dû aux hormones mâles et femelles, qui ont des effets différents sur le corps (Bogin, 1999). Les jeunes hommes ont aussi une plus grande période de croissance avant la puberté que les jeunes filles. De plus, ils grandissent plus rapidement pendant leur poussée de croissance. L'influence de l'environnement a également été discutée, la nutrition jouant un rôle primordial sur la stature d'un individu (Bogin, 1999). Les jeunes garçons réagiraient plus sévèrement à une malnutrition, comparativement aux jeunes filles. Leur taille en serait ainsi affectée, laissant place à un degré de dimorphisme sexuel plus bas dans le futur (Lieberman, 1982). La reproduction, rôle génétiquement programmé, est un autre aspect important, des différences au bassin étant ainsi observables afin de permettre l'accouchement (Mays, 1998; Chamberlain, 2006). Les activités pratiquées, la division sexuelle des tâches, l'ampleur de ces tâches ou l'énergie physique requise pour ces dernières, selon

que l'on est un homme ou une femme est un autre élément dont on doit tenir compte (Gaulin et Boster, 1992; Holden et Mace, 1999). Bref, le dimorphisme sexuel, ainsi que le degré de dimorphisme sexuel observé dans une population, est probablement dû à la sélection sexuelle et à un ensemble de facteurs où génétique, environnement et culture s'entremêlent.

### 2.2.3 La variation inter-populationnelle

Alors que la variation intra-populationnelle reflète en partie le dimorphisme sexuel à l'intérieur d'un même groupe d'individus, la variation inter-populationnelle reflète principalement la géographie et l'histoire d'un peuple ou d'un groupe d'individus (Graw, 1999; Vidarsdóttir *et al.*, 2002; Harvati et Weaver, 2006). Ces deux notions se recoupent toutefois, puisque la variation intra-populationnelle peut aussi fournir des informations quant à l'histoire d'une population. Il a en effet été démontré que les composantes diagnostiques reflétant un plus grand degré de dimorphisme sexuel à l'intérieur d'une même population peuvent grandement varier d'un groupe à l'autre<sup>3</sup> (Bruzeck, 1992). Il y a donc des différences, selon les populations, dans le degré de dimorphisme sexuel observable (Eveleth et Tanner, 1990). Par exemple, certains groupes de Khoisan (famille linguistique regroupant plusieurs « ethnies ») en Afrique du Sud tendent à posséder des crânes graciles et pédomorphes, peu importe qu'il s'agisse d'hommes ou de femmes, ce qui ne correspond pas aux caractéristiques précédemment abordées pour les hommes<sup>4</sup> (Froment, 1998; Stynder *et al.*, 2007).

L'insertion de ce deuxième volet (une analyse de la variation inter-populationnelle) à une étude de la variation intra-populationnelle est enrichissante puisque ces deux types d'étude sont tout à fait complémentaires. Il devient par exemple possible d'observer si les éléments diagnostiques concernant le sexe des individus pour une population donnée sont généralisés ou spécifiques et de ce fait, cela permet de tirer

---

<sup>3</sup> Les critères discriminants obtenus ne sont souvent applicables qu'aux populations à partir desquelles ils ont été établis (Bruzeck, 1992).

<sup>4</sup> Il y a toutefois une grande variation morphologique au sein des Khoisan (au cours du temps aussi), due notamment à des isolements géographiques (Stynder *et al.*, 2007).

des conclusions sur les liens biologiques unissant ou non certains groupes. L'analyse de la variation intra-populationnelle, puisqu'elle s'attarde à une échelle d'étude plus petite, peut entre autres donner des informations précises concernant des processus à court terme (exemple : facteurs culturels, tels que les degrés d'appariement). En revanche, l'analyse de la variation inter-populationnelle reflète les distances géographiques. Elle permet donc de s'intéresser à des processus à long terme, tels que les mouvements de populations et les échanges de gènes. Plus globalement, l'étude de la variation inter-populationnelle permet de mettre en évidence les ressemblances ainsi que les différences pouvant exister entre diverses populations ou divers groupes d'individus et ce, à des échelles tant locales, régionales que mondiales. Il faut toutefois demeurer prudent dans les interprétations puisque le degré de diversité biologique humaine est relativement peu élevé, comparé à celui de certaines autres espèces (Hiernaux, 1980; Relethford, 1994 et 2002).

#### 2.2.4 Les sources de la variation

Par l'observation de la variation qui peut exister géographiquement, écologiquement et culturellement entre les populations, il est entre autres possible de déterminer les différences quant à l'histoire évolutive et aux mouvements migratoires de certains peuples (Harvati et Weaver, 2006). La migration est cependant une force convergente et non divergente, ayant pour conséquence l'homogénéisation des populations et la limitation de leur diversification (Hiernaux, 1980; Relethford, 2001). On peut détecter, par la génétique des populations, des phénomènes tels qu'un effet fondateur, un goulot d'étranglement, une expansion ou bien encore, une contraction (Relethford, 2001). On peut ainsi déterminer si des changements démographiques ont eu lieu au sein d'une population, de quelle nature sont ces modifications et leurs impacts. N'oublions pas non plus l'impact des phénomènes de dérive, de mutation et de sélection dans la diversification des populations (Hiernaux, 1980; Relethford, 2001). Pour obtenir des indices sur l'histoire et la géographie de certains peuples ou de certains groupes d'individus, on peut observer les différences ou les ressemblances morphologiques entre eux. Toutefois, cette opération n'est pas toujours facile et les

résultats dépendent grandement de la diversité existante au départ entre les populations. Il peut alors être nécessaire d'avoir recours à d'autres sources d'informations, telles que la linguistique, la génétique et l'archéologie (Cavalli-Sforza *et al.*, 1994).

Une autre chose à souligner ici concerne la valeur sélective d'un phénotype. En fait, celle-ci dépend de l'environnement où vit une population donnée. La variation clinale est un autre concept à souligner. Un cline représente la variation géographique graduelle des fréquences alléliques et permet la conservation de polymorphisme à l'échelle de l'espèce (Handley *et al.*, 2007). La variation clinale de la morphologie humaine est complexe car elle est le résultat de plusieurs variables ou de plusieurs facteurs, liés notamment à la génétique et à l'environnement. De plus, les changements de forme et de taille sont souvent très subtils entre groupes et ainsi, pas nécessairement toujours faciles à identifier, surtout si l'échantillon ne représente pas toute la variation de la population initiale.

### **2.3 Approches morphométriques : morphométrie traditionnelle et morphométrie géométrique**

Suite aux définitions données des concepts qui seront explorés dans ce projet (variation intra-populationnelle, dimorphisme sexuel et variation inter-populationnelle), seront maintenant décrites les deux méthodes morphométriques que nous désirons comparer : la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique.

#### **2.3.1 La morphométrie traditionnelle**

Les méthodes traditionnelles se traduisent dans un premier temps par la prise de mesures linéaires bidimensionnelles à l'aide d'instruments tels que le vernier et le compas d'épaisseur. Elles font généralement référence à des mesures angulaires ou linéaires classiques bidimensionnelles, telles que les longueurs, les largeurs et les hauteurs (Martin et Saller, 1959; Holland, 1986; Howells, 1989; Graw, 1999). Il s'agit donc de distances entre deux points anatomiques bien précis. Ces mesures standardisées

sont de plus intimement liées à la plupart des études anthropométriques et sont par conséquent bien connues par l'ensemble des bioanthropologues.

À partir des années 60, les analyses statistiques multivariées seront davantage utilisées en morphométrie traditionnelle. Le but est ici de faire ressortir les tendances clés sous-jacentes à la diversité biologique humaine, en corrigeant aussi pour la taille pour en faire ressortir les différences de forme essentiellement. On veut aussi observer et décrire la façon selon laquelle la forme varie au sein d'un groupe, mais aussi entre différents groupes.

Afin d'examiner le potentiel de la morphométrie traditionnelle, nous pouvons entre autres nous attarder à la question concernant le peuplement du continent américain. Ce questionnement est toutefois complexe et le débat est toujours ouvert. On cherche notamment à observer le niveau de variation existant entre les populations du « Nouveau Monde ». Ce problème a grandement été abordé à l'aide de la morphométrie crânienne. Différentes recherches concluent que les traits caractérisant les Est-Asiatiques (orientaux) et les Amérindiens récents ne se retrouvent pas chez les Paléoindiens (approximativement 11 000 à 8 000 av. J.-C.) (Jantz et Owsley, 2001; González-José *et al.*, 2005). Lahr (1995, 1996), à la suite de l'analyse de la morphologie craniofaciale de différents groupes actuels, mentionne également que certains groupes amérindiens ne possèderaient pas les traits morphologiques caractéristiques les Asiatiques du Nord-Est. Les résultats suggèrent entre autres que le « Nouveau Monde » aurait été colonisé par deux populations biologiquement différentes provenant d'Asie (Neves *et al.*, 2007). Comme nous l'avons toutefois dit ce débat sur un processus de migrations complexes et diversifiées est toujours ouvert, de nouvelles hypothèses étant sans cesse apportées, notamment par l'apport d'autres sources d'informations, telles que la linguistique et la génétique. La morphométrie traditionnelle a cependant permis d'observer la variation crânienne existant entre les nombreux individus qui ont habité le continent américain au fil des différentes époques (analyse diachronique).

Les limites liées à la morphométrie traditionnelle sont toutefois devenues contraignantes. En effet, les méthodes traditionnelles ne permettent pas la conservation de tous les aspects liés à la forme, la relation géométrique entre les variables linéaires ne pouvant être gardée (Slice, 2005). La visualisation des résultats pose aussi problèmes puisqu'il est impossible d'obtenir des représentations graphiques de la forme à partir de distances linéaires (Adams *et al.*, 2004). L'autre limite majeure de ces méthodes métriques traditionnelles est liée au fait que ces dernières deviennent inefficaces lorsque appliquées à des formes plus irrégulières, certaines zones ou régions anatomiques devenant même extrêmement difficiles d'accès, telles que la base crânienne. On tenta également de développer des techniques permettant d'éliminer l'effet de la taille (Adams *et al.*, 2004). Toutefois, alors que plusieurs furent développées, on ne s'entendait pas sur laquelle était la meilleure, aucune méthode n'étant parfaite. Cela amena certaines difficultés méthodologiques puisque chacune de ces méthodes menaient souvent à des résultats différents (Sundberg, 1989; Jungers *et al.*, 1995). C'est pour ces raisons que l'on cherche à élaborer de nouvelles méthodes de récolte et d'analyse des données, liés notamment à la morphométrie géométrique, qui permettraient d'aller plus loin dans les analyses des formes biologiques en trois dimensions (Franklin, 2005).

### 2.3.2 La morphométrie géométrique

#### 2.3.2.1 Les débuts et la révolution méthodologique

Au fil des années, plusieurs changements technologiques se sont produits et ont ainsi permis à la discipline de l'anthropologie biologique d'évoluer, de se préciser, de se raffiner (Rohlf et Marcus, 1993). Afin de contrer les limites que posaient les méthodes traditionnelles, de nouvelles techniques furent développées et mises au point. La morphométrie géométrique correspond en fait à l'ensemble des méthodes permettant l'acquisition, le traitement et l'analyse de variables liées à la forme et qui conservent toute l'information géométrique contenue dans les données. Cela permet de reconstruire les relations spatiales entre les variables et constitue d'ailleurs l'avantage clé de cette nouvelle méthode (Slice, 2005). Cette approche rassemble géométrie et biologie et rend

ainsi possible l'étude de la variation morphologique en trois dimensions (Bookstein, 1982). Les méthodes liées à la morphométrie géométrique permettent de visualiser et surtout, de quantifier les changements dits de « forme », grâce aux coordonnées x, y, z recueillies (Adams *et al.*, 2004). Cela permet par conséquent d'observer facilement et de détailler les différences morphologiques qui existent entre les spécimens à l'étude.

C'est plus précisément à partir des années 90 que la morphométrie géométrique est devenue de plus en plus connue et que l'on a vu augmenter le nombre de publications rapportant les résultats obtenus avec cette nouvelle méthode (Adams *et al.*, 2004). Cela est peut-être dû au caractère versatile de ces techniques, pouvant être utilisées tant en anthropologie qu'en anthropologie médico-légale, ou qu'en biologie (Franklin, 2007; Jonke *et al.*, 2007; Clabaut *et al.*, 2007).

### 2.3.2.2 « The outline methods » et « The landmark methods »

La première étape liée à la morphométrie géométrique fut le développement d'une méthode nommée en anglais « the outline methods » (Slice, 2005; Adams *et al.*, 2004). Il s'agit plus précisément de numériser un contour, tel que le profil du front d'un crâne. On utilise par la suite certaines méthodes d'analyses bien spécifiques, telles que les analyses de Fourier, qui permettent de traduire ces données brutes (les coordonnées) en un système d'équations qui décrivent ainsi parfaitement la courbe ou le profil en question. Les courbes peuvent ensuite être mathématiquement et statistiquement décrites, puis comparées.

La seconde étape majeure dans l'évolution et le développement des techniques liées à morphométrie géométrique se nomme « the landmark methods » (Bookstein, 1991; Slice, 2005; Franklin, 2005). Cela consiste à numériser des points de repères, préalablement déterminés, sur chacun des spécimens faisant partie de l'échantillon. La détermination des points d'intérêts dépend principalement des questions que le chercheur se pose et de ce qu'il souhaite observer. Il pourra ainsi se bâtir une liste de composantes à recueillir. Les coordonnées sont recueillies à partir, par exemple, d'un

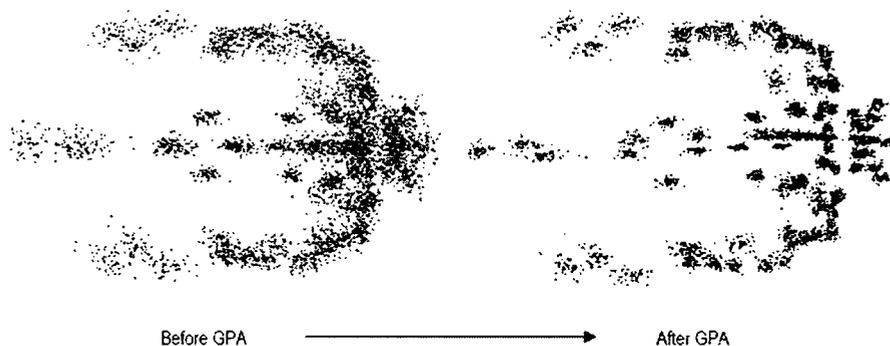
Microscribe (G2X dans notre cas) ou d'un scanner laser (Hennessy et Stringer, 2002). Parce que la définition d'un point anatomique peut être différente d'un auteur à l'autre, il est très important d'indiquer la source littéraire employée et de trouver les équivalences (même problème pour la méthode traditionnelle). Notons que Fred L. Bookstein (1991) a subdivisé les points de référence anatomiques en trois catégories bien distinctes, ce qui permet de mieux comprendre l'erreur liée à chaque type de points. Le premier type rassemble tous les points désignant une homologie biologique, par exemple l'intersection entre os ou tissus (peu d'erreurs). Le deuxième type fait référence aux points extrêmes, comme le maximum d'une courbure. Le troisième type rassemble les points déficients qui sont obtenus par construction géométrique ou par mesure (plus d'erreurs).

### 2.3.2.3 L'analyse des données

Une fois les coordonnées récoltées elles sont par la suite analysées. Deux étapes, complémentaires, la GPA (« Generalised Procrustes analysis ») et l'ACP (Analyse en Composantes Principales – aussi utilisée en morphométrie traditionnelle), doivent alors être effectuées. Ces deux étapes peuvent être effectuées à l'aide de *Morphologika*, programme informatique élaboré par O'Higgins et Jones (2006). Ce dernier est particulièrement utile lorsque l'on désire analyser et explorer les variations liées à la forme et à la taille. *Morphologika* permet également de reconstituer les formes étudiées en trois dimensions, ce qui rend la visualisation de l'ensemble plus simple (O'Higgins et Jones, 2006).

La GPA (« Generalised Procrustes analysis ») permet dans un premier temps de superposer, de la meilleure façon possible, les coordonnées correspondant à chaque spécimen étudié sans tenir compte du facteur taille (O'Higgins et Jones, 1998; Harvati, 2002; Adams *et al.*, 2004) (figure 2.2). Il est ainsi possible à cette étape de supprimer l'effet dû à la différence de taille, ce qui permet de ne comparer que la forme de l'objet mesuré (Franklin, 2005). Ce processus est effectué en divisant les coordonnées par la taille centroïde (Baylac *et al.*, 2003). Précisons que la taille centroïde est utilisée comme

une expression biologiquement significative de la taille globale de la configuration des points, et donc du crâne (Vidarsdottir *et al.*, 2002). Elle est aussi la mesure de taille la plus utilisée dans les analyses de la forme (Kendall, 1984; Dryden et Mardia, 1998). Enfin, la GPA permet d'ajuster les données brutes, c'est-à-dire les différentes et nombreuses coordonnées recueillies, de sorte que les effets de la variation due à la position, à l'orientation et à l'échelle soient mathématiquement éliminés (O'Higgins et Jones, 2006).



**Figure 2.1.** Effet de la GPA – Vue supérieure de 50 crânes numérisés (Franklin, 2005 : 157).

Pour sa part, l'ACP (Analyse en Composantes Principales), permet l'identification et l'examen des composantes principales de la variation étudiée (Franklin *et al.*, 2006). Elle permet d'analyser les principaux modes de variation de la forme entre les spécimens à l'étude ou la relation complexe entre plusieurs tendances morphologiques observées grâce à l'identification de groupes de variables hautement corrélées entre elles (Stafford et Bodson, 2006). Ainsi, on peut identifier les composantes qui expliquent le plus les différences entre les spécimens à l'étude (proportion de variance) et de quelle nature sont ces différences. L'ACP représente l'une des différentes méthodes multifactorielles d'analyse des données et est aussi largement employée en morphométrie traditionnelle. Elle peut être appliquée lorsque l'on doit analyser des tableaux de variables quantitatives (Escofier et Pagès, 1998).

### 2.3.3 Conclusion : synthèse méthodologique

La morphométrie géométrique est un protocole qui ne cesse d'évoluer et qui représente une avancée indéniable en terme de cueillette et d'analyse des données et de visualisation des changements morphologiques. En effet, l'information géométrique concernant la position relative des points de repères est conservée et la visualisation des spécimens dans leur espace d'origine est possible. Toutefois ce protocole n'est pas exempt de défaut. Les spécimens en mauvais état de conservation ou grandement endommagés, doivent souvent être éliminés de l'échantillon puisque pour une même analyse, il est nécessaire d'avoir les mêmes points de repères pour chaque individu, notamment pour des raisons informatiques (Adams *et al.*, 2004; Franklin, 2005). Les données manquantes causent en effet des problèmes lorsque vient le temps d'analyser dans un programme informatique tel que *Morphologika*. Ainsi, de nouveaux développements et protocoles sont nécessaires afin d'augmenter les applications de la discipline et pour contrer les inconvénients qui empêchent parfois de pousser plus loin les analyses. Retenons finalement que la morphométrie traditionnelle, malgré ses défauts, a su faire ses preuves en terme d'analyses (Lahr, 1996; Lahr et Wright, 1996; Graw, 1999; González-José *et al.*, 2005; Neves *et al.*, 2007).

Pour ces raisons, nous croyons qu'il est utile de comparer à tous points de vue (cueillette des données brutes, analyses des données, visualisation, interprétation, conclusions tirées) la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique.

## **2.4 Morphométrie crânienne géométrique vs morphométrie crânienne traditionnelle**

Seront maintenant comparés les résultats obtenus par la morphométrie géométrique de ceux obtenus par la morphométrie traditionnelle à propos de thèmes similaires, liés à l'anthropobiologie. Pour ce faire, certaines recherches qui nous ont semblé être enrichissantes et pertinentes pour ce travail de synthèse seront présentées. Nous nous sommes ici uniquement concentrés sur des articles portant sur la morphologie

crânienne puisque c'est cette partie du squelette humain qui est utilisée dans le cadre de ce projet de maîtrise. La synthèse est divisée en trois parties principales, selon trois thèmes précis de recherche: les questions relatives à l'histoire évolutive des humains, le dimorphisme sexuel et enfin, la variation inter-populationnelle actuelle ou inter-régionale. Nous tenterons donc d'observer de quelle façon les deux méthodes sont employées afin d'apporter de nouveaux éléments de réponses concernant ces thèmes et si des comparaisons sont possibles entre les résultats obtenus par chacune.

#### 2.4.1 Les questions relatives à l'histoire évolutive des humains

D'emblée, Froment (2002) s'est intéressé à l'influence que peut avoir l'environnement sur l'évolution du squelette. C'est par l'observation de l'impact des deux transitions majeures étant survenues durant l'Holocène, la fin de l'ère glaciaire et la dispersion de l'agriculture, sur les proportions du corps et la forme du crâne des individus, qu'il a étudié le phénomène. Par l'utilisation d'une série de mesures linéaires, il n'observe pas d'influence du climat sur les proportions du corps, alors que la forme du crâne semble changer progressivement. Même s'il est difficile d'identifier la cause de ce changement, la morphométrie traditionnelle a permis ici d'étudier la problématique diachronique. Dans la même lignée, Harvati et Weaver (2006) ont observé le potentiel que pouvaient avoir certaines régions crâniennes à donner des informations concernant le climat et l'histoire des populations. Par l'utilisation de la morphométrie géométrique tridimensionnelle et l'étude de 13 populations humaines actuelles, il a été démontré que la forme de la face reflétait le climat et que celle de l'os temporal et celle de la voûte reflétaient pour leur part des distances génétiques neutres. L'emploi de la morphométrie géométrique a donc ici permis de découvrir que différentes régions du crâne pouvaient conserver différents types d'informations (distinction entre phylogénétique et environnemental). Si on compare les informations obtenues par ces deux articles, on remarque qu'elles sont plus précises dans le cas où la morphométrie géométrique fut employée.

Paul O'Higgins (2000), s'est intéressé à l'application des méthodes liées à la morphométrie géométrique sur l'évolution du squelette dans la famille des primates. L'auteur présente trois de ses études démontrant l'utilité de la morphométrie géométrique pour l'analyse de la variation squelettique, dont deux portant sur le squelette cranio-facial. Nous aborderons ici la première (Spoor *et al.*, 1999; O'Higgins, 2000), qui porte sur la façon dont la face varie en relation avec la base crânienne chez différents spécimens d'*Homo* et chez l'humain actuel. Plus précisément, on recherche dans ce cas la raison pour laquelle la face moderne est enfouie sous la base crânienne antérieure, comparativement à celle des fossiles (processus de flexion). Lieberman (1998) avait aussi étudié la question par l'utilisation de mesures angulaires et linéaires, prises sur des radiographies. Il avait observé une réduction du sphénoïde antérieur. Toutefois, lorsque la morphométrie géométrique fut appliquée (Spoor *et al.*, 1999; O'Higgins, 2000), on découvrit plutôt une réduction générale de la taille relative de la face chez les humains modernes pour expliquer le phénomène. La face supérieure de ces derniers serait repositionnée et réduite, relativement à la base antérieure. La morphométrie géométrique a donc permis ici une meilleure visualisation ainsi qu'une analyse de la variation de la forme de la face et de la base crânienne entre des modèles *Homo* modernes et fossiles.

#### 2.4.2 Le dimorphisme sexuel

Dans un premier temps, seront discutées deux publications portant sur la question de la détermination du sexe à l'aide de la morphométrie traditionnelle. La première publication est un article écrit par Holland (1986), portant précisément sur la détermination du sexe à partir de la base crânienne. Ce sont des crânes fragmentés ou déformés qui furent utilisés, problème auquel sont souvent confrontés les bioarchéologues. Seules les régions du foramen magnum et des surfaces articulaires occipitales furent ici mesurées (à l'aide d'un vernier). Elles ont permis d'identifier le sexe des individus avec une précision variant de 71 à 90%. La méthode employée peut donc être appliquée en contexte archéologique. Graw (1999) a également abordé ce sujet, c'est-à-dire la détermination métrique du sexe en utilisant la base crânienne. À

partir de six distances métriques prises sur cette région anatomique, l'auteur est parvenu à une identification exacte du sexe pour environ 80% des cas.

Certains chercheurs ont intégré à leurs études morphométriques les techniques liées à la morphométrie géométrique, afin d'en vérifier le potentiel et l'efficacité. Franklin (2005, 2006) est l'un de ceux-ci. Il a voulu comparer les résultats concernant le dimorphisme sexuel obtenus auparavant par la méthode traditionnelle (de Villiers, 1968; Rightmire, 1971) de ceux qu'il a obtenus par la morphométrie géométrique. Dans tous les cas ce sont les crânes de la collection R.A. Dart qui furent étudiés. Franklin s'est plus précisément intéressé au dimorphisme sexuel crânien chez certaines populations de l'Afrique du Sud parlant la langue Bantu. 87% des individus ont été correctement classés selon leur sexe. Précisons toutefois que Rightmire (1971) était parvenu à un résultat de 90,6%. L'écart entre les deux peut toutefois provenir du fait que Rightmire avait utilisé 2 populations locales (Zulu et Sotho), comparativement à 5 (Zulu, Swazi, Xhosa, Southern Sotho et Tswana) pour Franklin *et al.* (2006). En effet, une taille d'échantillon plus grande fait baisser la précision. Les techniques géométriques ont cependant permis de préciser le potentiel de certains caractères morphologiques reliés au dimorphisme sexuel et d'en démontrer de nouveaux. La largeur bizygomatique (méthode traditionnelle aussi), la forme du front, la forme de la crête supramastoïde et le prognathisme alvéolaire (méthode traditionnelle aussi) sont parmi les plus discriminants pour ces populations sud-africaines.

Suite aux articles précédemment présentés, sera maintenant abordé un cas où seule la morphométrie géométrique a été employée. Pretorius *et al.* (2006) se sont intéressés au potentiel des techniques liées à la géométrie morphométrique pour la détermination du sexe chez des individus provenant de l'Afrique du Sud. Pour ce faire, les auteurs ont étudié la forme de trois régions anatomiques différentes : la grande échancrure sciatique, la flexure de la branche mandibulaire et les orbites. La première donna les meilleurs résultats, c'est-à-dire que la séparation entre les sexes était très claire (87,1% des femmes et 93,1% des hommes furent correctement assignés à leur groupe d'origine) alors qu'étonnamment, la forme des orbites (80% et 73,3%) surpassa celle de la branche

mandibulaire (67,8% et 69,9%). Les auteurs proposent certaines explications à ce résultat, mais proposent que d'autres études concernant la forme des orbites soient effectuées.

#### 2.4.3 La variation inter-populationnelle actuelle

Comme nous l'avons précédemment vu à la section 2.3.1, la morphométrie traditionnelle a permis d'observer des variations morphologiques crâniennes entre différents individus ou populations en rapport notamment avec le questionnement concernant le peuplement du continent américain (Jantz et Owsley, 2001; González-José *et al.*, 2005; Neves *et al.*, 2007). Ceci a permis l'apport de nouvelles hypothèses et le rejet de certaines théories liées au débat, notamment quant au nombre de vagues de migration. Lahr (1996), qui s'est aussi penchée sur cette question, a voulu observer le taux de différenciation entre certaines populations modernes (Europe, Afrique subsaharienne, Asie du sud-est, Asie de l'est, Australie). Ses recherches sont aussi liées à l'évolution d'*Homo sapiens sapiens* (origines de la diversité morphologique actuelle). À l'aide d'une série de mesures (métriques) et de caractères discrets (non-métriques), l'auteur a notamment voulu observer quels étaient les traits craniométriques qui démontraient une différenciation significative entre ces populations. Les résultats obtenus par l'analyse des dimensions crâniennes démontrent un haut degré de différenciation entre les populations.

Voyons maintenant ce que l'utilisation de la morphométrie géométrique peut apporter aux questions concernant la diversité biologique humaine et plus précisément, sur les différences existant entre certains groupes ou populations. Vidarsdottir, O'Higgins et Stringer (2002) se sont intéressés à la variation inter-populationnelle du squelette facial chez dix populations humaines modernes et ce, à l'aide de la morphométrie géométrique. Il s'agissait précisément de découvrir dans quelle mesure les caractères adultes représentatifs de chaque population sont présents dans la période post-natale et dans quelle mesure les différences entre les populations en ce qui concerne notamment les trajectoires allométriques créent des formes faciales distinctes. Les

résultats ont démontré que seule la forme de la face pouvait permettre de distinguer les populations à l'étude, peu importe l'âge ou le sexe des individus. Ceci indiquerait par conséquent une présence précoce des aspects principaux de la morphologie dans la vie des individus, propres à chaque population. Les différences entre les groupes seraient également dues à des trajectoires ontogénétiques différentes et à leur évolution au cours du temps. Cette étude pourrait donc grandement apporter aux domaines de l'anthropologie biologique, de l'archéologie et de l'anthropologie médico-légale, notamment pour l'identification des individus immatures et la détermination de l'origine géographique. La taille de l'échantillon était cependant petite. Il faut donc être prudent avec les interprétations.

Dans le même ordre d'idées, l'étude menée par Hennesy et Stringer (2002) avait pour principal but de caractériser la variabilité régionale de la forme du squelette cranio-facial à partir d'un échantillon composé d'humains modernes. Les individus de l'échantillon provenaient de quatre groupes différents: 68 Britto-romains, 35 Australiens, 35 Africains de l'Ouest et 29 Inuits. Les auteurs ont utilisés la technologie du balayage laser et les méthodes de la morphométrie géométrique pour cette étude. Les analyses effectuées ont permis de conclure qu'aucun dimorphisme sexuel significatif n'était présent chez les Britto-romains. Ceux-ci se distinguaient plus particulièrement des Australiens et des Africains de l'Ouest. Ces deux derniers groupes démontraient quant à eux un haut niveau de ressemblance. Enfin, les Inuits étaient pour leur part très différents des trois autres groupes. On ne mentionne toutefois rien concernant le dimorphisme sexuel à l'intérieur de ce groupe. Nous savons toutefois que les Inuits sont sexuellement dichotomiques par rapport au comportement (Merbs, 1983). En somme, tous les résultats obtenus ont permis d'établir des variations entre les groupes, ainsi qu'à l'intérieur de certain groupe et ainsi, de caractériser la forme de la face des quatre groupes à l'étude.

#### 2.4.4 Synthèse

Pour conclure, comme nous avons pu le remarquer, les techniques et les méthodes appartenant à la morphométrie géométrique offrent certains avantages que les méthodes classiques ou traditionnelles n'offrent pas, telle que la conservation de l'information géométrique liée à la forme. Soulignons toutefois que la morphométrie traditionnelle a aussi apporté des résultats convaincants, non négligeables, notamment quant à l'étude du dimorphisme sexuel. En effet, on constate dans ce dernier cas que les deux méthodes ont donné de bons résultats (au-dessus de 80% de précision). De ce fait, on peut affirmer que les deux méthodologies sont complémentaires. La différence majeure que l'on peut observer est probablement une meilleure visualisation de la variation de la forme entre les spécimens à l'étude lorsque la morphométrie géométrique est appliquée. Elle a entre autres permis d'apporter de nouveaux éléments de réponse concernant notamment l'origine de l'Homme moderne et l'évolution du squelette (forme et taille), comme dans le cas d'O'Higgins (2000). Ses applications ne se résument pas à cela : elle s'est révélée être fort utile pour la détermination du sexe (Franklin *et al.*, 2006) et de l'appartenance d'un individu à une population (Hennessy et Stringer, 2002). Ainsi, l'application de la morphométrie géométrique en anthropologie biologique a permis l'obtention de nouvelles données et la confirmation d'informations obtenues par la morphométrie traditionnelle.

### CHAPITRE 3 : PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

En bioarchéologie l'identification des individus mis au jour ou qui sont en cours d'étude est une étape primordiale de l'analyse ostéologique (Graw, 1999), l'évaluation du sexe et l'estimation de l'âge de chaque spécimen constituant des données de base essentielles (Kjellström, 2004). Ces paramètres permettent en effet d'obtenir des informations paléodémographiques sur la ou les populations que l'on désire détailler ou analyser. Toutefois, le bioarchéologue qui désire étudier les populations humaines passées sous leur aspect biologique est contraint de travailler avec des ossements en mauvais état de conservation. Notamment, dans un contexte archéologique, ce sont les os du bassin qui fournissent les critères les plus fiables pour la détermination du sexe (Bruzek, 1992). Or, ils sont souvent retrouvés en mauvais état de conservation en raison de leur fragilité. Ce projet propose donc d'explorer ici une autre région anatomique humaine, le crâne, afin d'y analyser la variation morphométrique entre des individus appartenant à un même groupe et entre différentes populations. Nous visons plus particulièrement une meilleure compréhension et une analyse plus approfondie de la morphologie de la base crânienne, région anatomique encore peu explorée jusqu'à présent, et l'examen de son potentiel dans l'identification du sexe des individus. Il sera également intéressant de vérifier si la variation de certains caractères crâniens (tant sur la base, que sur la face et la voûte) peuvent nous informer sur la diversité intra- et inter-populationnelle (Howells, 1995; Roseman et Weaver, 2004).

Le projet propose donc une exploration préliminaire de la variation intra-populationnelle (en relation avec l'estimation du sexe) et inter-populationnelle à travers les deux méthodes déjà décrites : la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique. Alors que la littérature soutient que la morphométrie géométrique est plus détaillée que l'approche traditionnelle (O'Higgins et Jones, 1998; Hennessy et Stringer, 2002; Adams *et al.*, 2004; Franklin, 2006; Pretorius *et al.*, 2006), peu d'articles se sont attardés à les comparer. Par conséquent, le projet vise principalement à faire une comparaison de ces deux approches méthodologiques. En fait, la quantité et la nature

des informations que l'on obtient par ces méthodes à partir des mêmes individus seront confrontées. Plus concrètement, on se posera des questions telles que :

1. Par rapport à la méthode traditionnelle, la variation intra-populationnelle est-elle mieux détaillée pour l'estimation du sexe à partir des résultats de la morphométrie géométrique?
2. Quel est le potentiel de cette récente méthode pour la détermination du sexe en relation en particulier avec la base du crâne ?
3. Par rapport à la méthode traditionnelle, la morphométrie géométrique apporte-t-elle des informations supplémentaires quant à la variation inter-populationnelle?
4. Est-ce que les résultats obtenus par les deux méthodes se complètent?

Pour réaliser notre objectif principal de recherche, ce projet propose dans un premier temps l'observation et l'analyse du dimorphisme sexuel (variation intra-populationnelle) au sein d'une population inuit provenant du Nunavut, les Sadlermiut, groupe maintenant éteint qui fut entre autres étudié par Charles F. Merbs (1983). Bref, il s'agira de vérifier si le crâne, et plus particulièrement la base crânienne, apportent des informations sur le sexe des individus étudiés. Toutefois, la nature de l'échantillon – sexe inconnu, mais estimé – ne nous permettra pas de tester l'efficacité à 100%, mais de révéler, par exemple, s'il y a ou non une variation dimorphique au sein de l'échantillon sous étude.

Dans un deuxième temps, ce projet tentera de faire l'examen des différences morphologiques crâniennes (s'étendant à l'ensemble du crâne : base, voûte, face) entre trois populations provenant toutes du Canada. Je tenterai plus précisément d'examiner si des variations inter-régionales existent entre ces populations et la nature de ces variations (si elles sont détectées). Pour le Nunavut, situé à l'est du territoire, les données ont été prélevées sur une population inuit, les Sadlermiut (63 individus). Pour la région centrale du Canada, nous avons choisi des individus provenant du Manitoba (14 individus). Enfin, pour la Colombie-Britannique, située à l'ouest, ce sont 30

individus Tsimshians provenant de sites archéologiques faisant partis du « Prince Rupert Harbour Project » qui ont été sélectionnés (Cybulski, 2001).

Pour parvenir à observer la variation intra-populationnelle et inter-populationnelle, il aurait été préférable d'avoir de très grands échantillons, ce qui était malheureusement impossible. Comme la taille de l'échantillon est très réduite et que le nombre d'individus entre les trois populations est extrêmement variable (représentativité régionale très inégale), l'interprétation des résultats restera très préliminaire. De plus, à l'exception de la population provenant du Nunavut, la détermination du sexe des individus est plutôt incertaine, principalement dû au fait que la conservation post-crânienne n'est pas excellente. Cette estimation reste une donnée relative, car tous les spécimens ne proviennent pas de populations de référence (âge et sexe connus).

Enfin, lorsque l'on désire observer le degré de dimorphisme sexuel au sein d'une population ou les variations morphologiques entre différentes populations, il faut se demander si l'on doit corriger les variables pour la taille. Cela nous amène donc à poser une question d'ordre morphométrique : La variation humaine est-elle plus liée à la taille ou à la forme ou à un mélange des deux? Ce questionnement fait notamment référence à la notion d'allométrie, qui permet d'examiner la relation entre forme et taille (Mosimann et James, 1979; Bookstein *et al.*, 1985; Klingenberg, 1998). En fait, on étudie ici le changement d'un aspect mesurable d'un organisme, en fonction d'une augmentation ou d'une diminution de la taille de cet organisme. Dans les analyses nous testerons les possibilités, en comparant les résultats obtenus à partir des données brutes de ceux obtenus à partir des données corrigées pour la taille. Nous tenterons ainsi d'observer à quoi est lié l'essentiel de la variation humaine au sein de ces échantillons crâniens.

## CHAPITRE 4 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 4.1 Populations à l'étude

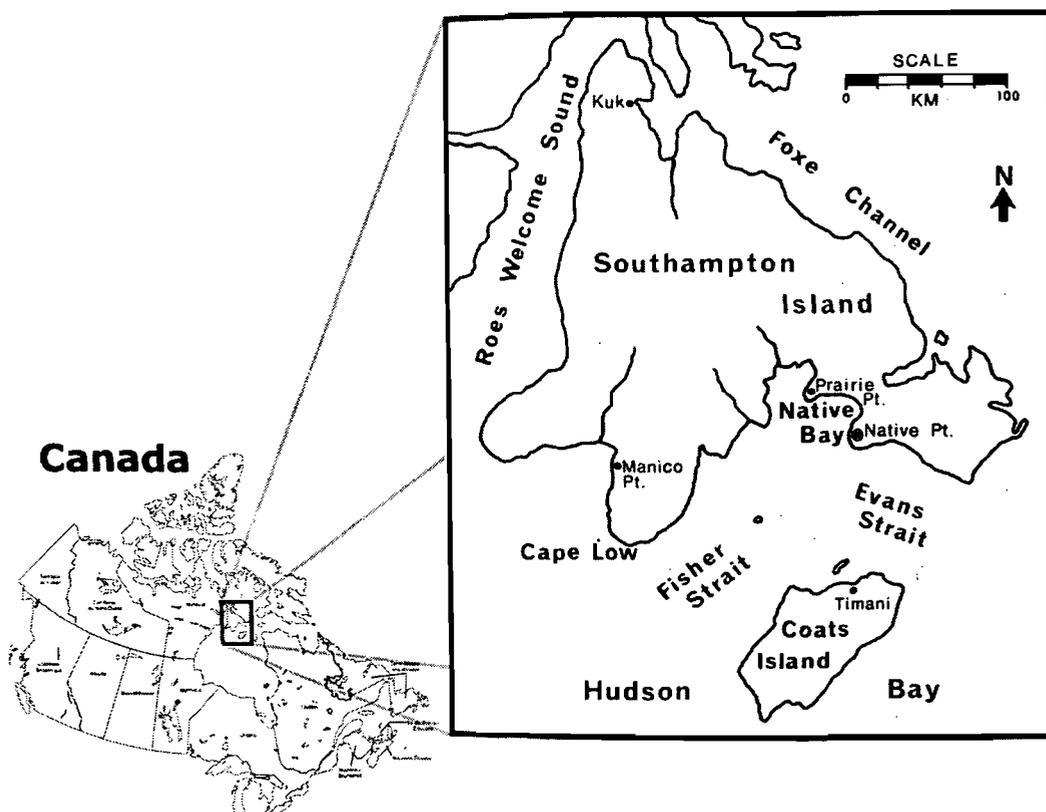
Les données ont été recueillies à partir de collections ostéologiques entreposées au Musée Canadien des Civilisations de Gatineau. Le sexe et l'âge des individus ont été obtenus au musée, ces données ayant déjà été estimées; il ne s'agit donc pas de collections de référence. Ces informations ont toutefois été vérifiées à l'aide de certains critères. Le statut adulte des individus a été confirmé par l'observation de la dentition, c'est-à-dire la présence de la troisième molaire maxillaire (Ubelaker, 1999), et par la fusion de la synchondrose sphéno-occipitale, qui sépare le sphénoïde de l'occipital (Krogman et İşcan, 1986). Pour la détermination du sexe à partir du crâne nous nous sommes basés sur les critères établis par Buikstra et Ubelaker (1994). Ces derniers font par exemple référence à la robustesse de la crête nucale, à la taille du processus mastoïdien, à la forme de la marge supérieure de l'orbite et à la proéminence de la glabelle. Enfin, lorsque les os du bassin étaient présents, une attention particulière a été portée à ces éléments : la grande échancrure sciatique, l'acetabulum et la facette auriculaire (Ubelaker, 1999).

L'échantillon inclut uniquement les individus adultes et seuls les individus pour lesquels le crâne était complet ou presque ont été sélectionnés, afin d'assurer une analyse plus complète. Étant donné les objectifs de recherche de ce projet, l'échantillon se compose d'individus provenant de trois régions géographiques différentes du Canada. Dans la première section de ce chapitre chacune de ces populations sera décrite : taille de l'échantillon, état de conservation, provenance archéologique, description du site et histoire de la population, si les informations sont disponibles.

#### 4.1.1 Nunavut : Les Sadlermiut de Native Point, Île Southampton

Les Sadlermiut furent retrouvés sur un site archéologique nommé Native Point, situé sur l'île Southampton, à l'entrée de la baie d'Hudson, au Nunavut (créé en 1999,

appartenant jusqu'à cette date aux Territoires du Nord-Ouest). Le site est plus précisément situé sur la côte sud de l'île, du côté est de « Native Bay » (figure 4.1) et il est connu comme étant le plus grand site d'établissement des Sadlermiut sur cette île (Merbs, 1983). Ce peuple inuit est désormais complètement éteint. En effet, à l'hiver 1902-1903, les Sadlermiut furent frappés par une maladie infectieuse, qui n'a pu être identifiée avec certitude et qui fut introduite par les chasseurs de baleines (Cassidy, 1977; Merbs, 1983).



**Figure 4.1.** Carte géographique de l'emplacement du site archéologique de Native Point, sur l'île Southampton, au Nunavut (adaptée de Merbs, 1983). Vue d'ensemble du Canada.

Deux campagnes archéologiques furent conduites sur le site de Native Point. La première fut effectuée en 1954-1955 par Henry B. Collins et la seconde, en 1959, par William S. Laughlin et Charles F. Merbs (Merbs, 1983). Les Sadlermiut constituent un groupe d'individus extrêmement intéressant à étudier puisque la conservation des ossements est très bonne. Il est cependant difficile d'affirmer avec précision la période chronologique correspondant aux squelettes mis au jour à Native Point. Nous savons toutefois que cela ne représente certainement pas plus de 500 ans (Merbs, 1983).

Les Sadlermiut étaient différents de leurs voisins, principalement quant à leurs coutumes. Cela est peut-être attribuable au fait qu'ils étaient particulièrement isolés (tant géographiquement, que génétiquement et culturellement) et que le premier contact qu'ils eurent avec les Européens ne se fit que très tardivement dans l'histoire : c'est-à-dire pas avant 1824, et que les suivants ne furent pas très fréquents (Merbs, 1983). Les différences alors observées avec les autres groupes peuvent être expliquées, en partie, par une absence d'acculturation. Les Sadlermiut sont également différents par le fait que bien qu'ils furent largement influencés par la culture Thule (1000 à 1800 ap. J.-C.), ils semblent également avoir tiré une partie de leur culture de celle des Dorsétiens (550 av. J.-C. à 1100) (Clark, 1980 ; Hayes *et al.*, 2002).

Pour ce projet de maîtrise, 63 individus furent sélectionnés, incluant 32 femmes et 31 hommes. L'état de conservation des individus est globalement très bon (présence d'au moins 70% du squelette).

#### 4.1.2 Manitoba

Pour la région centrale du Canada, 14 individus provenant de sept différents endroits (ca. 900 à 1650 ap. J.-C.) situés au Manitoba ont été choisis. Très peu de spécimens étaient disponibles, mais l'état de conservation des crânes sélectionnés est généralement bon (suffisant pour la collecte de données). Les indications concernant le sexe ou la provenance sont toutefois parfois indéterminées. Peu d'informations sont disponibles et tous les crânes ne proviennent pas de sites archéologiques documentés. Des dates précises absolues, par exemple au  $C^{14}$ , de l'occupation des sites n'ont pu être trouvées. Le tableau 4.1 indique les différentes provenances des crânes, les périodes chronologiques qui y sont associées (termes utilisés dans l'inventaire du musée), ainsi que le nombre d'individus pour chaque sexe.

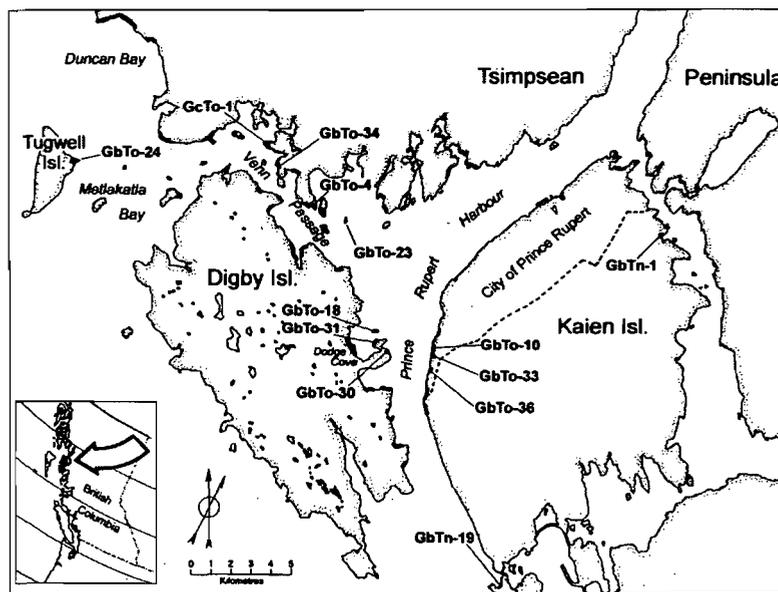
**Tableau 4.1.** Informations concernant l'échantillon du Manitoba.

Provenance	Époque	Femmes	Hommes	Total
Alexander	Préhistorique tardif	0	1	<b>1</b>
Arden	Préhistorique tardif	1	0	<b>1</b>
Stott Mound	Préhistorique tardif	0	2	<b>2</b>
Sourisford	Préhistorique tardif	1	3	<b>4</b>
North Antler	Préhistorique tardif	0	2	<b>2</b>
Snowflake	Préhistorique tardif	1	1	<b>2</b>
Fort Prince of Wales	Historique et Moderne	1	1	<b>2</b>
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>10</b>	<b>14</b>

#### 4.1.3 Colombie-Britannique : « The Prince Rupert Harbour Project »

Enfin, pour l'ouest, nous nous sommes attardés à la Colombie-Britannique, plus précisément à sept sites archéologiques faisant partis du « Prince Rupert Harbour Project » (figure 4.2) (Cybulski, 2001). Ce projet, sous la direction de Georges MacDonald, débuta en 1966, mais faisait suite à une série de sondages et de fouilles réalisés dès 1910. Harlan I. Smith, Diamond Jenness et Marius Barbeau sont parmi ceux qui ont travaillé dans la région. Le projet se termina en 1973, mais un dernier site fut fouillé en 1978. Pour ce cas-ci, les données ont été recueillies sur des individus Tsimshians, groupe qui a occupé la côte nord du Pacifique (Ames et Maschner, 1999) pendant plus de 5000 ans<sup>5</sup> et au sein duquel une hiérarchie sociale est évidente. Les premiers Européens sont arrivés au havre de Prince Rupert dans les années 1780, mais ce nouveau contact n'aurait pas eu d'incidence sur le mode de vie et la culture des Tsimshians. L'état de conservation général des crânes est plutôt moyen. Certains crânes sont en excellent état alors que pour d'autres, un recollage a été effectué ou alors certaines régions crâniennes sont tout simplement manquantes. L'échantillon se compose de 30 individus, dont 8 femmes et 22 hommes (tableau 4.2).

<sup>5</sup> Datation au carbone 14 obtenue pour les sites les plus anciens (MacDonald, 1969).



**Figure 4.2.** Carte géographique de l'emplacement des sites archéologiques faisant partie du « Prince Rupert Harbour Project » (Cybulski, 2001 : 5). GbTo-31 : Boardwalk; GbTo-30 : Parizeau Point; GbTn-19 : Ridley Island; GbTo-23 : Garden Island; GbTo-36 : Baldwin; GbTo-18 : Dodge Island; GbTo-33 : Lachane.

**Tableau 4.2.** Informations concernant l'échantillon de la Colombie-Britannique.

Provenance	Femmes	Hommes	Total
Boardwalk	3	9	<b>12</b>
Parizeau Point	1	0	<b>1</b>
Ridley Island	0	1	<b>1</b>
Garden Island	1	2	<b>3</b>
Baldwin	0	3	<b>3</b>
Dodge Island	2	1	<b>3</b>
Lachane	1	6	<b>7</b>
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>30</b>

Finalement, le tableau 4.3 résume la taille totale de l'échantillon, indiquant l'époque et le nombre d'individus de chaque sexe pour les trois populations à l'étude. On peut souligner malheureusement le manque de datations absolues pour les échantillons plus anciens et la représentativité inter-régionale très réduite au niveau de la taille des échantillons : l'échantillon global disponible reflète probablement une période de plus de 5000 ans dispersés sur un territoire de plus de 5000 km (d'est en ouest).

**Tableau 4.3.** L'échantillon total.

Provenance	Époque	Femmes	Hommes	Total
Nunavut	Le groupe s'éteint en 1903; 500 ans d'occupation (donc, possiblement du 15 <sup>e</sup> au 19 <sup>e</sup> siècle ap. J.-C.).	32	31	<b>63</b>
Manitoba	ca. 900 à 1650 ap. J.-C.	4	10	<b>14</b>
Colombie-Britannique	Les derniers 5000 ans.	8	22	<b>30</b>
<b>Total</b>		<b>44</b>	<b>63</b>	<b>107</b>

## 4.2 Récolte des données brutes

### 4.2.1 Morphométrie traditionnelle

Dans un premier temps, il a fallu établir une liste des mesures à prendre sur les spécimens sélectionnés, en lien avec les objectifs de recherche de ce projet de maîtrise. Pour ce faire, certaines sources bibliographiques ont été utilisées, telles que Martin et Saller, 1959; Holland, 1986; Howells, 1989 et Graw, 1999. Au total, 40 mesures ont été retenues pour le projet. Plus précisément, 7 d'entre elles se situent sur la voûte crânienne, alors que 19 se retrouvent sur la face et 14 sur la base crânienne. L'annexe A présente ces différentes mesures linéaires : abréviation, définition, référence. La figure qui suit le tableau de cette même annexe permet pour sa part de visualiser l'emplacement de ces mesures sur le crâne. Afin de bien situer les mesures linéaires, il faut se référer au tableau de l'annexe B, qui présente les définitions des points anatomiques utilisés dans le cadre de ce projet de recherche.

Par la suite, à l'aide d'un compas d'épaisseur et d'un vernier, chacune des mesures prédéterminées (40) a été récoltée sur tous les crânes faisant partis de l'échantillon. Pour l'enregistrement des données brutes, SPSS (version 11.5 pour Windows) a été utilisé.

Finalement, afin de vérifier le degré d'erreurs intra-observateur dans la prise des données (Heathcote, 1981; von Cramon-Taubadel *et al.*, 2007), cette méthodologie a été appliquée sur 12 crânes, provenant du laboratoire de Michelle Drapeau, Université de

Montréal, département d'anthropologie. La précision lors de la prise des données est en effet extrêmement importante afin d'obtenir des résultats stables, et surtout fiables d'un point de vue scientifique. Pour chaque crâne, les mesures ont donc été prises trois fois sur une période de deux semaines. Un t-test a été effectué pour comparer les données recueillies. Pour chaque mesure, les données des observations 1 et 2, 1 et 3, 2 et 3 ont été confrontées. Le tableau 4.4 présente les mesures pour lesquelles des différences entre les observations sont significatives, et la différence entre les moyennes pour les cas significatifs. On remarque que les différences ne sont jamais plus de 0,60 mm. Puis, pour chaque des cas, le pourcentage d'erreur de mesure a été calculé selon la méthode expliquée dans l'ouvrage de White et Folkens (2000). Les pourcentages ne dépassent jamais 1%, ce que nous jugeons acceptable.

**Tableau 4.4.** Morphométrie traditionnelle : Analyse de l'erreur intra-observateur. Variables présentant une différence significative entre les observations.

Mesures	1 vs 2		1 vs 3		2 vs 3		% d'erreur
	Sig.	Diff. moy.	Sig.	Diff. moy.	Sig.	Diff. moy.	
GOL	*	0,25	NS		NS		0,05%
BBH	*	0,29	NS		*	0,33	0,11%
PMH	NS		*	0,21	NS		0,52%
OBH	**	0,28	*	0,27	NS		0,35%
BIMAS.BRb	*	0,33	**	0,48	NS		0,13%
FOL	**	0,39	***	0,46	NS		0,56%
FOB	NS		NS		**	0,19	0,28%
GPO	NS		**	0,49	**	0,57	0,23%
MLC	*	0,37	NS		*	0,33	0,71%

**Signification :** \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif

#### 4.2.2 Morphométrie géométrique

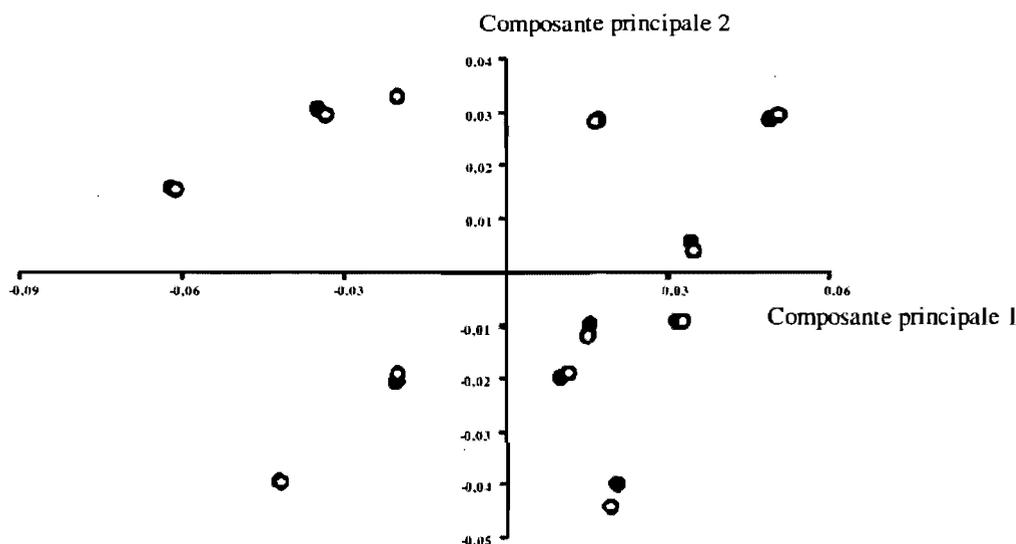
Comme pour la méthode traditionnelle de cueillette des données brutes, une liste de points anatomiques à numériser a été dressée. Un total de 85 points a été retenu (voir l'annexe B). Les points ont été choisis de façon à ce qu'ils correspondent le plus possible à ceux faisant partie des mesures linéaires traditionnelles (voir tableau des correspondances à l'annexe C). Certains autres points, notamment sur la base crânienne, ont aussi été ajoutés afin de répondre aux objectifs de recherche du projet. L'outil utilisé

pour recueillir les données (Microscribe G2X) possède un bras amovible et une petite pointe à son extrémité, ce qui permet d'accéder à de nouvelles régions, inaccessibles avec le compas d'épaisseur et le vernier, comme certaines parties de la base crânienne (exemples : os sphénoïde, vomer).

Les données brutes correspondent à des coordonnées tridimensionnelles (x, y et z) et ont été enregistrées dans un fichier Excel (2003). Précisons que les données ont été recueillies sur les mêmes crânes que ceux utilisés pour la méthode traditionnelle afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à partir des deux techniques. Il y a toutefois une contrainte lorsqu'on numérise les points avec un Microscribe. Effectivement, on ne peut bouger le spécimen. Ainsi, en plus de l'installer sur une base sur laquelle il est fixe, il faut deux étapes pour numériser l'ensemble des points anatomiques pour chaque crâne. D'abord, on prend tous les points se situant sur la face et sur la voûte (les numéros 1 à 41). Puis, on retourne le crâne afin de numériser les points de la base (les numéros 42 à 85). À chacune de ces deux étapes quatre points ont été numérisés (Astériorion (ast) : 1 et 2 - pour la voûte, 42 et 43 - pour la base; Zygomaxillaire (zm) : 25 et 26 - pour la face, 72 et 73 - pour la base). Ceux-ci serviront à combiner et aligner la base avec la voûte crânienne et la face (Franklin, 2005). Pour parvenir à combiner ces éléments, il faut se créer deux fichiers « .txt », soit un pour chaque région crânienne. Il suffit ensuite d'utiliser le « Data Combiner Program », qui permet de créer un nouveau fichier où tous les points sont rassemblés, à partir des deux paires de points bilatéraux recueillis à chacune des deux étapes.

Pour déterminer le degré d'erreurs intra-observateur, nous avons utilisé la méthode employée par O'Higgins et Jones (1998) et Franklin (2005). 85 points ont été numérisés sur 12 crânes et ce, à deux reprises (laboratoire de Michelle Drapeau, Université de Montréal, département d'anthropologie). Après avoir combiné la base avec la voûte et la face, une GPA (« Generalized Procrustes Analysis ») et une ACP (Analyse en Composantes principales) ont été effectuées dans *Morphologika*. La figure 4.3 présente les deux premières composantes, qui expliquent respectivement 26,3% et 16,3% de la variance totale. On peut observer que les deux observations pour chaque

individu sont plus près l'une de l'autre que des autres individus, ce qui indique que les erreurs de précision sont petites. Cette constatation est la même lorsqu'on observe sur les graphiques l'impact des composantes principales 3, 4, 5 et 6 (qui expliquent cumulativement 40% de la variance totale – pas représentées ici). Tous ces faits nous amènent donc à considérer que l'erreur intra-observateur est petite.



**Figure 4.3.** Morphométrie géométrique - Analyse de l'erreur intra-observateur. La composante principale 1 (axe x) vs la composante principale 2 (axe y); ● première numérisation, ○ deuxième numérisation.

### 4.3 Analyse des données

#### 4.3.1 Morphométrie traditionnelle

Tel que mentionné au chapitre 3, ce projet vise aussi indirectement à observer à quoi est liée la variation humaine (à la taille, à la forme ou à un mélange des deux). Ainsi, les analyses ont dans un premier temps été effectuées en ne corrigeant pas pour la taille et dans un deuxième temps, en corrigeant pour la taille. La méthode d'Howells (1989) a été utilisée. Cette procédure permet de traiter statistiquement les hommes et les femmes ensemble et de s'attarder surtout à la forme. Pour ce faire, il faut d'abord calculer la cote Z, selon la formule suivante :  $((x - \text{moyenne}) / s) * 10$ , pour chaque mesure, où x représente la mesure et s l'écart-type. Ensuite, on utilise les cotes Z pour

calculer le Pensize :  $(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_x) / \text{nombre de mesures}$ . Puis finalement, on obtient les scores C :  $C_1 = Z_1 - \text{Pensize}$ . C'est précisément à partir de ces dernières données que l'on doit effectuer les analyses.

#### 4.3.1.1 Variation intra-populationnelle

Dans un premier temps, la moyenne pour les mesures pour lesquelles les côtés droit et gauche ont été obtenus a été calculée. Ceci est fait dans le but d'alléger les analyses. Un t-test a ensuite été effectué. Ce type de test permet de comparer les moyennes de deux groupes pour chaque variable. Pour ce projet, il permet de déterminer quelles mesures ne sont pas significatives, c'est-à-dire celles pour lesquelles il n'y a pas de différence appréciable entre les hommes et les femmes. Il s'agit plus précisément de vérifier quelles sont les caractères crâniens les plus dimorphiques. Mentionnons que le seuil de 5% a ici été utilisé. Suite à cela, pour alléger les analyses statistiques multivariées, certaines variables ont été éliminées, soit parce qu'elles étaient non-significatives ou soit parce que nous avons choisi, entre deux mesures trop semblables, celle qui était la plus dimorphique. Toutes les autres variables ont été conservées.

Une analyse en composantes principales (ACP - voir section 2.3.2.3) a ensuite été effectuée, afin de vérifier, notamment, les résultats obtenus par le t-test. L'ACP permet une exploration et une compréhension détaillées de la variation de la forme (Franklin, 2006) et est utile lorsqu'on compare de petits échantillons archéologiques. L'option liée à la rotation orthogonale (Varimax) a été sélectionnée puisqu'elle désigne les facteurs les plus importants selon leur pourcentage de variance expliquée et qu'elle offre une explication détaillée des relations entre les variables (Stafford et Bodson, 2006). Notons aussi qu'avec SPSS, les facteurs (composantes principales) qui sont conservés sont seulement ceux dont la valeur expliquée (valeur propre ou « initial eigenvalues ») est supérieure ou égale à 1 (Stafford et Bodson, 2006). Enfin, pour juger de la proportion de variance de chaque variable, il faut mettre au carré le coefficient de corrélation.

À l'aide des variables conservées (voir plus haut), une analyse discriminante multiple a été réalisée sur les données brutes. Pour ce projet, cette analyse vise à classer les individus selon leur sexe, en fonction des diverses variables. L'option « stepwise method » a été sélectionnée. Celle-ci permet une sélection progressive des variables, où le critère de discrimination est ré-évalué à chaque fois qu'une autre variable est incluse.

#### 4.3.1.2 Variation inter-populationnelle

Une ANOVA effectuée sur l'ensemble des mesures a permis d'identifier les variables significatives dans la différenciation entre les 3 populations. Il s'agit en fait d'une analyse de la variance, pour laquelle le seuil de signification utilisé est de 5%. L'option des tests « post-hoc » permet quant à elle de voir où se situent les différenciations.

Seules les mesures significatives pour la discrimination des groupes (selon l'ANOVA) ont été conservées pour les autres étapes de l'analyse : une analyse en composantes principales (ACP), suivie d'une analyse discriminante multiple. Cette dernière vise à classer les individus selon leur origine géographique : Nunavut, Manitoba ou Colombie-Britannique. Une série de fonctions est aussi produite, basée sur les variables. Le lambda de Wilk des fonctions obtenues permet notamment de vérifier si la variation inter-populationnelle est élevée (valeurs proches de zéro), ou si c'est plutôt la variation intra-populationnelle qui est élevée (valeurs proches de un). Puis, pour la classification des individus en fonction de leur groupe d'origine, les résultats de l'option « leave-one-out classification », ou validation croisée, ont été utilisés dans l'interprétation. Il s'agit d'une procédure pour vérifier les taux de mauvaises classifications. Chaque cas est donc inclus et exclu de l'échantillon afin d'observer s'il y a des différences sur le résultat obtenu.

## 4.3.2 Morphométrie géométrique

### 4.3.2.1 Les données manquantes

Pour des raisons informatiques, il est obligatoire d'avoir tous les mêmes points anatomiques pour l'ensemble des individus. Ainsi, lorsqu'un point est manquant, on doit décider si on élimine l'individu de l'échantillon ou le point pour chaque individu. Pour ce projet, 9 points ont été éliminés : les ptériens (5 et 6), les mastoïdale (44 et 45), les zygotemporale postérieurs (70 et 71), le vomer inférieur (82), l'alvéolon (83) et le point se situant à la croisée de la suture médiane du palais et de la suture transversale du palais (84). Certains individus ont aussi été éliminés de l'échantillon puisque trop de points n'avaient pu être numérisés. De l'échantillon initial (107 individus), 34 individus ont été éliminés. Plus précisément, pour la population du Nunavut, 52 individus sur 63 ont pu être conservés, incluant 25 hommes et 27 femmes. Pour le Manitoba, 9 individus sur 14 ont été conservés, et pour la Colombie-Britannique, 12 individus sur 30. Ces individus n'ont pas été éliminés dans les analyses de la méthode traditionnelle. Toutefois, SPSS élimine les individus pour lesquels il manque des données. Ainsi, les échantillons pour chacune des méthodes sont semblables.

### 4.3.2.2 Variation intra- et inter-populationnelle

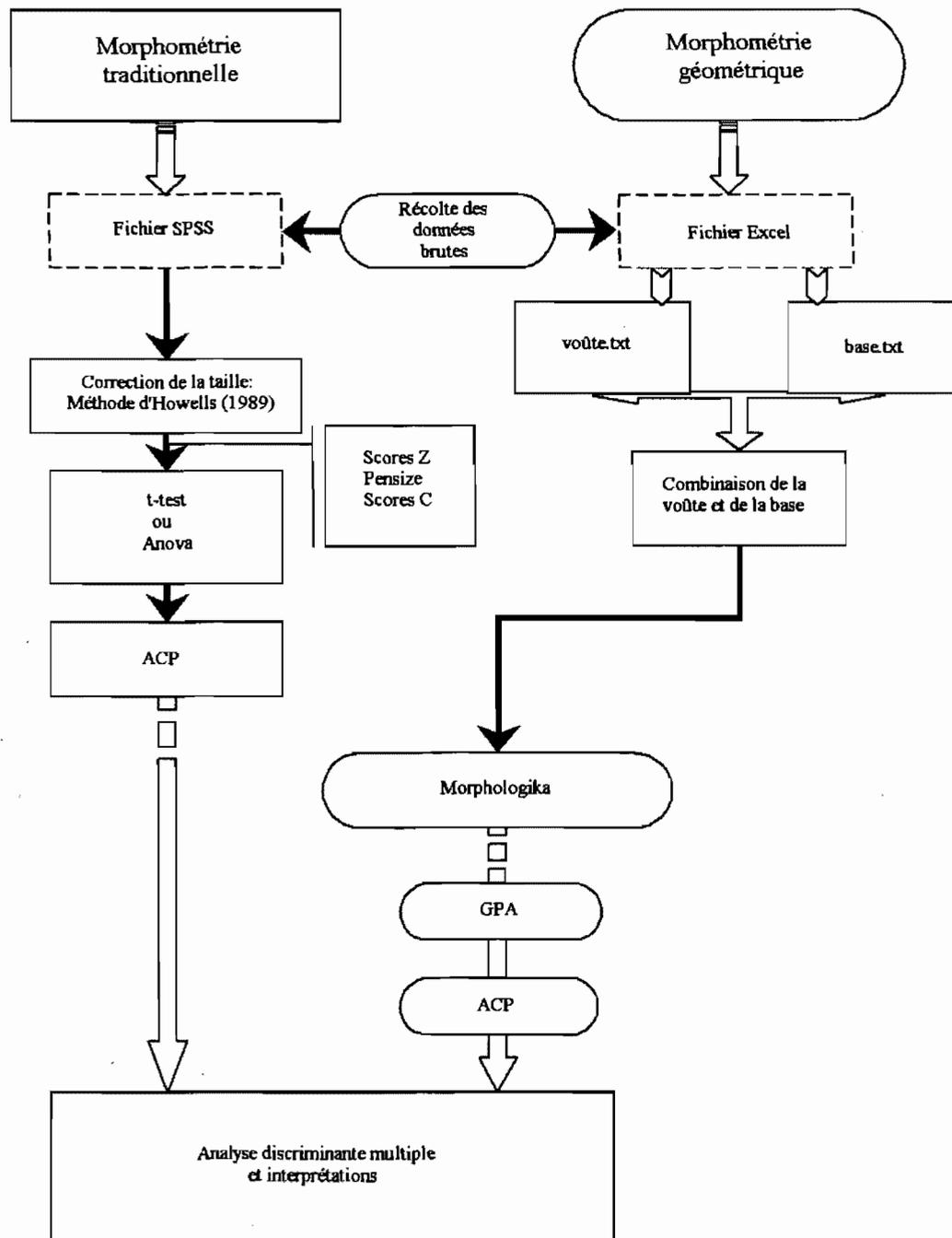
Suite à la combinaison, deux étapes ont successivement été effectuées : la GPA et l'ACP, à l'aide du programme informatique *Morphologika* (voir section 2.3.2.3). Les résultats obtenus avec *Morphologika* ont ensuite été exportés dans Excel. On y retrouve notamment la valeur de la taille centroïde pour chaque individu. Le calcul de la moyenne pour tous les groupes, suivi d'un t-test, permet d'observer si des différences de taille sont significatives entre ces derniers.

L'ACP effectuée dans *Morphologika* donne un grand nombre de composantes principales. Pour réduire ce nombre et ainsi alléger les analyses, seules les composantes qui expliquent 80% de la variance totale ont été sélectionnées. Cette méthode a entre

autres été utilisée par Franklin, 2005 et Franklin *et al.*, 2006. *Morphologika* donne le pourcentage de la variance totale expliquée par chacune des composantes et c'est donc à l'aide de cette information que l'on peut sélectionner les composantes principales qui feront partie de l'analyse. Pour la suite des analyses, on crée un fichier SPSS, comme pour la méthode traditionnelle, à l'exception que dans ce cas-ci les variables ne sont plus les mesures mais bien les composantes principales.

C'est l'analyse discriminante multiple, effectuée sur les « PC scores », qui permet ensuite d'observer quelles sont les composantes principales qui ont le plus d'impact concernant le dimorphisme sexuel et la différenciation entre les trois populations, ainsi que la signification de chacune de ces composantes (Franklin, 2005). Cette analyse permet aussi de voir combien d'individus ont été correctement classifiés selon leur sexe ou leur origine géographique. Enfin, pour interpréter les composantes principales qui nous intéressent et pour explorer les différences liées à la forme on utilise des grilles : « Cartesian transformation grids », calculées à partir de la méthode nommée « thin-plate splines », dans *Morphologika* (Bookstein, 1989). Il est alors possible de visualiser la forme du crâne de chaque individu, peu importe où il se situe dans le graphique.

Pour synthétiser la démarche méthodologique des deux approches morphométriques sous étude, la figure 4.4 illustre et résume les différentes étapes de l'analyse qui ont été effectuées dans le cadre de ce projet de recherche.



**Figure 4.4.** Morphométrie traditionnelle et morphométrie géométrique : étapes de l'analyse statistique effectuées dans le cadre de ce projet de recherche.

## CHAPITRE 5 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Puisque le projet vise surtout à comparer la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique, ce chapitre se compose de deux sections principales, une pour chacune des méthodes. Les résultats sont présentés de manière à refléter les questions de base de ce projet, posées au chapitre 3. Ainsi, pour chaque méthode, la variation intra- et inter-populationnelle est testée.

### 5.1 Morphométrie traditionnelle

#### 5.1.1 Variation intra-populationnelle et dimorphisme sexuel au sein du Nunavut

D'emblée, en corrigeant les variables pour la taille, selon la méthode d'Howells (1989), un nombre très petit de variables dimorphiques (8 sur 32) a été obtenu. Ceci confirme que le dimorphisme sexuel est en très grande partie dû aussi à la taille. Les résultats présentés ici sont donc ceux obtenus à partir des données brutes non corrigées pour la taille.

##### 5.1.1.1 Analyses statistiques univariées

Le tableau 5.1 présente les statistiques descriptives et univariées obtenues suite à un t-test effectué sur les 32 mesures.

**Tableau 5.1.** Nunavut – Comparaison des statistiques descriptives des hommes et des femmes (en rouge) à partir de 32 mesures crâniennes (en mm).

	N	Moyenne	RDS	Écart-type	C.V.	Diff. moy.	t-test	Sig.
<b>Voûte (7)</b>								
GOL	31	188,50	1,040	4,83	2,56	7,30	5,916	***
	32	181,20		4,96	2,74			
XCB	31	139,47	1,035	4,82	3,46	4,67	3,873	***
	32	134,80		4,76	3,53			
ASB	31	109,88	1,035	3,80	3,46	3,67	3,587	***
	32	106,21		4,30	4,05			
FRC	31	112,72	1,004	3,91	3,47	0,45	0,408	NS
	32	112,27		4,76	4,24			

PAC	31	113,35	1,034	5,18	4,57	3,71	2,464	*
	32	109,64		6,65	6,07			
OCC	31	98,37	1,015	4,10	4,17	1,49	1,175	NS
	31	96,88		5,72	5,90			
BBH	31	137,45	1,016	3,67	2,67	2,23	2,064	*
	32	135,22		4,82	3,56			
<b>Face (15)</b>								
BNL	31	102,69	1,042	3,37	3,28	4,13	4,606	***
	32	98,56		3,73	3,78			
BPL	31	99,90	1,044	3,91	3,91	4,22	3,526	***
	32	95,68		5,48	5,73			
NPH	31	73,30	1,062	5,81	7,93	4,27	3,122	**
	32	69,03		5,03	7,29			
ZYP	25	143,32	1,074	5,40	3,77	9,82	7,628	***
	28	133,50		3,93	2,94			
EKB	29	102,87	1,040	2,78	2,70	3,98	4,940	***
	30	98,89		3,36	3,40			
ZMB	28	105,37	1,057	5,75	5,46	5,72	4,230	***
	29	99,65		4,40	4,42			
MAB	30	68,46	1,068	4,71	6,88	4,33	4,072	***
	30	64,13		3,44	5,36			
PMH	31	17,37	1,027	3,52	20,26	0,46	0,541	NS
	32	16,91		3,13	18,51			
NLHa	31	56,50	1,082	3,05	5,40	4,26	5,825	***
	32	52,24		2,74	5,25			
NLHb	31	56,42	1,078	3,20	5,67	4,10	5,445	***
	32	52,32		2,77	5,29			
NLB	31	23,20	1,010	1,91	8,23	0,22	0,483	NS
	31	22,98		1,80	7,83			
DKB	31	19,05	1,050	1,78	9,34	0,91	1,952	NS
	32	18,14		1,90	10,47			
OBBa	31	43,69	1,042	1,55	3,55	1,75	4,749	***
	32	41,94		1,37	3,27			
OBBb	31	43,09	1,039	1,54	3,57	1,63	4,665	***
	32	41,46		1,21	2,92			
OBH	31	39,07	1,017	1,99	5,09	0,64	1,311	NS
	32	38,43		1,88	4,89			
<b>Base crânienne (10)</b>								
BIMAS.BRa	31	108,08	1,053	4,63	4,28	5,44	4,692	***
	32	102,64		4,58	4,46			
BIMAS.BRb	31	132,18	1,054	5,07	3,84	6,83	6,070	***
	32	125,35		3,73	2,98			
FOL	31	40,81	1,071	2,17	5,32	2,69	4,902	***
	31	38,12		2,15	5,64			
FOB	31	31,66	1,038	1,55	4,90	1,15	2,873	**
	31	30,51		1,59	5,21			
BcB	30	52,57	1,038	3,76	7,15	1,94	2,430	*
	31	50,63		2,28	4,50			

LBP	31	27,16	1,066	2,66	9,79	1,67	2,619	*
	32	25,49		2,40	9,42			
GPO	31	115,46	1,041	2,84	2,46	4,58	6,197	***
	32	110,88		3,02	2,72			
OPPO	31	114,21	1,037	4,15	3,63	4,10	4,052	***
	32	110,11		3,88	3,52			
MLC	31	24,84	1,085	3,06	12,32	1,94	2,870	**
	32	22,90		2,25	9,83			
MWC	31	13,57	1,089	0,97	7,15	1,11	4,454	***
	32	12,46		1,03	8,27			

**RDS (ratio de dimorphisme sexuel) :** Pour chaque mesure, la moyenne des hommes est divisée par celle des femmes.

**C.V. (coefficient de variation) :** C.V. = (écart-type/moyenne) x 100

**Signification :** \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif

La comparaison des moyennes des hommes et des femmes a d'abord permis d'identifier 6 mesures crâniennes non significatives en ce qui concerne le dimorphisme sexuel. Il s'agit de la distance nasion-bregma (FRC), de la distance lambda-opisthion (OCC), de la hauteur prémaxillaire (PMH), de la largeur nasale maximum (NLB), de la largeur interorbitale (DKB) et de la hauteur de l'orbite (OBH). On remarque aussi que 19 mesures sur 32 sont hautement significatives (\*\*\* P<0,001).

Le ratio de dimorphisme sexuel est plus grand que 1 pour chaque mesure, indiquant que les crânes des hommes ont de plus grandes dimensions que ceux des femmes. Le ratio est le plus élevé pour 7 mesures : la longueur et la largeur des surfaces articulaires occipitales (MLC et MWC), la hauteur nasale (NLHa et NLHb), la largeur bizygomatique (ZYB), la longueur du foramen magnum (FOL) et la largeur maxillo-alvéolaire (MAB).

Enfin, le tableau 5.2 résume les données obtenues pour les 8 variables qui sont les plus dimorphiques. Ces variables ont été choisies selon trois critères combinés: leur degré de signification (\*\*\* P<0,001), leur ratio de dimorphisme sexuel et la différence entre la moyenne des hommes et des femmes.

**Tableau 5.2.** Nunavut - Statistiques descriptives des variables les plus dimorphiques.

Mesures	RDS	Diff. Moy. (en mm)	Sig.
MWC	1,089	1,11	***
NLHa	1,082	4,26	***
ZYB	1,074	9,82	***
FOL	1,071	2,69	***
MAB	1,068	4,33	***
ZMB	1,057	5,72	***
BIMAS.BRb	1,054	6,83	***
GOL	1,040	7,30	***

**RDS (ratio de dimorphisme sexuel) :** Pour chaque mesure, la moyenne des hommes est divisée par celle des femmes.

**Signification :** \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif

### 5.1.1.2 Analyses statistiques multivariées

Pour les analyses qui suivent, des 32 mesures disponibles seulement 23 ont été conservées. En effet, toutes celles qui sont non significatives pour le dimorphisme sexuel ont été éliminées, étant donné que c'est cet aspect que nous désirons ici observer en détail. De plus, pour éviter des répétitions d'information pouvant amener à des résultats biaisés, nous avons décidé, lorsque deux mesures étaient trop semblables, de choisir celle qui était la plus dimorphique. De cette façon, OBBa, NLHa et BIMAS.BRb sont conservées, alors que OBBb, NLHb et BIMAS.BRa sont éliminées (tableau 5.1).

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée : 6 composantes ont été extraites, le total exprimant 77,8% de la variance expliquée. De ce total, la première composante explique à elle seule 44,6% de la variance. Elle est principalement liée à la hauteur nasion-prosthion (NPH), à la largeur maxillo-alvéolaire (MAB), à la hauteur nasale (NLHa) et à la largeur bimaxillaire (ZMB) (tableau 5.3). À noter que ceci correspond à certaines des variables retenues par le t-test. La deuxième composante (8,5% de la variance) est quant à elle liée à la largeur biastérienne (ASB) et à la largeur crânienne maximum (XCB). La troisième composante est responsable de 8% de la variance totale. La distance bregma-lambda (PAC) et la longueur crânienne maximale (GOL) sont les mesures qui ont le plus grand impact sur cette composante (tableau 5.3). La quatrième composante est responsable de 6,9% de la variance et est liée à la longueur basion-nasion (BNL) et à la longueur du processus basilaire (LBP). La cinquième

composante est responsable de 5,3% de la variance et la variable qui a un plus grand impact sur celle-ci est la largeur bicondyllaire (BCB). Enfin, la sixième composante (4,5% de la variance) est liée à la largeur maximale des surfaces articulaires occipitales (MWC). Des 6 composantes extraites, un t-test a révélé que ce sont les composantes 1 et 3 qui sont les plus significatives quant au dimorphisme sexuel (0,002 : \*\* P<0,01) (tableau 5.4 et figure 5.1).

**Tableau 5.3.** Nunavut - Matrice de rotation des composantes.

	Composantes					
	1	2	3	4	5	6
GOL	0,381	0,402	<b>0,758 (57,5%)</b>	0,152	0,038	0,097
XCB	0,153	<b>0,843 (71,1%)</b>	0,095	0,100	0,198	0,000
ASB	0,112	<b>0,883 (78%)</b>	0,184	0,047	0,103	-0,012
PAC	0,061	0,146	<b>0,806 (65%)</b>	0,098	-0,122	-0,047
BBH	-0,123	0,440	0,285	0,569	0,352	-0,227
BNL	0,275	0,016	0,441	<b>0,703 (49,4%)</b>	0,294	0,055
BPL	0,324	-0,077	0,645	0,405	0,192	0,042
NPH	<b>0,836 (69,9%)</b>	-0,044	0,315	0,014	0,128	-0,149
ZYB	0,595	0,450	0,200	0,432	-0,034	0,322
EKB	0,527	0,452	0,199	0,490	-0,091	0,252
ZMB	<b>0,707 (50%)</b>	0,224	0,054	0,177	0,196	0,251
MAB	<b>0,804 (64,6%)</b>	0,243	0,001	0,047	0,279	-0,015
NLHa	<b>0,739 (54,6%)</b>	0,044	0,448	0,172	0,114	0,021
OBBa	0,583	0,319	0,118	0,547	-0,054	0,221
BIMAS.BRb	0,444	0,615	0,130	0,419	0,111	0,195
FOL	0,036	0,412	0,533	-0,013	0,426	0,280
FOB	0,279	0,160	0,138	0,335	0,575	-0,037
BCB	0,167	0,119	-0,033	0,100	<b>0,860 (74%)</b>	0,215
LBP	0,072	0,008	0,068	<b>0,816 (66,6%)</b>	0,102	0,146
GPO	0,517	0,277	0,506	0,414	0,136	0,126
OPPO	0,259	0,588	0,587	0,006	0,088	0,122
MLC	0,225	0,191	-0,017	0,487	0,441	0,071
MWC	0,069	0,037	0,069	0,175	0,190	<b>0,896 (80,3%)</b>

**Notes:** - Les composantes 1 et 3 (**en gras**) sont celles qui sont les plus significatives quant au dimorphisme sexuel (tableau 5.4).

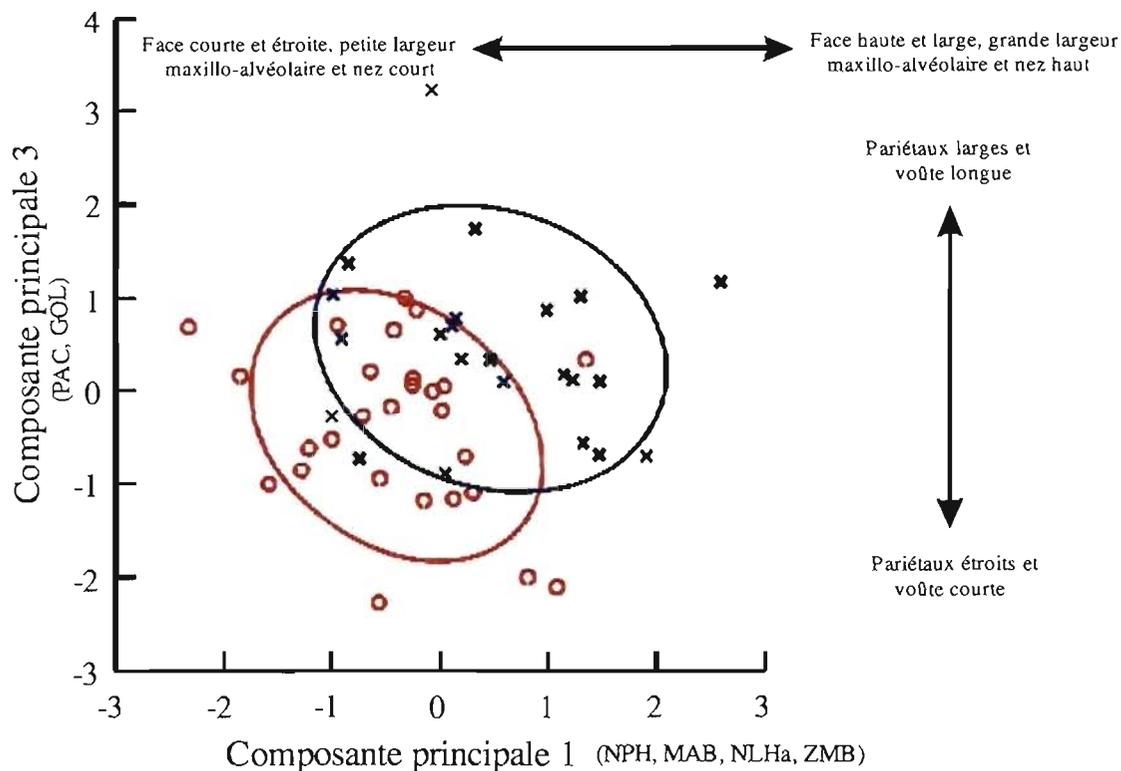
- Les chiffres **en gras** sont associés aux variables les plus importantes pour chaque composante.

- Les pourcentages ont été obtenus par cette formule :  $(x)^2 \times 100$ . Exemple de leur signification (prenons le pourcentage qui est **rouge** dans le tableau) : La composante 1 explique 69,9% de la variance de la variable NPH.

**Tableau 5.4.** La signification des composantes quant au dimorphisme sexuel.

Composantes	t-test	Sig.
1	3,366	**
2	2,246	*
3	3,201	**
4	1,660	NS
5	0,525	NS
6	2,253	*

Signification : \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif



**Figure 5.1.** Analyse du dimorphisme sexuel. La composante principale 1 (axe x – 44,6% de la variance) vs la composante principale 3 (axe y – 8% de la variance). Pour les ellipses  $p=0,700$ .  $\circ$  Femmes (N=27),  $\times$  Hommes (N=23).

Une analyse discriminante multiple a enfin été effectuée, pour laquelle les groupes « classificatoires » de départ sont les hommes et les femmes. Les variables utilisées sont les mêmes que pour l'ACP. Une seule fonction est ici possible, puisqu'il n'y a que deux groupes à l'étude. La largeur bizygomatique (ZYB) et la distance bregma-lambda (PAC) sont les deux variables qui ont un impact sur cette fonction

(tableau 5.5). Au total, 88,7% des individus ont été assignés au bon sexe (avec et sans la validation croisée); soit 96,4% des femmes et 80,0% des hommes (tableau 5.6).

**Tableau 5.5.** Nunavut - Coefficients standardisés de la fonction discriminante canonique.

	Fonction 1
PAC	0,520
ZYB	0,929

**Tableau 5.6.** Morphométrie traditionnelle - Résultats de la classification selon le sexe des individus.

Sexe	Femmes	Hommes	Total
Femmes	27	1	28
Hommes	5	20	25
Total des cas correctement classifiés	27/28 (96,4%)	20/25 (80%)	47/53 (88,7%)

### 5.1.2 Variation inter-populationnelle au sein d'échantillons de populations amérindiennes-canadiennes diverses

Les résultats obtenus des analyses en corrigeant et en ne corrigeant pas pour la taille sont très similaires. Ainsi, pour traiter statistiquement les hommes et les femmes ensemble (on s'intéresse ici à la variation morphologique entre trois populations) et pour ne s'attarder qu'à la forme, les résultats présentés ici sont seulement ceux où les données brutes ont été corrigées pour la taille.

#### 5.1.2.1 Analyses statistiques univariées

Une Anova (analyse de la variance) a été exécutée sur les 32 variables (scores C). Le tableau 5.7 présente le résultat du test de F, le taux de signification de chacune des variables et indique entre quelles populations se situent les différences. Le test de F indique que 23 des 32 mesures crâniennes sont significatives dans la différenciation régionale entre les trois populations (au moins \*  $P < 0,05$ ).

**Tableau 5.7.** Signification de la différence craniométrique entre les trois populations à l'étude, pour 32 mesures.

	Test de F	Sig.	Nunavut vs Manitoba	Nunavut vs Colombie-Britannique	Manitoba vs Colombie-Britannique
<b>Voûte (7)</b>					
C-GOL	0,557	NS	NS	NS	NS
C-XCB	5,167	**	NS	*	NS
C-ASB	10,486	***	NS	***	NS
C-FRC	0,072	NS	NS	NS	NS
C-PAC	3,647	*	NS	*	NS
C-OCC	1,140	NS	NS	NS	NS
C-BBH	6,410	**	*	NS	NS
<b>Face (15)</b>					
C-BNL	0,142	NS	NS	NS	NS
C-BPL	7,277	***	NS	NS	***
C-NPH	1,208	NS	NS	NS	NS
C-ZYB	5,589	**	NS	*	*
C-EKB	3,955	*	NS	NS	*
C-ZMB	1,011	NS	NS	NS	NS
C-MAB	3,247	*	NS	NS	NS
C-PMH	0,235	NS	NS	NS	NS
C-NLHa	3,760	*	NS	NS	NS
C-NLHb	4,493	*	NS	*	*
C-NLB	19,740	***	***	***	NS
C-DKB	9,862	***	*	***	NS
C-OBBa	4,926	**	*	NS	NS
C-OBbB	1,459	NS	NS	NS	NS
C-OBH	10,610	***	*	***	NS
<b>Base crânienne (10)</b>					
C-BIMAS.BRa	4,394	*	NS	*	NS
C-BIMAS.BRb	3,514	*	NS	NS	NS
C-FOL	6,217	**	NS	**	NS
C-FOB	3,257	*	NS	NS	NS
C-BcB	5,436	**	**	NS	NS
C-LBP	4,527	*	NS	*	NS
C-GPO	4,125	*	NS	*	NS
C-OPPO	4,333	*	NS	*	NS
C-MLC	0,478	NS	NS	NS	NS
C-MWC	7,374	***	**	NS	NS

**Signification :** \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif  
 N : Nunavut = 50; Manitoba = 9; Colombie-Britannique = 12.

D'emblée, on remarque que seulement 6 variables sont hautement significatives (\*\*\* P<0,001). Les variables les plus discriminantes sont la largeur biastériionique (C-ASB), la longueur basion-prosthion (C-BPL), la largeur nasale maximum (C-NLB), la

largeur interorbitale (C-DKB), la hauteur des orbites (C-OBH) et la largeur maximale des surfaces articulaires occipitales (C-MWC). Les mesures de la base crânienne, à l'exception de la longueur maximale des surfaces articulaires occipitales (C-MLC), sont toutes significatives (au moins \*  $P < 0,05$ ). De plus, on observe que la majorité des différences sont observables entre le Nunavut et la Colombie-Britannique et entre le Nunavut et le Manitoba. Il faut cependant être prudent ici puisque cette observation est peut-être liée à la petite taille de l'échantillon et à la représentativité régionale très inégale (un échantillon beaucoup plus grand du Nunavut, comparativement aux deux autres groupes).

#### 5.1.2.2 Analyses statistiques multivariées

Pour les analyses qui suivent, seules les variables significatives (23 sur 32) dans la différenciation régionale ont été utilisées. De ces dernières, C-NLHa et C-BIMAS.BRb ont été éliminées, puisqu'elles étaient moins discriminantes que C-NLHb et C-BIMAS.BRa. Cela permet aussi d'éviter des répétitions d'informations.

Suite à l'ACP, 8 composantes principales ont été extraites, le total expliquant 73,8% de la variance. La première, qui explique 19,2% de la variance totale, est influencée par la largeur interorbitale (C-DKB), la largeur maxillo-alvéolaire (C-MAB - coefficient négatif) et la largeur nasale maximum (C-NLB) (tableau 5.8). La deuxième composante est responsable de 12,6% de la variance totale et est liée à la largeur crânienne maximum (XCB) et à la largeur biastérionique (ASB). La troisième composante (9,8% de la variance) est quant à elle liée à la largeur biorbitale (EKB) et à la largeur de l'orbite (OBBa). Les composantes 4 et 5 expliquent respectivement, 8,8% et 7,5% de la variance totale. Elles sont liées à la distance entre la glabelle et le porion (C-GPO - 4<sup>e</sup> composante, coefficient négatif), à la longueur du foramen magnum (C-FOL - 4<sup>e</sup> composante) et à la distance bregma-lambda (C-PAC - 5<sup>e</sup> composante). La composante 6 (6,1% de la variance) est influencée par la longueur du processus basilaire (LBP). La septième composante explique 5% de la variance et est liée à la longueur basion-prosthion (C-BPL) (tableau 5.8). La composante 8 (5% de la variance) est liée à

la largeur bimastoïdale (BIMAS.Bra). Des 8 composantes extraites, une Anova a révélé que ce sont les composantes 1 et 7 qui sont les plus discriminantes quant à la variation inter-populationnelle (\*\*\*)  $P < 0,001$  (tableau 5.9 et figure 5.2).

**Tableau 5.8.** Variation inter-populationnelle - Matrice de rotation des composantes.

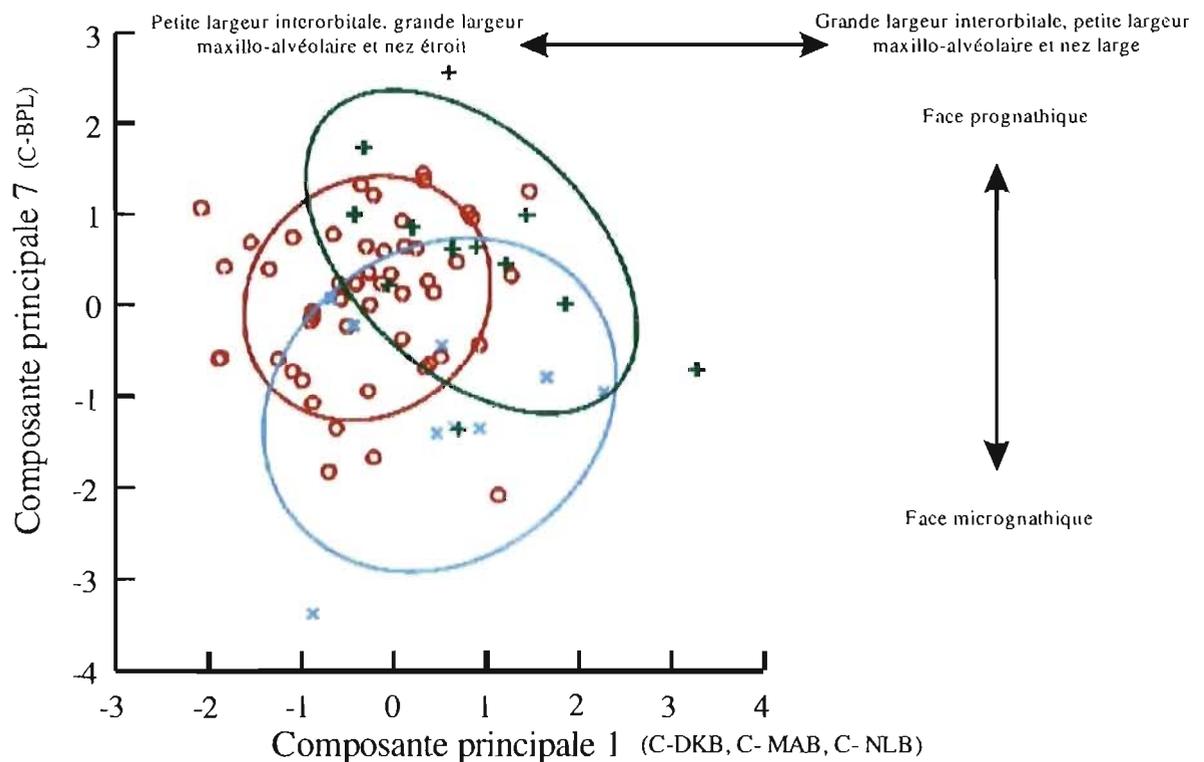
	Composantes							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C-XCB	0,148	<b>0,781</b> (61%)	-0,131	-0,060	-0,177	-0,098	-0,247	0,086
C-ASB	0,171	<b>0,801</b> (64,2%)	-0,216	-0,014	-0,192	-0,138	-0,096	0,164
C-PAC	0,042	-0,029	-0,137	0,073	<b>0,748</b> (56%)	-0,051	0,094	-0,087
C-BBH	-0,214	0,064	-0,261	0,146	0,018	0,654	0,429	-0,211
C-BPL	0,240	-0,232	-0,009	-0,178	0,045	0,111	<b>0,750</b> (56,3%)	0,019
C-ZYB	-0,169	0,242	0,490	-0,417	-0,174	-0,137	0,013	0,399
C-EKB	0,266	-0,051	<b>0,881</b> (77,6%)	-0,075	-0,173	-0,046	0,152	-0,109
C-MAB	<b>-0,736</b> (54,2%)	-0,095	-0,136	0,042	-0,319	-0,177	0,124	-0,267
C-NLHb	-0,551	-0,327	-0,139	-0,221	0,362	-0,378	-0,050	-0,102
C-NLB	<b>0,702</b> (49,3%)	0,026	-0,144	-0,129	-0,121	-0,425	0,122	0,080
C-DKB	<b>0,742</b> (55,1%)	0,202	-0,023	0,004	-0,311	-0,178	-0,040	-0,212
C-OBBa	-0,164	-0,250	<b>0,853</b> (72,8%)	-0,026	0,079	0,105	-0,017	0,056
C-OBH	-0,225	-0,192	0,065	0,140	0,648	0,185	0,022	-0,140
C-BIMAS .BRa	0,108	0,062	-0,012	-0,006	-0,155	-0,114	-0,033	<b>0,902</b> (81,4%)
C-FOL	-0,025	0,009	-0,082	<b>0,696</b> (48,4%)	0,197	0,124	0,089	-0,015
C-FOB	-0,142	-0,601	-0,175	0,342	-0,237	0,065	-0,159	0,303
C-BCB	0,248	-0,237	-0,438	0,007	-0,453	0,031	-0,481	-0,008
C-LBP	-0,005	-0,286	0,094	0,072	0,055	<b>0,808</b> (65,3%)	-0,047	-0,042
C-GPO	0,006	0,254	0,028	<b>-0,768</b> (59%)	0,148	-0,053	0,116	0,007
C-OPPO	-0,122	0,481	0,020	0,601	0,303	-0,047	-0,047	-0,002
C-MWC	0,416	0,100	-0,236	-0,172	-0,086	0,056	-0,595	0,086

- Notes:**
- Les composantes 1 et 7 (**en gras**) sont celles qui sont les plus significatives quant au dimorphisme sexuel (tableau 5.9).
  - Les chiffres **en gras** sont associés aux variables les plus importantes pour chaque composante.
  - Les pourcentages ont été obtenus par cette formule :  $(x)^2 \times 100$ . Exemple de leur signification (prenons le pourcentage qui est **rouge** dans le tableau) : La composante 1 explique 49,3% de la variance de la variable C-NLB.

**Tableau 5.9.** La signification des composantes quant à la variation inter-populationnelle.

Composantes	Test de F	Sig.
1	9,067	***
2	2,047	NS
3	3,929	*
4	6,737	**
5	5,067	**
6	4,217	*
7	9,259	***
8	1,727	NS

Signification : \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif



**Figure 5.2.** Analyse de la variation inter-populationnelle. La composante principale 1 (axe x – 19,2% de la variance) vs la composante principale 7 (axe y - 5% de la variance). Pour les ellipses  $p=0,700$ .  $\circ$  Nunavut (N=50),  $\times$  Manitoba (N=9),  $+$  Colombie-Britannique (N=12).

Deux fonctions discriminantes ont été produites par l'analyse discriminante multiple. La première fonction explique 70,2% de la variance totale et la valeur de son lambda de Wilks est de 0,183, ce qui souligne une grande variation entre les trois

groupes à l'étude. Cette fonction est particulièrement influencée par la largeur biastériotique (C-ASB) et la largeur nasale maximum (C-NLB) (tableau 5.10). La deuxième fonction explique 29,8% de la variance totale; elle a un lambda de Wilks de 0,545 et est principalement liée à la hauteur nasale (C-NLHb) et à la longueur basion-prosthion (C-BPL) (tableau 5.10). Enfin, l'analyse discriminante multiple, selon l'origine, a permis de classifier correctement 91,5% des individus. Avec la validation croisée le pourcentage d'individus correctement classifiés descend à 87,3% (tableau 5.11).

**Tableau 5.10.** Morphométrie traditionnelle : Variation inter-populationnelle - Coefficients standardisés des fonctions discriminantes canoniques.

	Fonctions	
	1	2
C-ASB	0,762	0,086
C-BPL	0,350	0,666
C-ZYB	0,234	0,621
C-NLH.b	0,150	-0,729
C-NLB	0,570	-0,204
C-OBH	-0,423	0,362
C-OPPO	-0,529	-0,012
C-MWC	0,137	-0,504

**Tableau 5.11.** Morphométrie traditionnelle - Résultats de la classification selon l'origine des individus.

	Origine	Nunavut	Manitoba	Colombie-Britannique	Total
Sans validation croisée	Nunavut	47	2	1	50
	Manitoba	1	8	0	9
	Colombie-Britannique	2	0	10	12
	Total des cas correctement classifiés	47/50 (94%)	8/9 (88,9%)	10/12 (83,3%)	65/71 (91,5%)
Avec validation croisée	Nunavut	46	3	1	50
	Manitoba	2	6	1	9
	Colombie-Britannique	2	0	10	12
	Total des cas correctement classifiés	46/50 (92%)	6/9 (66,7%)	10/12 (83,3%)	62/71 (87,3%)

## 5.2 Morphométrie géométrique

### 5.2.1 Variation intra-populationnelle et dimorphisme sexuel au sein du Nunavut

#### 5.2.1.1 Analyse en Composantes Principales

En premier lieu, les moyennes des tailles centroïdes des hommes (619,89) et des femmes (596,33) ont été calculées. Un t-test permet d'observer que ces moyennes sont significativement différentes (\*\*\*)  $P < 0,001$ , confirmant une différence entre les deux groupes. Suite à l'ACP effectuée par *Morphologika*, on obtient un grand nombre de composantes principales (52). Pour réduire ce nombre, les 17 premières composantes ont été sélectionnées, puisqu'elles expliquaient à elles seules 79,90% de la variance totale. Le tableau 5.12 donne les « eigenvalues », le pourcentage de variance expliquée et le taux de signification de chacune de ces composantes (obtenu suite à un t-test).

**Tableau 5.12.** « Eigenvalue », proportion de la variation totale et signification (t-test) des 17 premières composantes principales pour l'analyse du dimorphisme sexuel.

CP	"Eigenvalue"	Proportion (%)	Sig.
1	0,000412	14	NS
2	0,000346	11,8	NS
3	0,000273	9,26	* (P=0,017)
4	0,000187	6,33	NS
5	0,000164	5,55	* (P=0,019)
6	0,000147	5	NS
7	0,000126	4,28	NS
8	0,000107	3,63	NS
9	0,0000864	2,93	NS
10	0,0000831	2,82	NS
11	0,0000787	2,67	** (P=0,002)
12	0,0000726	2,47	NS
13	0,0000638	2,17	NS
14	0,000056	1,9	NS
15	0,0000545	1,85	NS
16	0,000052	1,77	NS
17	0,0000458	1,55	NS

Signification : \*\*\*  $P < 0,001$  \*\*  $P < 0,01$  \*  $P < 0,05$  NS = non significatif

### 5.2.1.2 Analyse discriminante multiple

L'analyse discriminante multiple effectuée sur les « PC scores » a permis d'observer que ce sont les composantes principales 11, 3 et 5 qui ont respectivement le plus d'impact dans la discrimination des sexes, expliquant ensemble 17,48% de la variance totale (tableau 5.12). Avant d'observer ces trois composantes en détails, regardons les résultats obtenus par l'analyse discriminante multiple effectuée à partir des 17 premières composantes principales : 92,3% des individus ont été correctement classifiés. Toutefois, avec la validation croisée ce sont 88,5% des individus qui ont été correctement classifiés (tableau 5.13). Seul ce résultat sera retenu lors de l'interprétation.

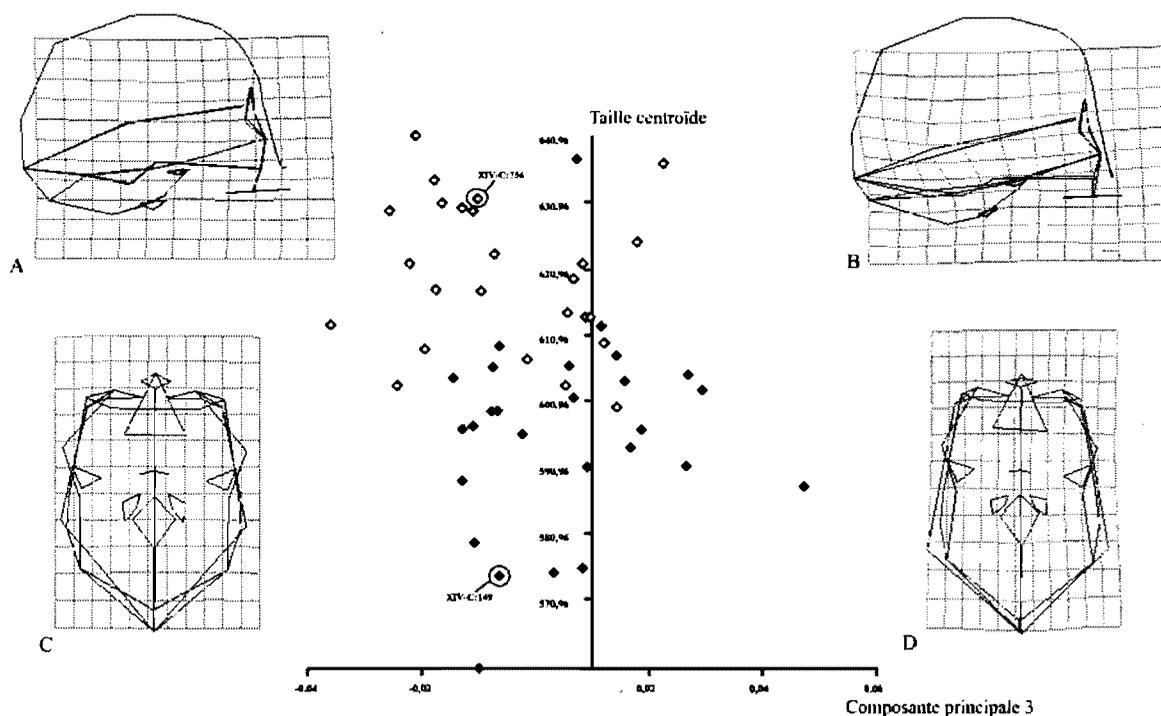
**Tableau 5.13.** Morphométrie géométrique - Résultats de la classification selon le sexe des individus.

	Origine	Femmes	Hommes	Total
Sans validation croisée	Femmes	25	2	27
	Hommes	2	23	25
	Total des cas correctement classifiés	25/27 <b>92,6%</b>	23/25 <b>92%</b>	48/52 <b>92,3%</b>
Avec validation croisée	Femmes	25	2	27
	Hommes	4	21	25
	Total des cas correctement classifiés	25/27 <b>92,6%</b>	21/25 <b>84%</b>	46/52 <b>88,5%</b>

#### (i) Composante principale 3

Cette composante explique 9,26% de la variance totale et elle est la deuxième variable la plus significative dans le dimorphisme sexuel. La figure 5.3 présente cette composante par rapport à la taille centroïde. On observe d'abord que la taille centroïde des hommes est presque toujours plus élevée que celle des femmes. Si on regarde les valeurs extrêmes de la composante, on observe que les valeurs négatives sont davantage liées aux hommes tandis que les valeurs positives sont davantage liées aux femmes.

La visualisation des changements morphologiques avec l'aide des grilles (figure 5.3) nous permet d'abord d'observer que les individus se situant à l'extrémité droite (femmes) possèdent un crâne plus étroit, avec une voûte un peu plus haute. Ces mêmes individus semblent aussi avoir un front plus plat et une arcade sourcilière (proéminence de la glabelle) beaucoup moins prononcée. Lorsque l'on regarde la base, on remarque que certains éléments anatomiques sont plus petits en général chez les femmes : le foramen magnum, les surfaces articulaires occipitales et le processus basilaire (moins large). La largeur maxillo-alvéolaire est également plus courte chez les femmes (valeurs positives) que chez les hommes (valeurs négatives).

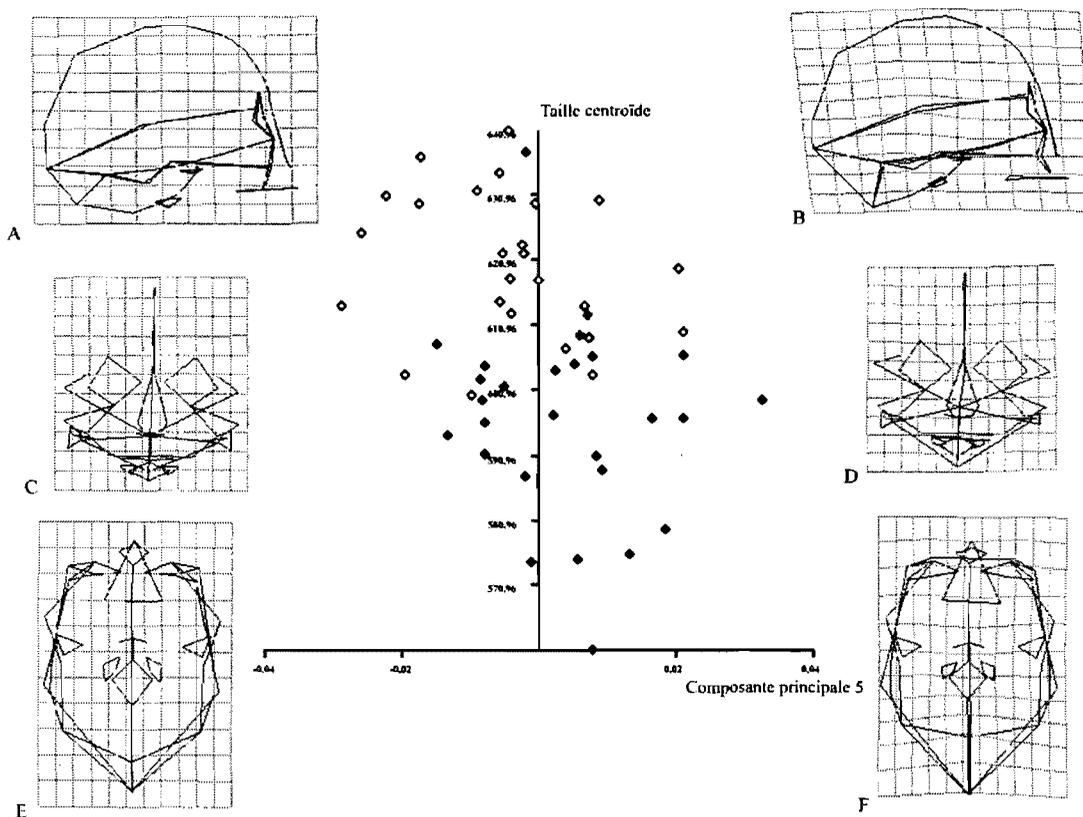


**Figure 5.3.** Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 3 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite (A et B) et vue inférieure (C et D), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A et C) à l'extrémité positive (femmes : B et D) de la composante principale 3.

## (ii) Composante principale 5

La composante 5 explique 5,55% de la variance totale et elle est la troisième variable la plus significative dans le dimorphisme sexuel. Lorsque l'on confronte cette

composante à la variable représentant la taille centroïde, les deux groupes sont bien séparés, les hommes ayant une taille centroïde plus élevée que celle des femmes (figure 5.4). Quant aux changements de forme, on observe dans un premier temps que les hommes tendent vers les valeurs négatives de la composante, alors que les femmes tendent vers les valeurs positives (figure 5.4), tout comme pour la composante précédemment présentée.



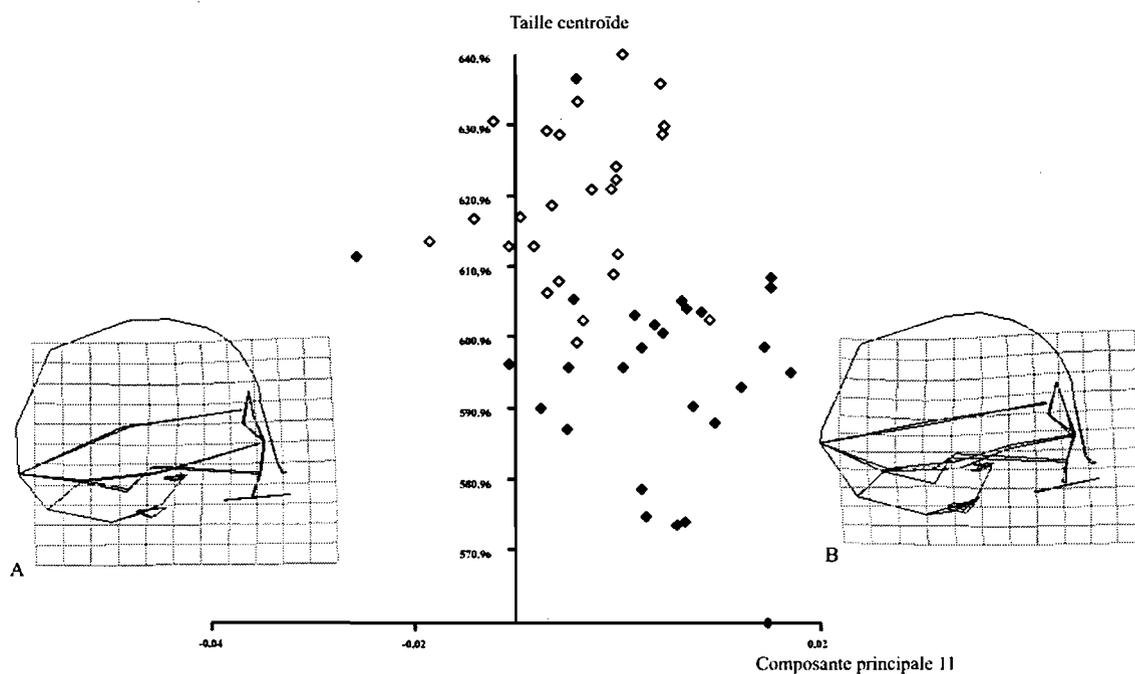
**Figure 5.4.** Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 5 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite (A et B), vue de face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A, C et E) à l'extrémité positive (femmes : B, D et F) de la composante principale 5.

Les changements de forme liés à cette composante, lorsqu'on compare l'extrémité négative (hommes) de l'extrémité positive (femmes) de l'axe, sont semblables à ceux que nous avons observés pour la composante principale 3. Le crâne des femmes semble moins robuste et plus étroit que celui des hommes. Ceci se reflète notamment sur plusieurs éléments de la base tels que le foramen magnum, les surfaces

articulaires occipitales et la longueur du processus basilaire. On remarque aussi que le nez semble un peu plus court et un peu plus large chez les individus de l'extrémité positive. Ceux-ci ont aussi une arcade sourcilière moins prononcée et un front plus plat.

### (iii) Composante principale 11

Cette composante principale explique 2,67% de la variance totale et c'est celle-ci qui a le plus d'impact sur le dimorphisme sexuel. Concernant la taille centroïde, les hommes ont encore une fois des valeurs plus élevées que les femmes. Notons toutefois la présence d'un individu (XIV-C :248) qui, pour chacune des trois composantes (3, 5 et 11), se situe dans les valeurs les plus élevées de la taille centroïde, alors qu'il s'agit d'une femme. Concernant l'axe de la composante, on remarque en moyenne que les hommes ont un score plus petit que celui des femmes (figure 5.5).



**Figure 5.5.** Dimorphisme sexuel au sein de la population du Nunavut. La composante principale 11 (axe x) vs la taille centroïde (axe y). Les hommes sont représentés par les losanges blancs et les femmes par les losanges noirs. Vue latérale droite du crâne (A et B), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (hommes : A) à l'extrémité positive (femmes : B) de la composante principale 11.

Lorsqu'on compare les individus de l'extrémité négative (hommes) à ceux de l'extrémité positive (femmes) pour cette composante, on s'aperçoit que les différences s'observent plus particulièrement sur la vue de profil. Le crâne des femmes semble plus comprimé, moins haut que celui des hommes (voûte et front). L'arrière du crâne des femmes est aussi plus pointu, ce qui donne comme impression que le crâne est plus long chez ces dernières.

## 5.2.2 Variation inter-populationnelle au sein d'échantillons de populations amérindiennes-canadiennes diverses

### 5.2.2.1 Analyse en Composantes Principales

Le calcul de la taille centroïde moyenne pour chacune des trois populations nous permet d'observer que le Nunavut (607,66) et la Colombie-Britannique (607,52) sont semblables. La taille centroïde moyenne des individus du Manitoba est pour sa part de 597,48. Tout comme pour l'étude de la variation intra-populationnelle, un grand nombre de composantes principales sont extraites (73) de l'ACP effectuée par *Morphologika*. Pour simplifier et alléger les analyses, seules les 19 premières composantes ont été sélectionnées puisqu'elles exprimaient à elles seules 80,7% de la variance expliquée. Le tableau 5.14 présente les « eigenvalues », le pourcentage de variance expliquée et le taux de signification de chacune de ces composantes (obtenu suite à une ANOVA).

**Tableau 5.14.** « Eigenvalues », proportion de la variation totale et signification (ANOVA) des 19 premières composantes principales pour l'analyse de la variation inter-populationnelle.

CP	"Eigenvalues"	Proportion (%)	Sig.
1	0,000466	13,8	***
2	0,00038	11,2	NS
3	0,000272	8,05	***
4	0,000239	7,07	*
5	0,000205	6,05	*
6	0,000158	4,68	NS
7	0,000141	4,16	*
8	0,000117	3,46	NS
9	0,000105	3,11	NS
10	0,0000993	2,94	*
11	0,0000942	2,79	NS
12	0,0000733	2,17	*
13	0,0000716	2,12	NS
14	0,0000615	1,82	NS
15	0,0000552	1,63	NS
16	0,0000534	1,58	NS
17	0,0000465	1,37	NS
18	0,0000455	1,35	NS
19	0,0000442	1,31	NS

Signification : \*\*\* P<0,001 \*\* P<0,01 \* P<0,05 NS = non significatif

### 5.2.2.2 Analyse discriminante multiple

Les deux fonctions discriminantes calculées par l'analyse discriminante multiple, expliquent respectivement 80,3% et 19,7% de la variance. Le lambda de Wilks de la première fonction est petit (0,136), ce qui indique une variation entre les groupes élevée. La première fonction est principalement influencée par les composantes 1 et 3, puis moins fortement par la composante 5 (tableau 5.15). La deuxième fonction est quant à elle liée aux composantes 4 et 12 et a un lambda de Wilks de 0,565 (tableau 5.15). Les composantes 1 et 3 ont des coefficients standardisés deux fois plus élevés que ceux des autres composantes (tableau 5.15). Elles sont aussi liées à la fonction qui explique un plus grand pourcentage de la variance et sont hautement significatives (ANOVA : \*\*\* P<0,001) (tableau 5.14). Pour ces raisons nous n'aborderons en détails que ces deux

composantes. Bien que les figures 5.6 et 5.7 correspondent à la même analyse, l'explication morphologique de chacune de ces composantes (1 et 3) sera présentée séparément. Enfin, l'analyse discriminante multiple, effectuée à partir des 19 premières composantes principales, a permis de classer correctement 95,9% des individus. Toutefois, avec la validation croisée, ce pourcentage est plutôt de 90,4% (tableau 5.16).

**Tableau 5.15.** Morphométrie géométrique : Variation inter-populationnelle - Coefficients standardisés des fonctions discriminantes canoniques.

	Fonctions	
	1	2
PC1	-1,007	0,190
PC2	0,314	-0,344
PC3	1,001	0,103
PC4	0,120	0,644
PC5	-0,657	-0,292
PC6	0,491	-0,054
PC7	0,218	0,537
PC10	-0,507	0,473
PC11	0,462	0,073
PC12	0,097	0,625

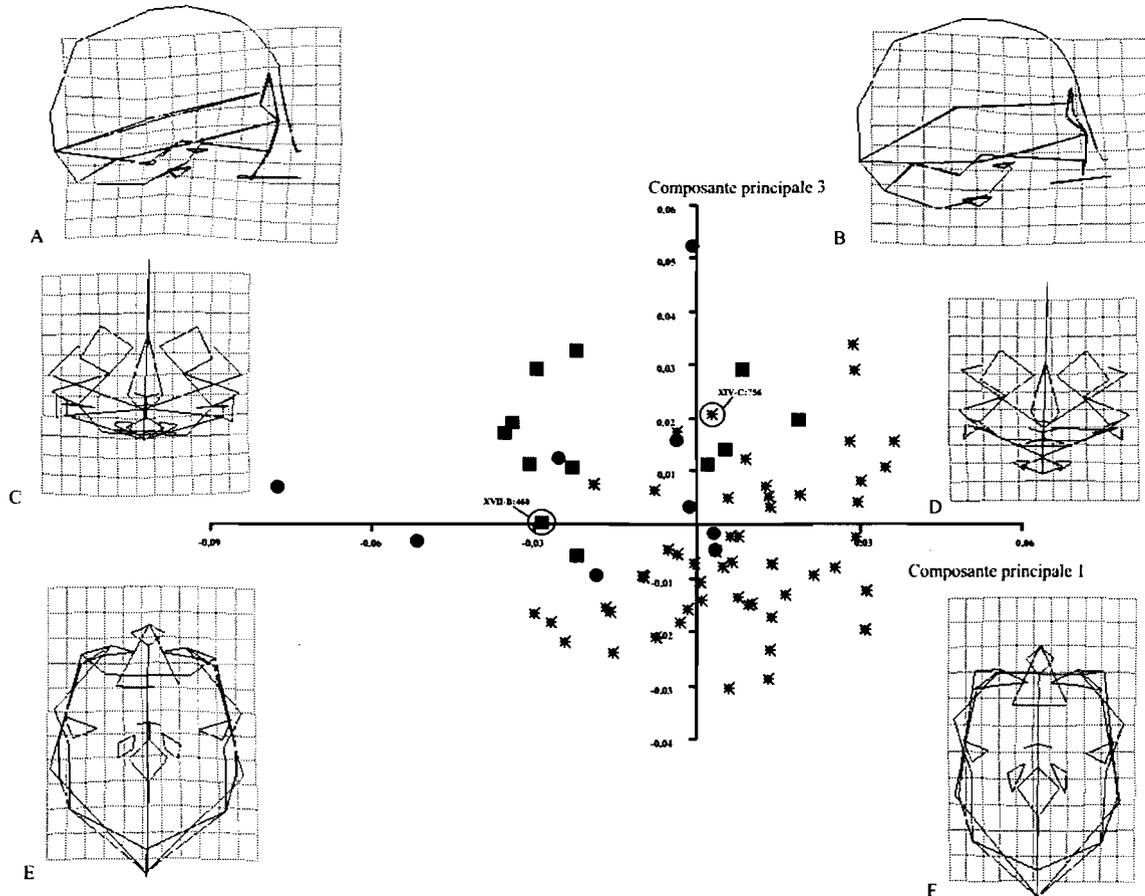
**Tableau 5.16.** Morphométrie géométrique - Résultats de la classification selon l'origine des individus.

	Origine	Nunavut	Manitoba	Colombie-Britannique	Total
Sans validation croisée	Nunavut	51	1	0	52
	Manitoba	1	8	0	9
	Colombie-Britannique	1	0	11	12
	Total des cas correctement classifiés	51/52 <b>98,1%</b>	8/9 <b>88,9%</b>	11/12 <b>91,7%</b>	70/73 <b>95,9%</b>
Avec validation croisée	Nunavut	50	1	1	52
	Manitoba	2	6	1	9
	Colombie-Britannique	1	1	10	12
	Total des cas correctement classifiés	50/52 <b>96,2%</b>	6/9 <b>66,7%</b>	10/12 <b>83,3%</b>	66/73 <b>90,4%</b>

(i) Composante principale 1

La première composante principale explique 13,8% de la variance totale. Lorsqu'on observe le graphique 5.6, on remarque que la population Nunavut se situe en moyenne dans la zone des valeurs positives de la composante. Les populations du Manitoba et de la Colombie-Britannique se chevauchent presque et sont majoritairement situées dans la zone des valeurs négatives.

À partir de la grille appliquée sur la vue de face du crâne, on peut observer un crâne plus étroit chez les individus de l'extrémité droite. Les individus se situant à l'extrémité gauche de la composante principale 1 possèdent également une arcade sourcilière plus prononcée, un nez plus large et des orbites un peu plus grandes. La voûte est aussi un peu moins haute chez les individus se situant à l'extrémité droite de la composante. Le front de ces individus monte de façon plus droite que chez les individus de l'extrémité gauche. La vue sur la base nous montre bien un crâne plus étroit pour les individus du Nunavut, avec toutefois un foramen magnum plus grand. Bref, la majorité des éléments crâniens sont plus effilés (plus étroits et plus allongés) chez les individus Nunavut, comparativement aux deux autres populations.



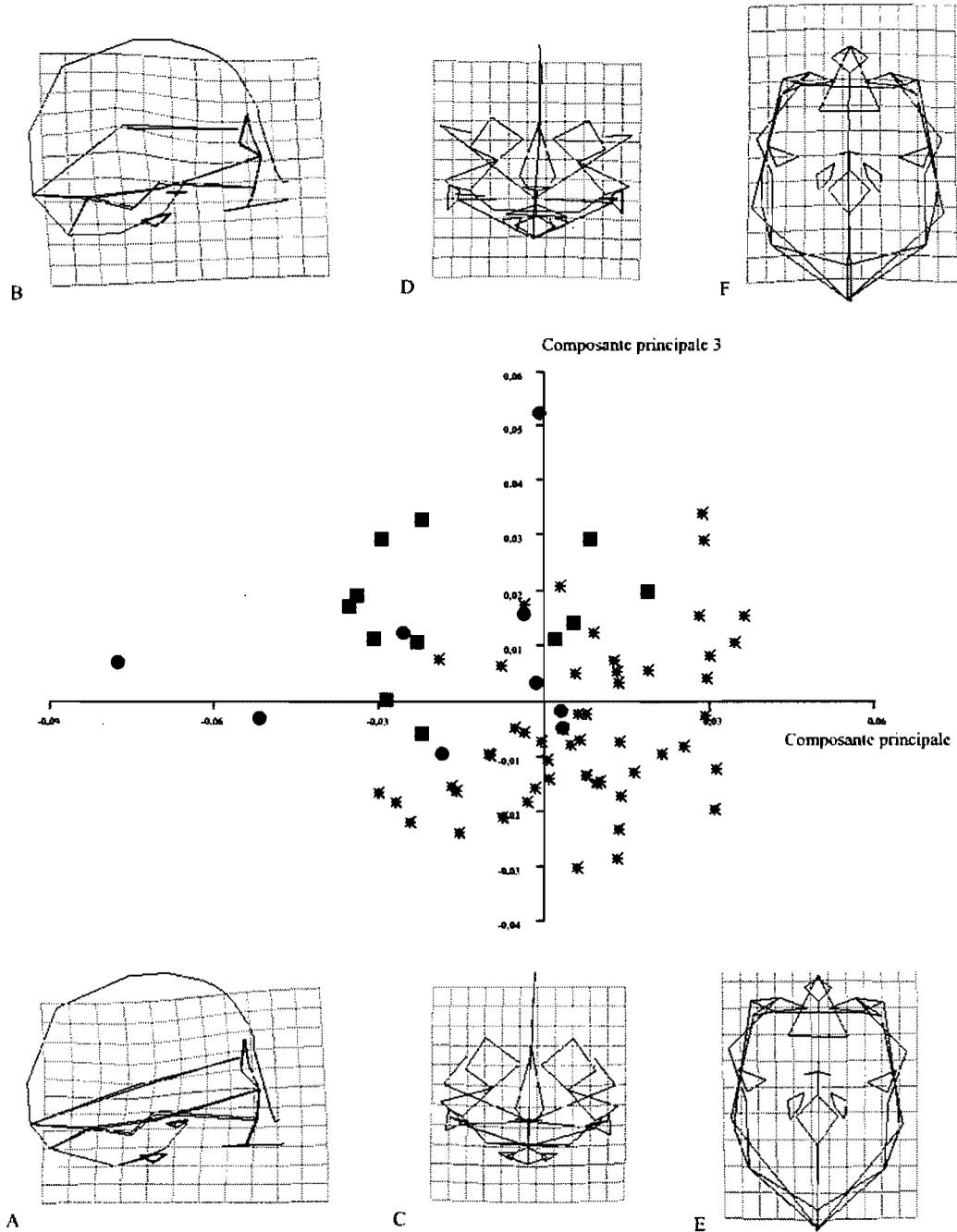
**Figure 5.6.** Variation inter-populationnelle entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. La composante principale 1 (axe x – avec schémas illustrés pour cette dernière) vs la composante principale 3 (axe y); \* Nunavut, ● Manitoba, ■ Colombie-Britannique. Vue latérale droite (A et B), vue de face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (Manitoba et Colombie-Britannique : A, C et E) à l'extrémité positive (Nunavut : B, D et F) de la composante principale 1.

### (ii) Composante principale 3

La composante principale 3 explique 8,05% de la variance totale. En observant le graphique 5.7 on remarque une certaine séparation des 3 populations sur l'axe correspondant à la troisième composante. Les individus du Nunavut sont pour la plupart situés du côté des valeurs négatives de l'axe. Ceux du Manitoba, se retrouvent en moyenne autour du zéro et dans les valeurs positives, alors que les individus de la Colombie-Britannique se situent du côté des valeurs positives de l'axe. Si on observe à la fois les effets de la composante principale 1 et ceux de la composante 3, on peut

conclure qu'il y a une séparation assez nette entre les individus du Nunavut et ceux de la Colombie-Britannique.

L'observation des variations liées à la forme pour la composante principale 3 nous permet d'identifier une tendance générale, que nous avons déjà pu établir par la visualisation de la première composante principale. En effet, les individus se trouvant à l'extrémité négative de l'axe de la composante 3, donc ceux provenant du Nunavut, semblent avoir un crâne plus étroit, particulièrement l'arrière du crâne, que ceux se trouvant à l'extrémité positive (Colombie-Britannique). La voûte des individus provenant du Nunavut semble être moins haute, particulièrement lorsqu'on regarde l'arrière du crâne. Les Sadlermiut ont aussi un nez plus étroit et plus long et des orbites plus hautes. Enfin, précisons que les individus se situant autour du zéro (Manitoba) ont une forme crânienne à mi-chemin entre celle des deux autres populations pour cette composante.



**Figure 5.7.** Variation inter-populationnelle entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. La composante principale 1 (axe x) vs la composante principale 3 (axe y – avec schémas illustrés pour cette dernière); \* Nunavut, ● Manitoba, ■ Colombie-Britannique. Vue latérale droite (A et B), vue de face (C et D) et vue inférieure (E et F), montrant les différences de forme lorsque l'on passe de l'extrémité négative (Nunavut : A, C et E) à l'extrémité positive (Colombie-Britannique - et Manitoba - : B, D et F) de la composante principale 3.

### 5.3 Synthèse des résultats

Le tableau 5.17 rassemble de façon visuelle tous les résultats pertinents de ce projet de mémoire.

**Tableau 5.17.** Tableau synthèse des principaux résultats.

Type d'étude	Méthode	Échantillon	Type d'analyse	Variabes clés	Total des cas correctement classifiés
Variation intra-populationnelle	Morphométrie traditionnelle	Nunavut (N= 27 femmes et 23 hommes)	<b>Analyse univariée :</b> t-test  <b>Analyses multivariées :</b> ACP ADM	<b>Face et voûte :</b> ZYP, ZMB, MAB, NLH.a, GOL  <b>Base :</b> MWC, FOL, OPPO, GPO, BIMAS.BRb	88,7%
	Morphométrie géométrique	Nunavut (N= 27 femmes et 25 hommes)	<b>Analyse univariée :</b> t-test  <b>Analyses multivariées :</b> ACP ADM	<b>Face et voûte :</b> Largeurs du crâne, forme du front, proéminence de la glabelle <b>Base :</b> Largeur et longueur de la base, taille du foramen magnum, tailles des surfaces articulaires occipitales, longueur du processus basilaire	88,5%
Variation inter-populationnelle	Morphométrie traditionnelle	Nunavut (N=50); Manitoba (N=9); C.-B. (N=12)	<b>Analyse univariée :</b> Anova  <b>Analyses multivariées :</b> ACP ADM	NLB, DKB, BPL, ASB, OBH, MWC	87,3%
	Morphométrie géométrique	Nunavut (N=52); Manitoba (N=9); C.-B. (N=12)	<b>Analyse univariée :</b> t-test  <b>Analyses multivariées :</b> ACP ADM	Largeur du crâne, longueur du crâne, arcade sourcilière, largeur nasale, taille des orbites, forme du front	90,4%

## CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION

À la suite de la présentation des résultats il est maintenant possible de répondre aux questions soulevées dans le cadre de ce projet. On se souviendra de l'objectif principal, qui consistait à comparer la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique quant à la quantité et à la nature des informations obtenues par chacune d'elles concernant la variation intra- et inter-populationnelle. Il se peut que ces deux méthodes soient complémentaires. La littérature semble plutôt montrer que la morphométrie géométrique est plus détaillée que la morphométrie traditionnelle, en apportant entre autres des informations nouvelles et plus précises (O'Higgins et Jones, 1998; Hennessy et Stringer, 2002; Adams *et al.*, 2004; Franklin, 2006; Pretorius *et al.*, 2006). De plus, il a aussi été rapporté que la base crânienne, région anatomique peu explorée jusqu'à maintenant, présentait un certain potentiel pour l'identification du sexe (Holland, 1986; Graw, 1999). Nous vérifierons ici si cette affirmation (hypothèse) peut se vérifier dans d'autres populations, en identifiant plus précisément la nature et la quantité d'éléments morphologiques dimorphiques dans nos échantillons de crânes sous étude.

La discussion qui suit sera orientée selon les quatre questions que nous avons posées à la page 27 de ce mémoire. Les deux premières questions, qui sont liées à la variation intra-populationnelle seront dans un premier temps discutées. Suivra ensuite une section concernant la question trois, liée à la variation inter-populationnelle. La dernière question, qui fait référence à une comparaison directe des résultats obtenus par les deux méthodes, sera quant à elle discutée à chaque section. Pour comparer les deux méthodes nous utiliserons entre autres une approche visuelle, basée sur des photos. Celle-ci nous permettra notamment de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus par les deux méthodes.

## 6.1 Information sur la variation intra-populationnelle: comparaison et complémentarité des deux méthodes

Afin de répondre aux questions 1 et 2, posées à la page 27, la section qui suit est séparée en deux parties : une pour la face et la voûte, et une autre pour la base crânienne. Avant d'aborder ces problématiques, mentionnons qu'à l'aide de la morphométrie traditionnelle, il a été possible d'établir une différence morphologique significative entre les hommes et les femmes provenant du Nunavut. Cependant, une fois les données corrigées pour la taille (selon la méthode d'Howells, 1989) il ne restait que très peu de variables dimorphiques, soulignant ainsi l'importance de ce critère dans l'explication du dimorphisme sexuel. Ce dernier aspect a d'ailleurs été largement abordé dans la littérature (Hall, 1982; Wood et Lynch, 1996; Rosas et Bastir, 2002; Kimmerle *et al.*, 2008). La correction de la taille n'est toutefois pas absolue, l'isolation de la taille et de la forme ne pouvant être parfaite. Rosas et Bastir (2002) et Kimmerle *et al.* (2008) soulignent aussi la difficulté des méthodes traditionnelles à différencier les variables liées à la forme qui dépendent de la taille (phénomène d'allométrie), de celles qui dépendent du sexe.

### 6.1.1 Face et voûte crânienne

Parmi les variables identifiées par le t-test et par l'ACP comme étant dimorphiques, un nombre appréciable est lié à la largeur du crâne : la largeur bizygomatique (ZYB), la largeur bimaxillaire (ZMB) et la largeur maxillo-alvéolaire (MAB). La hauteur nasale (NLHa) et la longueur crânienne maximum (GOL) sont elles aussi parmi les mesures les plus dimorphiques. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Steyn et Işcan (1998). La figure 6.1 présente des photos (vues de face, de profil et de la base) de deux individus Sadlermiut : un homme (XIV-C : 756) et une femme (XIV-C : 149) (ces individus sont aussi identifiés sur la figure 5.3). Ces individus ont été choisis parce que leur état de conservation était bon et parce qu'ils reflétaient bien ce dimorphisme sexuel. Une approche visuelle non-métrique confirme une largeur crânienne plus grande pour les hommes (vue de face), bien que la différence ne soit pas

si énorme. Les processus mastoïdiens et les arcades zygomatiques sont plus robustes chez l'homme, ce qui contribue d'ailleurs à la largeur maximale du crâne.

La morphométrie géométrique a aussi confirmé une largeur crânienne plus grande chez les hommes (Steyn et Işcan 1998). Puisque le Microscribe permet de numériser des éléments crâniens non accessibles ou mesurés de manière moins précise par les outils traditionnels, le potentiel de certains autres caractères a pu être vérifié. En effet, des caractères dimorphiques supplémentaires, tels que la forme du front (plus plat chez les femmes) et la proéminence de la glabelle, ont été identifiés à partir des techniques liées à la morphométrie géométrique. Franklin *et al.* (2006) ont également identifié ces caractères dimorphiques. Ils ont aussi identifié la forme de la crête supramastoïde et le prognathisme alvéolaire. Ils soulignent que tous ces éléments anatomiques sont liés à des différences de robustesse associées à la fonction de certains muscles (exemple : muscles de la mastication). Sur la vue de profil de la figure 6.1 on distingue bien la différence morphologique au niveau des fronts des deux individus. Celui de la femme est plus plat, tel qu'indiqué précédemment. En lien avec cette caractéristique, on remarque que la proéminence de la glabelle est un peu plus prononcée chez l'homme que chez la femme, ce qui semble accentuer la courbure dans le frontal. Enfin, l'analyse traditionnelle a identifié comme variable clé la hauteur nasale, variable que nous avons pu observer lors de la description de la composante principale 5. La différence n'était toutefois pas très grande. Sur la figure 6.1, il est plutôt difficile de conclure à propos de cette variable.

Les résultats présentés permettent donc d'affirmer que les deux méthodes appliquées, dans le cas de l'analyse intra-populationnelle au sein des Sadlermiut (Nunavut), ont fourni des informations représentatives de la réalité, similaires et complémentaires (tableau 5.17). L'approche métrique utilisée pour ce projet apporte en quelque sorte une confirmation de ce qui a été pressenti visuellement. La morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique ont toutes deux permis d'identifier des différences significatives entre les hommes et les femmes. De plus, en comparant les résultats obtenus à la suite de l'analyse discriminante multiple on s'aperçoit que la

capacité de chacune des méthodes à assigner un individu à son sexe est très similaire. Dans le cas de la méthode traditionnelle, 88,7% des individus ont été correctement classifiés selon leur sexe. Ce résultat semble refléter ceux que l'on retrouve dans la littérature. Des pourcentages allant de 80% à 90% ont entre autres été obtenus (Rightmire, 1971; Giles, 1982; Steyn et Işcan, 1998). À partir de la morphométrie géométrique ce sont 88,5% des individus qui ont été correctement classifiés. Franklin *et al.* (2006) ont pour leur part obtenu un degré de précision de 87%, ce qui est très similaire à nos résultats. Toutefois, puisque l'estimation du sexe n'est pas absolue, on ne peut pas tester la précision à proprement parler des deux méthodes. Il ne s'agit pas d'une population de référence et les erreurs d'estimation sont tout à fait possibles.

#### Nunavut - Sadlermiut



**Figure 6.1.** Différences morphologiques entre un homme et une femme Sadlermiut. Photos du profil gauche (la ligne blanche représente le plan de Francfort), de la face et de la base crânienne (vue inférieure).

Somme toute, la morphométrie géométrique a fourni des informations plus précises et détaillées que la morphométrie traditionnelle. En effet, en plus de confirmer les résultats obtenus par cette dernière méthode, la morphométrie géométrique a permis d'examiner le potentiel de nouveaux critères crâniens, tels que la forme du front dans les détails de sa courbure et la proéminence de la glabelle. Cette conclusion est en accord avec celle énoncée par Franklin *et al.*, 2006. Ces derniers ont cependant utilisé des populations sud-africaines, ce qui signifie que ces caractères dimorphiques se retrouvent chez plusieurs populations humaines. Ils ne seraient donc pas spécifiques à une population.

### 6.1.2 Base crânienne

Un des objectifs de ce projet était d'examiner le potentiel de la base crânienne, et des éléments anatomiques qui la composent, à fournir des informations concernant le sexe des individus faisant partie de l'échantillon. Les résultats obtenus par la méthode traditionnelle, et plus particulièrement par l'analyse statistique subséquente (t-test), ont permis d'identifier trois mesures de la base crânienne à considérer lors de la détermination du sexe d'un spécimen crânien. Il s'agit de la largeur des surfaces articulaires occipitales (MWC), de la longueur du foramen magnum (FOL) et de la largeur bimastoïdale (BIMAS.BRb et BIMAS.BRa)<sup>6</sup>. Ces mesures, en plus d'être très significativement différentes entre les hommes et les femmes, ont un ratio de dimorphisme sexuel élevé. La mesure de la distance entre la glabelle et le porion (GPO) et la mesure de la distance entre l'opisthocranion et le porion (OPPO) sont elles aussi significativement différentes selon le sexe, mais le ratio de dimorphisme sexuel est moins élevé. À l'exception de la largeur des surfaces articulaires, toutes ces mesures sont liées à des éléments crâniens assez résistants à la décomposition, ce qui représente un avantage majeur en contexte archéologique. Outre la distance OPPO et la largeur bimastoïdale, ces mesures ont toutes été identifiées comme étant très dimorphiques par Holland (1986) et Graw (1999).

<sup>6</sup> Ces mesures (BIMAS.BRa et BIMAS.BRb) reflètent la base de la voûte. On aurait donc pu aussi les classer comme étant des mesures de la voûte crânienne. Ce problème est lié à la subdivision artificielle des régions anatomiques.

À partir de la morphométrie géométrique, la visualisation des changements de forme lorsqu'on passe d'une extrémité à l'autre d'une composante principale permet d'avoir un peu plus de détails concernant la base crânienne et le dimorphisme sexuel. Il est en effet possible d'obtenir une vue d'ensemble de tous les éléments. De cette façon, on a pu observer que le crâne des femmes était moins robuste, plus étroit et un peu plus long que celui des hommes et que cette tendance se reflétait sur la base et les différents éléments anatomiques qui la composent. Le foramen magnum, les surfaces articulaires occipitales, la largeur et la longueur du processus basilaire sont des caractères dimorphiques qui ont pu être identifiés. C'est la composante principale 3 qui a fourni le plus d'informations concernant les changements de forme qui se produisent sur la base crânienne. Elle offre en effet une vision plus complète de ces changements morphologiques et des interrelations entre la base, la voûte et la face.

Les deux méthodes ont donc fourni des éléments de réponses similaires dans ce cas-ci (tableau 5.17). Certains caractères dimorphiques identifiés par ces dernières sont les mêmes (la longueur du foramen magnum, la largeur des surfaces articulaires occipitales, la longueur et la largeur du crâne). D'autres caractères, telle que la longueur du processus basilaire, n'ont été identifiés que par la morphométrie géométrique. Cette dernière offre une confirmation visuelle des caractères identifiés par la méthode traditionnelle, en plus d'une visualisation plus synthétique de la base crânienne (chaque élément par rapport aux autres). En somme, tous les résultats obtenus tendent à confirmer que la base crânienne offre un certain potentiel pour l'identification du sexe d'individus archéologiques (Holland, 1986; Graw, 1999). En effet, de nombreux éléments anatomiques robustes appartenant à cette région crânienne semblent être significativement dimorphiques.

## **6.2 Information sur la variation inter-populationnelle : comparaison et complémentarité des deux méthodes**

Cette section vise plus précisément à répondre aux questions 3 et 4, posées à la page 27. Il est cependant difficile de répondre à cette problématique concernant la

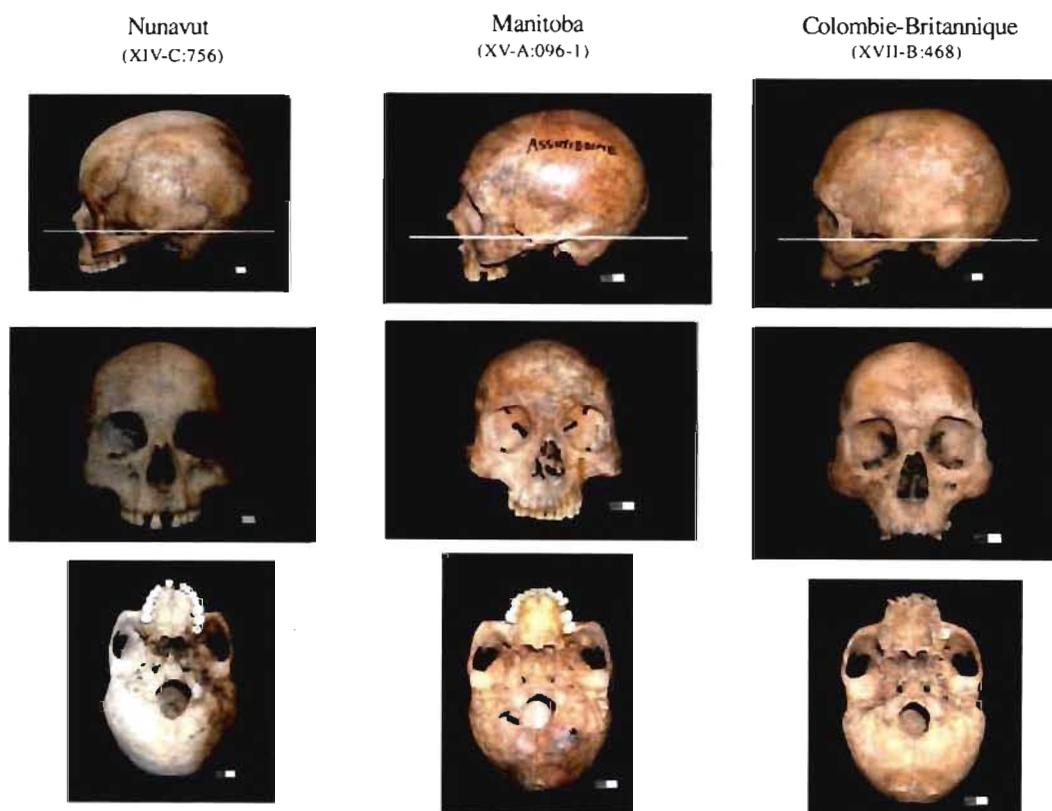
variation inter-populationnelle puisque la taille inégale des trois groupes à l'étude fait en sorte que la discussion ne peut qu'être préliminaire.

À partir de la méthode traditionnelle, les variables ayant un impact significatif en ce qui concerne la différenciation des trois populations sont très similaires, selon qu'on corrige ou non pour la taille (Pietrusewsky, 2000). Ceci indique que la taille n'a pas une grande importance dans la variation crânienne entre les trois populations provenant de trois régions géographiques canadiennes différentes. En comparant les résultats obtenus par l'ANOVA, l'ACP et l'analyse discriminante multiple, on remarque que quatre mesures ont plus d'impact dans la différenciation des trois groupes. Il s'agit de la largeur nasale maximum (NLB), de la largeur interorbitale (DKB), de la longueur basion-prosthion (BPL) et de la largeur biastérionique (ASB). La hauteur des orbites (OBH) et la largeur des surfaces articulaires occipitales (MWC) ont aussi été identifiées par l'ANOVA comme étant très significativement différentes d'une population à l'autre. Ces résultats sont en accord avec la littérature, notamment Howells (1989) et Lahr (1995 et 1996), qui ont étudié plusieurs populations provenant d'un peu partout dans le monde. La figure 6.2 présente trois vues différentes de trois individus masculins, choisis au hasard, pour chacune des populations à l'étude. Ces individus sont aussi identifiés sur la figure 5.6, excepté pour l'individu du Manitoba qui n'est pas présent sur le graphique. La plupart des résultats obtenus par l'approche métrique traditionnelle confirment les observations qualitatives qu'on peut faire au regard de la figure 6.2. Par exemples, la largeur nasale, la largeur interorbitale et la hauteur des orbites sont significativement plus grandes chez les individus de la Colombie-Britannique que chez les individus du Nunavut.

Regardons maintenant les résultats obtenus par la morphométrie géométrique. L'examen des changements de forme, aux extrémités des composantes 1 et 3, a permis d'observer un grand nombre de différences morphologiques, principalement entre les individus provenant du Nunavut et ceux provenant de la Colombie-Britannique (composante principale 3 surtout). La population du Manitoba, bien qu'elle se situe morphologiquement entre les deux autres populations, semble être plus près de la

population britanno-colombienne. Par l'observation des figures 5.6 et 5.7 une tendance générale a pu être observée : le crâne des Sadlermiut (Nunavut) est plus étroit, plus effilé et moins robuste en général que celui des deux autres populations (figure 6.2). Ceci s'observe sur plusieurs caractères crâniens, tels que la prononciation de l'arcade sourcilière (proéminence de la glabelle), la largeur nasale et la taille des orbites. Sur la vue de profil de la figure 6.2 on remarque que l'arcade sourcilière est beaucoup plus prononcée chez les individus de la Colombie-Britannique. L'importance de ce caractère diminue graduellement lorsqu'on passe de cette population à celle du Manitoba, puis à celle du Nunavut. La forme du front est aussi une caractéristique à retenir, alors qu'il semble être plus droit chez les Sadlermiut (figure 6.2).

### Variation inter-populationnelle



**Figure 6.2.** Différences morphologiques entre les individus provenant du Nunavut, du Manitoba et de la Colombie-Britannique. Les trois individus présentés sont des hommes. Photos du profil gauche (la ligne blanche représente le plan de Francfort), de la face et de la base crânienne (vue inférieure).

Tel que mentionné, les changements morphologiques, concernant surtout la robustesse, sont particulièrement observables entre les individus du Nunavut et de la Colombie-Britannique. Les crânes des individus du Nunavut sont plus graciles alors que ceux du Manitoba et de la Colombie-Britannique, plus anciens, sont plus robustes. Une explication possible à cette observation est la très grande différence génétique entre ces trois groupes. Les Sadlermiut, notamment, sont probablement issus d'une migration en Amérique complètement différente. Ceci pourrait alors expliquer la dissemblance de robustesse, principalement observable entre ces derniers et les individus du Manitoba et de la Colombie-Britannique.

Tout comme pour l'analyse de la variation intra-populationnelle, les résultats obtenus par les deux méthodes se complètent quant à l'analyse de la variation inter-populationnelle (tableau 5.17). La morphométrie géométrique a confirmé certains caractères identifiés par la morphométrie traditionnelle, tels que la largeur nasale et certains éléments liés à la robustesse du crâne. D'autres caractères crâniens, tels que la proéminence de la glabelle et la forme du front n'ont pu être observés que par cette récente méthode tridimensionnelle. Il ne faut pas négliger la méthode traditionnelle, qui a permis d'identifier la largeur interorbitale comme étant discriminante. Cette variable est aussi liée à la robustesse et n'a pu être observée à l'aide de la morphométrie géométrique, malgré une correspondance entre la mesure linéaire et les points anatomiques (annexe C).

La comparaison des pourcentages d'individus correctement assignés à leur origine géographique par les deux méthodes, a permis d'identifier un léger écart entre ces dernières. En effet, avec la méthode traditionnelle ce pourcentage est de 87,3%, alors qu'il est de 90,4% à partir de la morphométrie géométrique. La différence est ici plus grande que dans le cas de l'analyse de la variation intra-populationnelle. L'efficacité de la morphométrie géométrique, en lien avec la nature et la quantité d'informations que cette méthode peut fournir concernant la variation entre différentes populations, tend donc à être supérieure à celle de la morphométrie traditionnelle.

### 6.3 Conclusion et perspectives d'études

Au regard des résultats obtenus et des analyses et interprétations effectuées dans le cadre de ce projet de maîtrise, il semble que les deux méthodes comparées, la morphométrie traditionnelle et la morphométrie géométrique, soient complémentaires : certains caractères crâniens discriminants ont en effet été identifiés par les deux méthodes. Néanmoins, la morphométrie géométrique se démarque en apportant des informations plus précises et détaillées, tel que le suggérait la littérature (Adams *et al.*, 2004; Franklin, 2006; Pretorius *et al.*, 2006). En plus de confirmer l'importance de certains caractères liés à la largeur du crâne lors de l'analyse de la variation intra-populationnelle, la morphométrie géométrique a permis d'explorer d'autres éléments, non accessibles par les instruments de mesure traditionnels : la forme du front dans les détails de sa courbure, la proéminence de la glabelle et la largeur du processus basilaire.

L'étude du potentiel de la base crânienne à fournir des informations sur le dimorphisme morphologique a permis de confirmer l'affirmation faite par Holland (1986) et Graw (1999). Ceux-ci mentionnent que la base crânienne, région anatomique peu explorée jusqu'à maintenant, présente un certain potentiel pour l'identification du sexe. De plus, les caractères identifiés par notre approche morphométrique appartiennent presque tous à des éléments anatomiques robustes (excepté le frontal), ce qui représente un avantage majeur lorsque nous sommes en contexte archéologique. Il serait enfin intéressant d'appliquer notre méthodologie à d'autres populations amérindiennes-canadiennes pour vérifier si les variables dimorphiques identifiées par les deux méthodes s'y retrouvent aussi.

Les conclusions concernant l'analyse de la variation inter-populationnelle sont semblables à celles concernant l'analyse de la variation intra-populationnelle. Elles sont aussi en accord avec ce qui a été observé dans la littérature (Hennessy et Stringer, 2002; Vidarsdottir *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004). La morphométrie géométrique a permis une meilleure visualisation des changements morphologiques entre les trois populations : les crânes des individus du Nunavut semblent être plus graciles, alors que

ceux du Manitoba et de la Colombie-Britannique, plus anciens, semblent être plus robustes. Une légère différence entre les pourcentages d'individus correctement associés à leur origine géographique par les deux méthodes a aussi été obtenue : 87,3% pour la morphométrie traditionnelle et 90,4% pour la morphométrie géométrique.

La petite taille de l'échantillon, en plus de la taille très inégale de chaque population dans le cas de l'étude de la variation inter-régionale, ne nous permet cependant pas de conclure de façon absolue. Ces résultats ne sont donc qu'un aperçu très préliminaire et descriptif de la problématique. La période couverte par les trois populations (dernier 5000 ans) par rapport à la taille de l'échantillon est aussi un aspect discutable (approche diachronique). La nature de l'échantillon peut aussi poser problème : puisque les individus ne proviennent pas de collections de référence, la détermination du sexe de ces derniers, qui a été estimé, n'est pas certaine à 100%. Ce dernier aspect pose toutefois problème que dans le cas de l'étude de la variation intra-populationnelle, puisque pour la variation inter-populationnelle, les données brutes ont été corrigées pour la taille. Le manque d'informations (contexte archéologique, dates, etc.) concernant plusieurs individus de l'échantillon manitobain représente pour sa part une grande limite dans l'étude de la variation inter-populationnelle. Pour certains des individus, les renseignements concernant la provenance ne sont pas certains.

Certains avantages clés de la morphométrie géométrique permettent néanmoins de conclure que cette méthode est plus détaillée que la morphométrie traditionnelle. La conservation de toute l'information géométrique permet d'obtenir des renseignements précis sur les changements morphologiques. Étant donné que la relation spatiale entre chaque élément est représentée (trois dimensions), il est possible d'observer la façon dont chacun varie par rapport aux autres. En termes d'analyses et d'interprétations, il est possible, grâce aux outils de visualisation offerts par *Morphologika*, d'identifier des tendances générales quant aux changements de forme, c'est-à-dire quant aux différences morphologiques existant entre les groupes à l'étude. Ceci résulte notamment en une meilleure perception de la variation clinale entre régions, qui peut être assez subtile et pas toujours très marquée. La versatilité de la méthode tridimensionnelle est aussi un

atout important. Il est néanmoins difficile de comparer deux approches fondamentalement distinctes. Malgré certains points communs, les résultats sont forcément différents.

Enfin, au chapitre 3 de ce mémoire, la question suivante a été posée : « La variation humaine est-elle plus liée à la taille, à la forme ou à un mélange des deux? ». Ce questionnement était relié au concept d'allométrie, où la relation entre forme et taille est l'aspect clé. Suite à l'analyse du dimorphisme sexuel existant au sein de la population Sadlermiut faisant partie de notre échantillon, il est possible de conclure que la taille a un impact majeur sur la différence morphologique entre les hommes et les femmes. L'analyse de la variation inter-populationnelle amène une conclusion plus nuancée. En effet, la taille ne semble pas avoir un aussi grand impact dans ce cas-ci. La variation morphologique entre les trois populations faisant partie de notre échantillon serait due en majorité à la forme et un peu à la taille. Les résultats seraient-ils les mêmes si notre échantillon s'élargissait et si d'autres populations y étaient incluses? Il y aurait certainement une grande différence.

Finalement, je le répète : parmi les limites de ce projet de recherche, on identifie indéniablement la nature et la taille de l'échantillon. L'analyse de la variation inter-populationnelle serait probablement plus détaillée si d'autres populations autochtones canadiennes étaient ajoutées à l'échantillon, et si l'effectif était augmenté et égalisé pour tous les groupes. De telle sorte, le travail décrit ici ouvre la voie à des études approfondies en morphométrie crânienne sur des populations amérindiennes-canadiennes quant aux variations intra- et inter-populationnelles.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, D.C. et ROHLF, F.J. (2000). « Ecological character displacement in *Plethodon* : biomechanical differences found from a geometric morphometric study ». *Proceedings of Natural Academy of Sciences of the United States of America*, 97: 4106-4111.
- ADAMS D.C., ROHLF F.J. et SLICE D.E. (2004). « Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the “Revolution” ». *Italian Journal of Zoology*, 71: 5-16.
- AIELLO, L.C. (1992). « Allometry and the analysis of size and shape in human evolution ». *Journal of human evolution*, 22 (2): 127-147.
- AMES, K.M. et MASCHNER, H.D.G. (1999). *Peoples of the Northwest Coast; Their Archaeology and Prehistory*. Thames and Hudson, London.
- ANDERSSON, M. (1994). *Sexual Selection*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- BASS, W.M. (1995). *Human Osteology: A Laboratory and Field Manual*. Missouri Archaeological Society Inc, 4<sup>e</sup> édition.
- BAYLAC M., VILLEMANT C. et SIMBOLOTTI G. (2003). « Combining geometric morphometrics with pattern recognition for the investigation of species complexes ». *Biological Journal of the Linnean Society*, 80 (1): 89-98.
- BOGIN, B. (1999). *Patterns of human growth*. Cambridge University Press, New York; 2<sup>e</sup> édition.
- BOOKSTEIN, F.L. (1982). « Foundations of Morphometrics ». *Annual Review of Ecological Systems*, 13: 451-470.
- BOOKSTEIN F.L., CHERNOFF B., ELDER R.L., HUMPHRIES J.M. Jr., SMITH G.R. et STRAUSS R.E. (1985). *Morphometrics in evolutionary biology: The Geometry of Size and Shape Change, with Examples from Fishes*. Academy of Natural Sciences Press, Philadelphie, publication spéciale: 15.
- BOOKSTEIN, F.L. (1989). « Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations ». *IEEE Transactions in Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11: 567-585.
- BOOKSTEIN, F.L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press, Cambridge.

- BRUZECK, J. (1992). « La diagnose sexuelle à partir du squelette : possibilités et limites ». *Archéo-Nil*, 2: 43-51.
- BUIKSTRA, J.E. et UBELAKER, D.H. (1994). *Standards for data collection for human skeletal remains*. Arkansas archaeological survey, Fayetteville, Arkansas.
- CAMPS, F.E. (1968). *Gradwohl's Legal Medicine*. Chapitre 5: « Identification by the skeletal structures ». p.123-140.
- CASSIDY, C.M. (1977). « Probable Malignancy in a Sadlermiut Eskimo Mandible ». *American Journal of Physical Anthropology*, 46: 291-296.
- CAVALLI-SFORZA L.L., MENOZZI P. et PIAZZA A. (1994). *The History and Geography of Human Genes*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- CHAMBERLAIN, A. (2006). *Demography in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- CLABAUT C., BUNJE P.M., SALZBURGER W. et MEYER A. (2007). « Geometric morphometric analyses provide evidence for the adaptive character of the Tanganyikan cichlid fish radiations ». *Evolution, International Journal of Organic Evolution*, 61 (3): 560-578.
- CLARK, B. (1980). « The Lake Site (KkHh-2), Southampton Island, N.W.T. and its Position in Sadlermiut Prehistory ». *Canadian Journal of Archaeology*, 4: 53-81.
- CYBULSKI, J.S. (2001). *Perspectives on Northern Northwest Coast Prehistory*. Mercury Series, Archaeological Survey of Canada, Paper 160, Ottawa, Musée Canadien des Civilisations.
- DARWIN, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. Murray, London.
- DARWIN, C. (1871). *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. Murray, London.
- DE VILLIERS, H. (1968). *The Skull of the South African Negro: A Biometrical and Morphological Study*. Witwatersrand University Press, Johannesburg.
- DOWNS, J.F. et BLEIBTREU, H.K. (1972). *Human Variation: An Introduction to Physical Anthropology*. Glencoe Press, Californie.
- DRYDEN, I.L. et MARDIA, K.V. (1998). *Statistical Shape Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- ESCOFIER, B. et PAGÈS, J. (1998). *Analyses factorielles simples et multiples : Objectifs, méthodes et interprétation*. 3<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris.

- EVELETH, P.B. et TANNER, J.M. (1990). *Worldwide variation in human growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- EXCEL, Microsoft Office Excel (2003).
- FRANKLIN, D. (2005). « Cranial Variation in Southern Africa: A Series of Inter-Landmark and Three-Dimensional Multivariate Morphometric Studies ». Thèse non publiée, The University of Western Australia, School of Anatomy and Human Biology.
- FRANKLIN D., FREEDMAN L., MILNE N. et OXNARD C. E. (2006). « A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern Africans ». *South African Journal of Science*, 102 Mai/Juin 2006.
- FRANKLIN D., OXNARD C. E., O'HIGGINS P. et DADOUR I. (2007). « Sexual Dimorphism in the Subadult Mandible: Quantification Using Geometric Morphometrics ». *Journal of Forensic Sciences*, 52 (1): 6–10.
- FRIEß, M. (1999). *Taille et conformation crânienne chez les Hominidés de la fin du Pléistocène : Contribution de la morphométrie géométrique au débat sur l'origine de l'Homme moderne*. BAR International Series 799, Oxford.
- FROMENT, A. (1998). « Le peuplement de l'Afrique centrale: contribution de l'anthropobiologie », dans : M. Delneuf, J.-M. Essomba et A. Froment, *Paléoanthropologie en Afrique centrale: un bilan de l'archéologie au Cameroun*. L'Harmattan, Paris.
- FROMENT, A. (2002). « Biological evolution of populations during the Early Holocene transition », dans : P. Bennike, E. Bodzsár et C. Susanne (directeurs), *Biennial Book of European Anthropological Association*. 2: 41-60.
- GAULIN, S.J.C. et BOSTER, J.S. (1992). « Human marriage systems and sexual dimorphism in stature ». *American journal of physical anthropology*, 89: 467-475.
- GILES, E. (1982). « Discriminant functions sexing of the human skeleton », dans: T.D. Stewart (éditeur), *Personal Identification in Mass Disasters*. National Museum of Natural History, Washington, D.C., p. 99-107.
- GODFREY L. (1999). « What Is Heterochrony? ». *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 7 (5): 186-188.
- GONZÁLEZ-JOSÉ R., NEVES W., LAHR M.M., GONZÁLEZ S., PUCCIARELLI H., HERNÁNDEZ M.M., CORREAL G. (2005). « Late Pleistocene/Holocene craniofacial morphology in Mesoamerican Paleoindians: implications for the peopling of the New World ». *American journal of physical anthropology*, 128: 772-780.

- GRAW, M. (1999). « Metric sex determination of the skull base ». *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 50 (2): 101-106.
- HALL, R.L. (1982). *Sexual dimorphism in Homo sapiens. A question of size*. Praeger, New York.
- HANDLEY L.J.L., MANICA A., GOUDET J., BALLOUX F. (2007). « Going the distance: human population genetics in a clinal world ». *Trends in Genetics*, 23 (9): 432-439.
- HARVATI, K. (2002). « Models of Shape Variation Between and Within Species and the Neanderthal Taxonomic Position: A 3D Geometric Morphometrics Approach Based on Temporal Bone Morphology », dans: B. Mafart et H. Delingette (éditeurs), *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archaeology*. Oxford, BAR International Series 1049, p. 25-30.
- HARVATI, K. et WEAVER, T.D. (2006). « Human cranial anatomy and the differential preservation of population history and climate signatures ». *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 288A (12): 1225-1233.
- HAYES M.G., COLTRAIN J.B. et O'ROURKE D.H. (2002). « Molecular archaeology of the Dorset, Thule, and Sadlermiut: ancestor–descendant relationships in Eastern North American arctic prehistory », dans: P. Sutherland (éditeur), *The Dorset Culture: 75 Years After Jenness Mercury Series*. Archaeological Survey of Canada, Canadian Museum of Civilization, Hull, Québec.
- HEATHCOTE, G.M. (1981). « The magnitude and consequences of measurement error in human craniometry ». *Canadian Review of Physical Anthropology*, 3: 18-40.
- HENNESSY, R. J. et STRINGER, C. B. (2002). « Geometric Morphometric Study of the Regional Variation of Modern Human Craniofacial Form ». *American Journal of Physical Anthropology*, 117: 37-48.
- HIERNAUX, J. (1980). *La diversité biologique humaine – Human Biological Diversity*. Canada, Les Presses de l'Université de Montréal, Collection d'Anthropologie physique.
- HOLDEN, C. et MACE, R. (1999). « Sexual dimorphism in stature and women's work: a phylogenetic cross-cultural analysis ». *American journal of physical anthropology*, 110: 27-45.
- HOLLAND, T.D. (1986). « Sex Determination of Fragmentary Crania by Analysis of the Cranial Base ». *American Journal of Physical Anthropology*, 70: 203-308.

- HOWELLS, W.W. (1989). *Skull shapes and the map: craniometric analyses in the dispersion of modern homo*. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Massachusetts, vol. 79.
- HOWELLS, W.W. (1995). *Who's Who in Skulls: Ethnic Identification of Crania from Measurements*. Paper of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Massachusetts, vol. 82.
- JANTZ, R.L. et OWSLEY, D.W. (2001). « Variation among North American crania ». *American journal of physical anthropology*, 114:146-155.
- JONKE E., PROSSINGER H., BOOKSTEIN F.L., SCHAEFER K., BERNHARD M. et FREUDENTHALER J.W. (2007). « Secular trends in the facial skull from the 19<sup>th</sup> century to the present, analyzed with geometric morphometrics ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132 (1): 63-70.
- JORDE L.B., WATKINS W.S., BAMSHAD M.J., DIXON M.E., RICKER C.E., SEIELSTAD M.T. et BATZER M.A. (2000). « The distribution of human genetic diversity: a comparison of mitochondrial, autosomal, and Y-chromosome data ». *American Journal of Human Genetics*, 66: 979-988.
- JUNGERS W.L., FALSETTI A.B. et WALL C.E. (1995). « Shape, relative size, and size-adjustments in morphometrics ». *Yearbook of Physical Anthropology*, 38: 137-161.
- KAPPELER, P.M. et VAN SCHAİK, C.P. (2004). *Sexual Selection in Primates. New and Comparative Perspectives*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KENDALL, D.G. (1984). « Shape Manifolds, Procrustean Metrics and Complex Projective Spaces ». *Bulletin of the London Mathematical Society*, 16: 81-121.
- KIMMERLE E.H., ROSS A. et SLICE D. (2008). « Sexual dimorphism in America: geometric morphometric analysis of the craniofacial region ». *Journal of Forensic Sciences*, 53 (1): 54-57.
- KJELLSTRÖM, A. (2004). « Evaluation of Sex Assessment using Weighted Traits on Incomplete Skeletal Remains ». *International Journal of Osteoarchaeology*, 14: 360-373.
- KLINGENBERG, C.P. (1998). « Heterochrony and allometry : the analysis of evolutionary change in ontogeny ». *Biological Reviews*, 73: 79-123.
- KROGMAN, W.M. et İŞCAN, M.Y. (1986). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Charles C. Thomas, Springfield.
- LAHR, M.M. (1995). « Patterns of modern human diversification: implications for Amerindian origins ». *Yearbook of Physical Anthropology*, 38: 163-198.

- LAHR, M.M. (1996). *The evolution of modern human diversity, a study of cranial variation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LAHR, M.M. et WRIGHT, R.V.S. (1996). « The question of robusticity and the relationship cranial size and shape in *Homo sapiens* ». *Journal of Human Evolution*, 31: 157-191.
- LATTER, B.D.H. (1980). « Genetic differences within and between populations of the major human subgroups ». *American Naturalist*, 116: 220-237.
- LEWONTIN, R.C. (1972). « The apportionment of human diversity ». *Evolutionary Biology*, 6: 381-398.
- LIEBERMAN, L.S. (1982). « Normal and abnormal sexual dimorphic patterns of growth and development », dans: R.L. Hall (éditeur), *Sexual dimorphism in Homo sapiens: a question of size*. Praeger Publishers, New York, p. 263-316.
- LIEBERMAN, L.S. (1998). « Sphenoid shortening and the evolution of modern human cranial shape ». *Nature*, 393: 158-162.
- MACDONALD, G.F. (1969). « Preliminary culture sequence from the Coast Tsimshian area, British Columbia ». *Northwest Anthropological Research Notes*, 3 (2): 240-254.
- MANFREDA E., MITTEROECKER P., BOOKSTEIN F.L. et SCHAEFER K. (2006). « Functional morphology of the first cervical vertebra in humans and nonhuman primates ». *Anatomical Record, Part B, New Anatomist*, 289(5):184-94.
- MARTIN, R. et SALLER, K. (1959). *Lehrbuch der Anthropologie*. Band II. G. Fischer, Stuttgart.
- MAYR, E. (1974). *Populations, espèces et évolution*. Hermann, Paris.
- MAYS, S. (1998). *The Archaeology of Human Bones*. Routledge, Londres et New York.
- MCHENRY, H.M. (1994). « Behavioral ecological implications of early hominid body size ». *Journal of Human Evolution*, 27: 77-87.
- MERBS, C.F. (1983). *Patterns of activity-induced pathology in a Canadian Inuit population*. National Museums of Canada, Ottawa.
- MOSIMANN, J. et JAMES, F. (1979). « New statistical methods for allometry with application to Florida red-winged blackbirds ». *Evolution*, 33 (1): 444-459.
- NEVES W.A., HUBBE M. et CORREAL G. (2007). « Human skeletal remains from Sabana de Bogotá, Colombia: a case of Paleoamerican morphology late survival in South America? ». *American Journal of Physical Anthropology*, 133: 1080-1098.

- O'HIGGINS, P. et JONES, N. (1998). « Facial Growth in *Cercocebus torquatus* : an Application of Three-Dimensional Geometric Morphometric Techniques to the Study of Morphological Variation ». *Journal of Anatomy*, 193: 251-272.
- O'HIGGINS, P. (2000). « The study of morphological variation in the hominid fossil record: biology, landmarks and geometry ». *Journal of Anatomy*, 197 (1): 103-120.
- O'HIGGINS, P. et JONES, N. (2006). *Morphologika : Tools for Shape Analysis*. Hull York Medical School. [<http://www.york.ac.uk/res/fme/resources/software.htm>].
- PIETRUSEWSKY, M. (2000). *Metric analysis of skeletal remains: Methods and applications*, dans: M.A. Katzenberg et S.R. Saunders (éditeurs), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Wiley-Liss, New York, p. 375-415.
- PLAVCAN, J.M. et VAN SCHAİK, C.P. (1997). « Interpreting hominid behavior on the basis of sexual dimorphism ». *Journal of Human Evolution*, 32: 345-374.
- PLAVCAN, J.M. (2001). « Sexual dimorphism in primate evolution ». *Yearbook of Physical Anthropology*, 44:25-53.
- PRETORIUS E., STEYN M. et SCHOLTZ Y. (2006). « Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism ». *American Journal of Physical Anthropology*, 129 (1): 64-70.
- RELETFORD, J.H. (1994). « Craniometric variation among modern human populations ». *American Journal of Physical Anthropology*, 95: 53-62.
- RELETFORD, J.H. (2001). *Genetics and the search for modern human origins*. Wiley-Liss, New York.
- RELETFORD, J.H. (2002). « Apportionment of global human genetic diversity based on craniometrics and skin color ». *American Journal of Physical Anthropology*, 118: 393-398.
- RICHTSMEIER J.T., DELEON V.B. et LELE S.R. (2002). « The Promise of Geometric Morphometrics ». *Yearbook of Physical Anthropology*, 45: 63-91.
- RIGHTMIRE, G.P. (1971). « Discriminant Function Sexing of Bushman and South African Negro Crania ». *South African Archaeological Bulletin*, 26: 132-138.
- ROHLF, F.J. et MARCUS, L.F. (1993). « A revolution in morphometrics ». *Trends in Ecology Evolution*, 8: 129-132.
- ROSAS, A. et BASTIR, M. (2002). « Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex ». *American Journal of Physical Anthropology*, 117: 236-245.

- ROSEMAN, C.C. et WEAVER, T.D. (2004). « Multivariate apportionment of global human craniometric diversity ». *American Journal of Physical Anthropology*, 125: 257-263.
- SAUNDERS S. R., HERRING A., SAWCHUK L.A. et BOYCE G. (1995). « The Nineteenth-century Cemetery at St. Thomas' Anglican Church, Belleville: Skeletal Remains, Parish Records and Censuses », dans: S.R. Saunders et A. Herring (éditeurs), *Grave Reflections: Portraying the Past through Cemetery Studies*. Canadian Scholars' Press Inc, Toronto, p. 93-117.
- SLICE, D.E. (2005). *Modern morphometrics in physical anthropology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- SPSS 11.5 pour Windows (2002).
- SPOOR F., O'HIGGINS P., DEAN C. et LIEBERMAN D.E. (1999). « Anterior sphenoid in modern humans ». *Nature*, 397 (6720): 572.
- STAFFORD, J. et BODSON, P. (2006). *L'analyse multivariée avec SPSS*. Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy.
- STEFAN, V.H. (1999). « Craniometric Variation and Homogeneity in Prehistoric/Protohistoric Rapa Nui (Easter Island) Regional Populations ». *American Journal of Physical Anthropology*, 110: 407-419.
- STEYN, M. et İŞCAN, M.Y. (1998). « Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites ». *Forensic Science International*, 98 (1-2): 9-16.
- STYNDER D., ACKERMANN R.R. et SEALY J.C. (2007). « Craniofacial Variation and Population Continuity During the South African Holocene ». *American Journal of Physical Anthropology*, 134: 489-500.
- SUNDBERG, P. (1989). « Shape and size-constrained principal component analysis ». *Systematic Zoology*, 38: 166-168.
- VIÐARSDÓTTIR U.S., O'HIGGINS P. et STRINGER C. (2002). « A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton ». *Journal of Anatomy*, 201 (3): 211-229.
- TYRRELL, A. (2000). « Skeletal non-metric traits and the assessment of inter- and intra-population diversity: past problems and future potential », dans: M. Cox et S. Mays (éditeurs), *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*. Greenwich Medical Media, London, p.289-306.
- UBELAKER, D.H. (1999). *Human skeletal remains : excavation, analysis, interpretation*. 3<sup>e</sup> édition, Taraxacum, Washington.

- VON CRAMON-TAUBADEL N., FRAZIER B.C. et LAHR M.M. (2007). « The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications ». *American Journal of Physical Anthropology*, 134 (1): 24-35.
- WHITE, T.D. et FOLKENS, P.A. (2000). *Human Osteology*. Academic Press, New York.
- WHITE, T.D. et FOLKENS, P.A. (2005). *The Human Bone Manual*. Elsevier Academic Press, Amsterdam et Boston.
- WIKIPÉDIA, L'encyclopédie libre. (2007, 07-06-2007). « Homme de Vitruve ». Regardé le 06-07-2007, [[http://fr.wikipedia.org/wiki/Homme\\_de\\_Vitruve](http://fr.wikipedia.org/wiki/Homme_de_Vitruve)].
- WOOD, C.G. et LYNCH, J.M. (1996). « Sexual dimorphism in the craniofacial skeleton of modern humans », dans: L.F. Marcus (éditeur), *Advances in Morphometrics*. Plenum Press, New York, p. 407-414.
- ZWIJENBERG, R. (1999). *The writings and drawings of Leonardo da Vinci : order and chaos in early modern thought*. Cambridge University Press, New York.

## ANNEXE A

### Morphométrie traditionnelle : Liste et illustrations des mesures linéaires utilisées dans la présente étude

#### Voûte crânienne :

1. Longueur crânienne maximum (GOL) (g-op) : Mesure de la distance entre la glabelle et l'opisthocranion (Howells, 1989).
2. Largeur crânienne maximum (XCB) (eu-eu) : Mesure de la distance entre l'euryon droit et l'euryon gauche, perpendiculaire au plan sagittal (Howells, 1989).
3. Largeur biastérionique (ASB) (ast-ast) : Mesure de la distance entre l'astérion droit et l'astérion gauche (Howells, 1989).
4. Distance nasion-bregma (FRC) (n-b) : Mesure de la distance entre le nasion et le bregma (Howells, 1989).
5. Distance bregma-lambda (PAC) (b-l) : Mesure de la distance entre le bregma et le lambda (Howells, 1989).
6. Distance lambda-opisthion (OCC) (l-o) : Mesure de la distance entre le lambda et l'opisthion (Howells, 1989).
7. Hauteur totale (BBH) (ba-b) : Mesure de la distance entre le basion et le bregma (Howells, 1989).

#### Face :

1. Longueur basion-nasion (BNL) (ba-n) : Mesure de la distance entre le basion et le nasion (Howells, 1989).
2. Longueur basion-prosthion (BPL) (ba-pr) : Mesure de la distance entre le basion et le prosthion (Howells, 1989).
3. Hauteur nasion-prosthion (NPH) (n-pr) : Mesure de la distance entre le nasion et le prosthion (Howells, 1989).
4. Largeur bizygomatique (ZYB) (zy-zy) : Mesure maximale de la distance entre les deux arcades zygomatiques (Howells, 1989).
5. Largeur biorbitale (EKB) (ec-ec) : Mesure de la distance entre l'ectoconchion droit et l'ectoconchion gauche (Howells, 1989).
6. Largeur bimaxillaire (ZMB) (zm-zm) : Mesure de la distance d'un zygomaxillaire à l'autre (Howells, 1989).

7. Largeur maxillo-alvéolaire (MAB) (ecm-ecm) : Mesure maximale de la distance entre les surfaces externes de la bordure alvéolaire, souvent au niveau des deuxièmes molaires (Howells, 1989).
8. Hauteur prémaxillaire (PMH) (pr-ns) : Mesure de la distance entre le prosthion et le nasospinale (Shrubsall, 1896, *Biometrika*).
9. Hauteur nasale a (NLHa) (n-ns) : Mesure de la distance entre le nasion et le nasospinale (Shrubsall, 1896, *Biometrika*).
10. Hauteur nasale b (NLHb1) (n-na) : Mesure de la distance entre le nasion et le nariale gauche (Howells, 1989).
11. Hauteur nasale c (NLHb2) (n-na) : Mesure de la distance entre le nasion et le nariale droit (Howells, 1989).
12. Largeur nasale maximum (NLB) (al-al) : Mesure de la distance maximale entre l'alare droit et l'alare gauche (Howells, 1989).
13. Largeur interorbitale (DKB) (d-d) : Mesure de la distance entre le dacryon droit et le dacryon gauche (Howells, 1989).

*Pour l'orbite gauche (14,15,16) :*

14. Largeur de l'orbite a (OBBa1) (d-ec) : Mesure de la distance entre le dacryon et l'ectoconchion (Howells, 1989).
15. Largeur de l'orbite b (OBBb1) (d-fo) : Mesure de la distance entre le dacryon et le frontozygomatique orbitale (Martin et Saller, 1959).
16. Hauteur de l'orbite (OBH1) (os-or) : Mesure perpendiculaire à la mesure OBBa; entre le point supérieur et le point inférieur de l'orbite (Howells, 1989).

*Pour l'orbite droite (17,18,19):*

17. Largeur de l'orbite a (OBBa2) (d-ec) : Mesure de la distance entre le dacryon et l'ectoconchion (Howells, 1989).
18. Largeur de l'orbite b (OBBb2) (d-fo) : Mesure de la distance entre le dacryon et le frontozygomatique orbitale (Martin et Saller, 1959).
19. Hauteur de l'orbite (OBH2) (os-or) : Mesure perpendiculaire à la mesure OBBa; entre le point supérieur et le point inférieur de l'orbite (Howells, 1989).

Base crânienne :

1. Largeur bimastoïdale a (BIMAS.BRa) (ms-ms) : Mesure de la distance entre la pointe de chacun des mastoïdes (Martin et Saller, 1959).
2. Largeur bimastoïdale b (BIMAS.BRb) (ems-ems) : Mesure de la distance maximale entre les deux mastoïdes; prise sur les côtés de ceux –ci, là où s'est le plus large (Martin et Saller, 1959).

3. Longueur du foramen magnum (FOL) (ba-o) : Mesure de la distance entre le basion et l'opisthion (Howells, 1989).
4. Largeur du foramen magnum (FOB) (fm-fm) : Mesure de la distance entre les marges latérales du foramen magnum, là où la courbure est la plus latérale (Martin et Saller, 1959).
5. Largeur bicondyalaire (BcB) : Mesure de la distance maximale entre les deux surfaces articulaires occipitales (Holland, 1986).
6. Longueur du processus basilaire (LBP) (ba-méd.SB) : Mesure de la distance maximale entre le basion et le point médian de la suture basilaire (Holland, 1986).
7. (GPO1) (g-po) : Mesure de la distance entre la glabelle et le porion gauche (Graw, 1999).
8. (GPO2) (g-po) : Mesure de la distance entre la glabelle et le porion droit (Graw, 1999).
9. Longueur dorsale du crâne (OPPO1) (op-po) : Mesure de la distance entre l'opisthocranion et le porion gauche (Graw, 1999).
10. Longueur dorsale du crâne (OPPO2) (op-po) : Mesure de la distance entre l'opisthocranion et le porion droit (Graw, 1999).
11. Longueur de la surface articulaire occipitale gauche (MLC1) (sao-sao) : Mesure maximale de la distance entre le point le plus antérieur et le point le plus postérieur de la surface articulaire occipitale gauche (Holland, 1986).
12. Largeur de la surface articulaire occipitale gauche (MWC1) (lat.sao-lat.sao) : Mesure maximale de la distance entre les points latéraux-médians de la surface articulaire occipitale gauche (Holland, 1986).
13. Longueur de la surface articulaire occipitale droite (MLC2) (sao-sao) : Mesure maximale de la distance entre le point le plus antérieur et le point le plus postérieur de la surface articulaire occipitale droite (Holland, 1986).
14. Largeur de la surface articulaire occipitale droite (MWC2) (lat.sao-lat.sao) : Mesure maximale de la distance entre les points latéraux-médians de la surface articulaire occipitale droite (Holland, 1986).

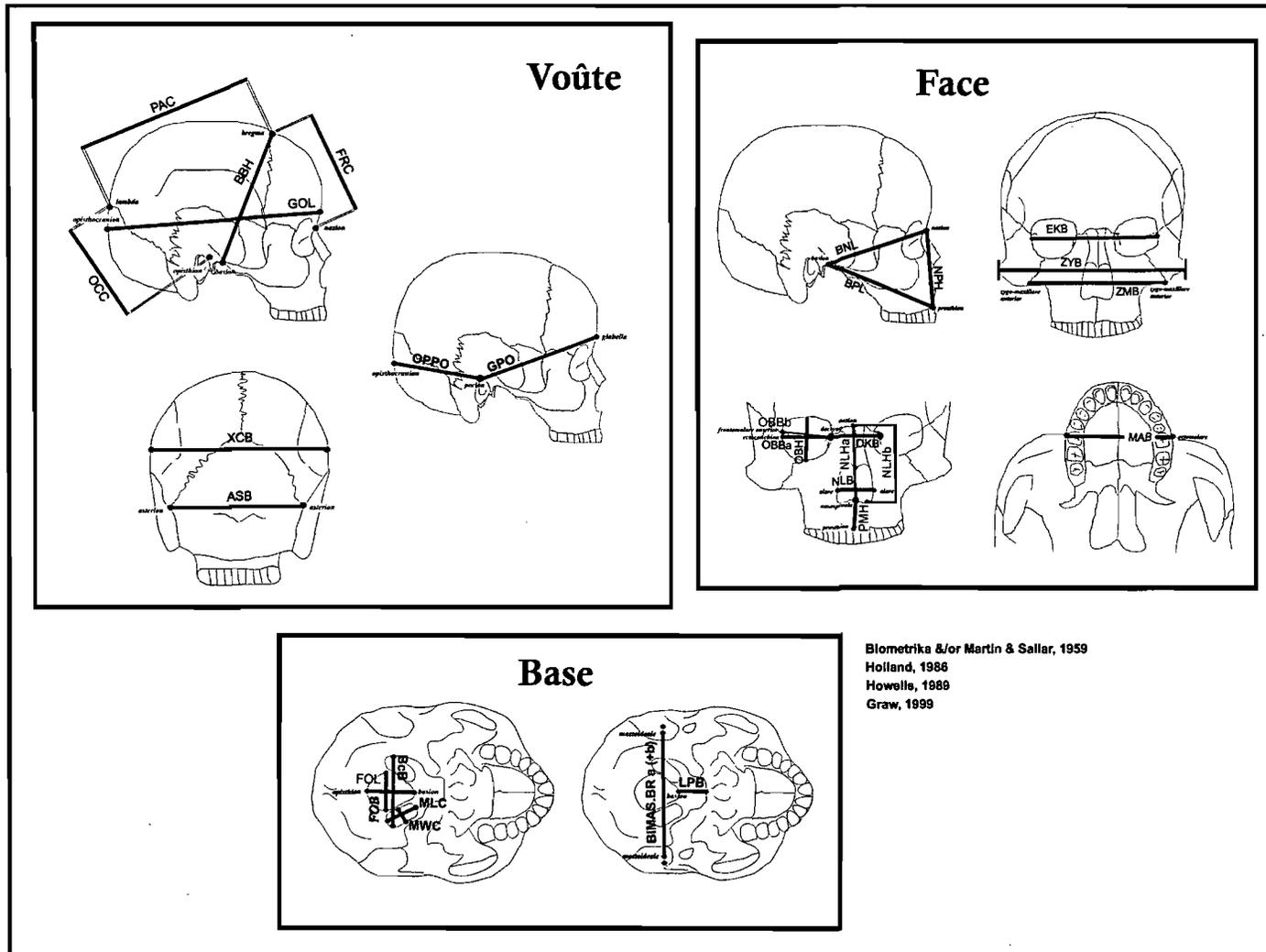


Figure A.1. Mesures traditionnelles de la voûte, de la face et de la base retenues pour le projet.

## ANNEXE B

### Morphométrie géométrique : Liste et illustrations des points anatomiques utilisés dans la présente étude

#### Notes :

- Pour les points bilatéraux, le premier numéro correspond au côté gauche du crâne et le deuxième correspond au côté droit du crâne.
- Définitions des points selon : Martin et Saller (1959), White et Folkens (2000), Bass (1995) et Franklin (2005).
- **Correspondent aux points utilisés pour la combinaison de la base avec la voûte et la face.**

#### 1. Voûte crânienne et face

##### A) Bilatéraux

<b>1 &amp; 2 Astérior (ast)</b>	À la jonction des sutures lambdoïde, pariéto-mastoïdienne et occipito-mastoïdienne.
3 & 4 Euryon (eu)	Sommet de l'éminence pariétale.
5 & 6 Ptérior (pt)	Point de rencontre antérieur des os frontal, pariétal, temporal et de la grande aile du sphénoïde.
7 & 8 Porion (po)	Point médian du rebord supérieur du conduit auditif externe.
9 & 10 Frontozygomatique orbitale (fo)	Sur la suture fronto-zygomatique, sur le bord de l'orbite.
11 & 12 Ectoconchion (ec)	Point du rebord latéral de l'orbite, qui est situé au centre de celui-ci.
13 & 14 Orbitale supérieur (os)	Point le plus supérieur de l'orbite.
15 & 16 Orbitale (or)	Point le plus inférieur de l'orbite.
17 & 18 Dacryon (d)	À la jonction de l'os frontal et de la suture lacrimomaxillaire.
19 & 20 Alare (al)	Point le plus latéral de l'échancrure nasale.
21 & 22 Nariale (na)	Point le plus bas sur le bord inférieur de l'échancrure nasale, de chaque côté du nasospinale.
23 & 24 Zygion (zy)	Point le plus latéral de l'arcade zygomatique.
<b>25 &amp; 26 Zygomaxillaire (zm)</b>	Point le plus inférieur de la suture zygomatoc-maxillaire.

*B) Non bilatéraux*

- 27 Opisthocranion (op) Point, peu importe où il se situe dans le plan sagittal de l'os occipital, qui marque l'extrémité postérieure de la plus grande longueur du crâne, à partir de la glabelle.
- 28 Lambda (l) À l'intersection des sutures sagittale et lambdoïde.
- 29 Mi-sagittal (m) Point se situant exactement entre le bregma et le lambda.
- 30 Bregma (b) À l'intersection des sutures coronale et sagittale.
- 31 Mi-frontal (mf) Point se situant exactement entre le bregma et le point le plus supérieur des 6 points pris sur l'arc frontal.
- 32 à 37 Arc frontal (af) Un ensemble de 6 points, espacés de 10mm chacun, au-dessus de la glabelle.
- 38 Glabelle (g) Point le plus antérieur sur la ligne médiane du front, au niveau des crêtes supraorbitales et au-dessus de la suture naso-frontale.
- 39 Nasion (n) À l'intersection de la suture naso-frontale et du plan mi-sagittal.
- 40 Nasospinale (ns) Point situé au milieu d'une ligne tirée à partir des points les plus inférieurs de l'échancrure nasale.
- 41 Prosthion (pr) Point le plus antérieur et au centre du processus alvéolaire du maxillaire.

**2. Base crânienne***A) Bilatéraux*

- 42 & 43 Astéron (ast) À la jonction des sutures lambdoïde, pariéto-mastoïdienne et occipito-mastoïdienne.
- 44 & 45 Mastoïdale (ms) Point le plus inférieur du mastoïde.
- 46 & 47 Éminence mastoïdienne (ems) Point situé sur le côté du mastoïde, où la mesure est la plus grande lorsque l'on mesure d'une éminence à l'autre.
- 48 & 49 (fm) Point le plus latéral du foramen magnum.
- 50 et 51 & 52 et 53 (lat. sao) Points latéro-médian de la surface articulaire occipitale.

54 et 55 & 56 et 57 (sao)	Point le plus antérieur et point le plus postérieur de la surface articulaire occipitale.
58 & 59 (fov)	Point le plus antéro-médian du foramen ovale.
60 & 61 (lat. SB)	Point le plus latéral de la suture basilaire.
62 à 64 & 65 à 67 (sam)	Ensemble de 3 points délimitant la surface articulaire de la mandibule : - 62 & 65 Point le plus latéral et le plus saillant de la surface articulaire mandibulaire; - 63 & 66 Point le plus médian et le plus postérieur de la suture temporale du sphénoïde; - 64 & 67 Point le plus postérieur de la surface articulaire mandibulaire et qui repose sur le conduit auditif externe.
68 & 69 Auriculare (au)	Point sur l'aspect latéral du début du processus zygomatique, là où la courbure est la plus creuse.
70 & 71 Zygotemporale postérieur (zp)	Point le plus inférieur sur la suture temporo-zygomatique.
<b>72 &amp; 73 Zygomaxillaire (zm)</b>	Point le plus inférieur de la suture zygomatoco-maxillaire.
74 & 75 Tubérosité maxillaire (tm)	Point le plus postérieur du bord alvéolaire du maxillaire.
76 & 77 Ectomolaire (ecm)	Point le plus latéral de la surface externe de la bordure alvéolaire du maxillaire; souvent au niveau de la deuxième molaire.
<i>B) Non bilatéraux</i>	
78 Crête nucale (cn)	Protubérance la plus proéminente sur la crête nucale supérieure.
79 Opisthion (o)	Point médian du bord postérieur du foramen magnum.
80 Basion (ba)	Point médian du bord antérieur du foramen magnum.
81 (méd. SB)	Point médian de la suture basilaire.
82 Vomer inférieur (vi)	Base du vomer, au point de contact sur l'os sphénoïde.
83 Alvéolon (alv)	Point situé au milieu de la tangente tirée des extrémités postérieures des rebords alvéolaires du maxillaire.

84 (SM-ST palais)

Point à la croisée de la suture médiane du palais et de la suture transversale du palais.

85 Orale (ol)

Point situé au milieu de la tangente postérieure aux deux incisives centrales supérieures.

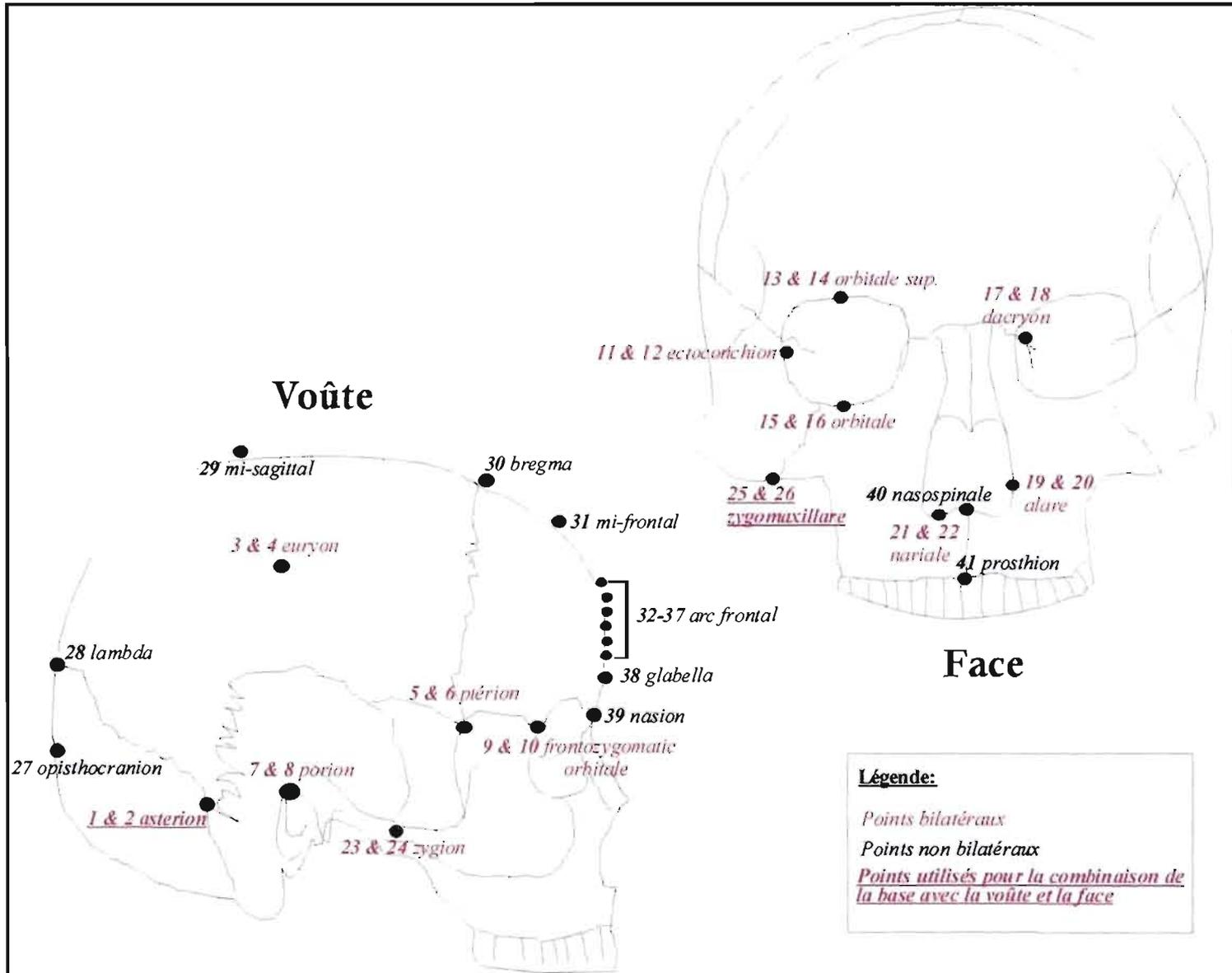


Figure A.2. Morphométrie géométrique : points anatomiques de la voûte et de la face retenus pour le projet.

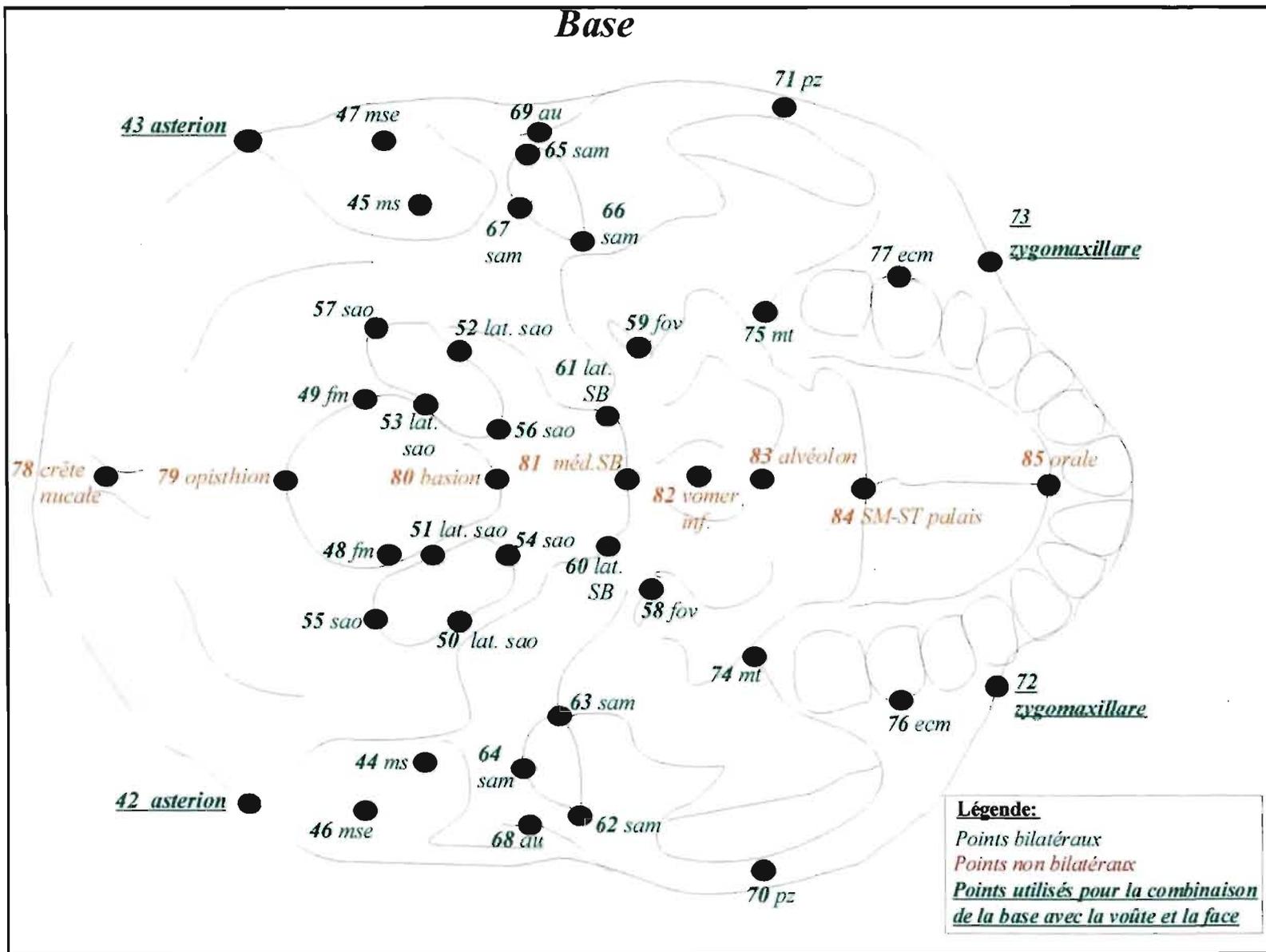


Figure A.3. Morphométrie géométrique : points anatomiques de la base retenus pour le projet.

## ANNEXE C

Tableau de correspondance entre les mesures linéaires traditionnelles et les points anatomiques de la morphométrie géométrique.

Mesures linéaires traditionnelles	Points anatomiques
<b>Voûte crânienne</b>	
1. GOL	g (38) – op (27)
2. XCB	eu (3) – eu (4)
3. ASB	ast (1 et 42) – ast (2 et 43)
4. FRC	n (39) – b (30)
5. PAC	b (30) – l (28)
6. OCC	l (28) – o (79)
7. BBH	ba (80) – b (30)
*	pt (5 et 6)
*	m (29)
*	mf (31)
*	af (32 à 37)
<b>Face</b>	
1. BNL	ba (80) – n (39)
2. BPL	ba (80) – pr (41)
3. NPH	n (39) – pr (41)
4. ZYB	zy (23) – zy (24)
5. EKB	ec (11) – ec (12)
6. ZMB	zm (25 et 72) – zm (26 et 73)
7. MAB	ecm (76) – ecm (77)
8. PMH	pr (41) – ns (40)
9. NLHa	n (39) – ns (40)
10. NLHb1	n (39) – na (21)
11. NLHb2	n (39) – na (22)
12. NLB	al (19) – al (20)
13. DKB	d (17) – d (18)
14. OBBa1	d (17) – ec (11)
15. OBBb1	d (17) – fo (9)
16. OBH1	os (13) – or (15)
17. OBBa2	d (18) – ec (12)
18. OBBb2	d (18) – fo (10)
19. OBH2	os (14) – or (16)
<b>Base crânienne</b>	
1. BIMAS.BRa	ms (44) – ms (45)
2. BIMAS.BRb	ems (46) – ems (47)
3. FOL	ba (80) – o (79)
4. FOB	fm (48) – fm (49)
5. BcB	*
6. LBP	ba (80) – méd.SB (81)

7. GPO1	g (38) – po (7)
8. GPO2	g (38) – po (8)
9. OPPO1	op (27) – po (7)
10. OPPO2	op (27) – po (8)
11. MLC1	sao (54) – sao (55)
12. MWC1	lat.sao (50) – lat.sao (51)
13. MLC2	sao (56) – sao (57)
14. MWC2	lat.sao (52) – lat.sao (53)
*	fov (58 et 59)
*	lat. SB (60 et 61)
*	sam (62 à 64 et 65 à 67)
*	au (68 et 69)
*	zp (70 et 71)
*	tm (74 et 75)
*	cn (78)
*	vi (82)
*	alv (83)
*	SM-ST palais (84)
*	ol (85)

\* Aucune correspondance.