

COMMUNICATION

La biologie moderne, l'imagerie et la médecine légale : apports et limites dans l'étude des ossements

MOTS CLÉS : MÉDECINE LÉGALE. ANTHROPOLOGIE, MÉDICOLÉGALE. ANTHROPOMÉTRIE. ISOTOPES DU CARBONE. ISOTOPES DE L'AZOTE. ADN. TOMODENSITOMÉTRIE. IMAGERIE TRIDIMENSIONNELLE

Modern biology, imagery and forensic medicine : contributions and limitations in examination of skeletal remains

KEY WORDS (Index medicus) : FORENSIC MEDICINE. FORENSIC ANTHROPOLOGY. ANTHROPOMETRY. CARBON ISOTOPES. NITROGEN ISOTOPES. DNA. TOMOGRAPHY. X-RAY COMPUTED. IMAGING THREE-DIMENSIONAL

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêt avec le contenu de cet article

Dominique LECOMTE *, Isabelle PLU **, Alain FROMENT **

RÉSUMÉ

Le médecin légiste est souvent sollicité lors de la découverte d'ossements. De nombreuses informations peuvent en être tirées par une observation minutieuse qui permettra dans bien des cas d'affirmer leur origine humaine, d'apporter des éléments d'identification et, avec moins de certitude, de déterminer leur ancienneté. Les nouvelles techniques d'imagerie tri-dimensionnelle peuvent apporter des renseignements complémentaires en termes d'ostéométrie et de reconstruction faciale, alors que les techniques d'ostéochimie, en particulier l'étude des isotopes du carbone et de l'azote, stables ou radioactifs, renseigneront respectivement sur le régime alimentaire des défunts et sur l'ancienneté des ossements. Les analyses génétiques sur ADN ancien, en plein essor, servent à l'identification des ossements. L'ensemble des techniques modernes d'anthropologie, bien que peu réalisées dans un contexte judiciaire, sont néanmoins disponibles pour les cas les plus complexes.

* Institut médico-légal, 2 place Mazas, 75012 Paris, e-mail : dominique.lecomte@interieur.gouv.fr

** Institut médico-légal, 2 place Mazas, 75012 Paris

*** UMR 208 IRD-MNHN, Muséum national d'histoire naturelle, 43 rue Buffon, 75005 Paris

Tirés à part : Professeur Dominique LECOMTE, même adresse

Article reçu le 4 mai 2012, accepté le 4 juin 2012

SUMMARY

Forensic examination is often requested when skeletal remains are discovered. Detailed visual observation can provide much information, such as the human or animal origin, sex, age, stature, and ancestry, and approximate time since death. New three-dimensional imaging techniques can provide further information (osteometry, facial reconstruction). Bone chemistry, and particularly measurement of stable or unstable carbon and nitrogen isotopes, yields information on diet and time since death, respectively. Genetic analyses of ancient DNA are also developing rapidly. Although seldom used in a judicial context, these modern anthropologic techniques are nevertheless available for the most complex cases.

La biologie moderne et la médecine légale — Ses apports et ses limites dans l'étude des ossements.

INTRODUCTION

La médecine légale a pour but d'apporter à la justice des avis techniques établis sur des preuves scientifiques. Un éventail de techniques, des plus traditionnelles aux plus sophistiquées, permet de répondre de façon satisfaisante à ces questions. Le médecin légiste est ainsi sollicité en cas de découverte d'ossements, qui peut être fortuite (travaux de jardinage, de voirie ou d'aménagement de domicile, promenade en forêts ...) ou faire suite à une enquête pour recherche de personne disparue. Ces ossements peuvent être des squelettes entiers ou incomplets, mais peuvent aussi être des fragments de restes humains altérés ou exhumés, comme c'est le cas dans les catastrophes de masse ou les faits de guerre.

De nombreuses informations peuvent être tirées de ces ossements, concernant le mode de vie des individus, les circonstances de leur mort et leur séjour post-mortem. La mission du médecin légiste sera donc de déchiffrer ces données afin de renseigner la justice sur :

- L'espèce en question : ces ossements sont-ils d'origine humaine ou animale ?
- L'identité des individus : sexe, âge, stature, origine géographique
- Leur ancienneté (ou délai post-mortem) : depuis combien de temps la personne est-elle décédée ?
- La cause de la mort : stigmates de traumatisme ou de pathologie ?

Pour répondre à ces missions d'anthropologie médico-légale, la médecine légale a dû élargir ses compétences dans une pluridisciplinarité indispensable, associant au médecin légiste, un anatomo-pathologiste, un odontologiste, un archéo-anthropologue et un biologiste. Cette science multidisciplinaire est en plein développement en ce début de XXI^e siècle et de nombreuses recherches scientifiques sont actuellement menées dans ce domaine.

Ainsi, à côté de l'anthropologie observationnelle donnant des informations sur l'identité de la personne, se sont développées des techniques scientifiques s'appuyant sur l'imagerie moderne et la biologie, et permettant de donner une vision nouvelle à la discipline.

MÉTHODES D'IDENTIFICATION DES PERSONNES

Avant toute expertise d'anthropologie, il est indispensable de différencier un os humain d'un os animal par analyse anatomique comparative. Ce travail est parfois rendu complexe lorsqu'il s'agit de fragments d'os infantiles de petite taille, carbonisés, broyés, ou charriés. Les techniques anciennes d'anatomo-pathologie pour visualiser la structure haversienne de l'os sont toujours utiles mais pas toujours suffisantes.

Les principes de l'anthropologie observationnelle

Une observation attentive des ossements apporte des informations primordiales sur l'identité de la personne, permettant de déterminer un profil ostéologique ou une « ostéobiographie ».

Détermination de l'âge au moment du décès

Chez l'enfant, l'étude du développement des systèmes osseux et dentaire permettra de déterminer l'âge au moment du décès [1], du fait de l'apparition des noyaux d'ossification à des périodes déterminées et connues, de la soudure des cartilages de conjugaison, et pour le système dentaire, des dents déciduales, puis des dents définitives.

Chez l'adulte, l'âge pourra être estimé, avec moins de précision, par l'étude de l'extrémité sternale des côtes [2], de la symphyse pubienne [3, 4], de l'articulation sacro-iliaque [5, 6], des synostoses crâniennes [7] ou de la morphologie dentaire (méthode de Lamendin [8]). C'est en fait la combinaison de ces méthodes traditionnelles qui apporte la meilleure estimation [9].

Détermination de la taille

L'estimation de la taille a été initiée par les travaux des anthropologistes au XIX^e siècle (Rollet en 1888, Pearson en 1898), puis au XX^e siècle (Dupertuis en 1951, Fully en 1956) qui ont montré l'existence d'une corrélation entre la longueur des os longs et celle du corps avec des variations dues au sexe et à l'origine ethnique et ont proposé plusieurs formules mathématiques comportant des écarts types de ± 3 cm. Des tables ont été établies déterminant la taille des individus à partir des os longs [10, 11], des métacarpes [12], métatarses [13] et des vertèbres [14].

Détermination du sexe

Les méthodes de différenciation du sexe à partir d'un squelette sont basées sur deux différences fondamentales entre homme et femme : la taille des pièces osseuses et leur architecture [15]. Ainsi les os d'un homme sont plus robustes, plus longs, et comportant des crêtes d'insertions musculaires plus marquées. Ce sera l'étude morphologique du bassin et du crâne qui apportera le maximum de caractères distinctifs, même si la mesure des os longs, comme par exemple le diamètre de la tête fémorale, peut être utile.

Détermination de l'origine géographique de l'individu à partir de la morphologie crânio-faciale

La détermination de l'origine géographique des squelettes est chose délicate. Elle s'aidera de mesures anthropométriques multiples, relevées par exemple sur le crâne, produisant un score indicateur d'une probabilité d'origine géographique (européenne, africaine ou asiatique) [16]. Ainsi, sur un crâne, sont discriminant les formes des orifices orbitaires, de l'orifice nasal, l'angle facial, la forme de la voûte crânienne, l'implantation des dents ou de la forme du palais.

Cette analyse géo-anatomique montre qu'au sein de l'espèce humaine la variation est continue. Il existe des caractères distinctifs d'ordre morphologique qui changent progressivement d'un continent à l'autre. Les proportions corporelles, rapport taille assise/taille debout, rapport entre segments distaux et proximaux des membres, sont corrélées au climat et aux impératifs de la thermorégulation (la surface corporelle est d'autant plus grande par rapport à la masse corporelle que l'évapotranspiration est efficace). Au niveau du crâne, des gradients géographiques tels que la largeur du nez augmentent globalement du Nord vers le Sud et la largeur du visage (diamètre bi-zygomatique) augmentent d'Ouest en Est. A partir d'une banque de données de crâniométrie, il est montré que les populations se regroupent par affinité spatiale et que leur distribution en terme de proximité morphologique se superpose presque exactement à leur situation géographique. Ainsi, le continent asiatique, davantage que l'Afrique sub-saharienne, occupe une position relativement centrale dans la gamme des variations de l'homme moderne. Il est possible d'identifier avec une assez bonne probabilité, malgré des variations interindividuelles très larges, l'origine géographique d'un sujet en prenant une dizaine de mensurations crâniennes standardisées et en les comparant, au moyen d'une méthode mathématique appropriée à une banque de données par un logiciel (FORDISC utilisé pour les populations des USA [17]). Toutes ces méthodes d'analyse géo-anatomique des ossements par craniométrie, morphométrie, etc. restent des substituts utiles à la génétique.

Détermination du délai post-mortem

L'ancienneté des ossements est très difficile à apprécier par la seule observation macroscopique, car elle est extrêmement dépendante de l'environnement (restes inhumés, enterrés, laissés à l'air libre, exposés aux intempéries, immergés, altérés par

la faune et la flore, ...) [18]. La détermination d'un délai post-mortem sera donc prudente, large et simplement indicative.

Apport de l'imagerie moderne dans l'étude des ossements

Techniques comparatives

Des comparaisons méticuleuses peuvent aussi être effectuées entre les radiographies osseuses ante-mortem existantes du crâne, du thorax ou de l'abdomen, et les radiographies des ossements retrouvés. Des caractères exceptionnels tels que des ostéophytes, des cals osseux de fractures anciennes peuvent être déterminants pour l'identification, de même que la comparaison des hyperostoses frontales et des sinus frontaux étudiés du fait de leur extrême variabilité interindividuelle significative [19]. L'étude comparative est fonction de l'expérience de l'opérateur et certains déplorent qu'un minimum de points de comparaison n'existe pas pour l'identification comparative osseuse [20] à l'instar de ce qui est courant dans les empreintes digitales.

La digitalisation numérique

La morphométrie géométrique est une méthode récente qui permet d'analyser la forme d'un os (crâne, bassin, fémur) par un ensemble de points caractéristiques qui le définissent [21]. Ceux-ci sont à la fois homologues et reproductibles, quelles que soient la forme et la taille des os. L'acquisition numérique des données est réalisée grâce à un digitaliseur tridimensionnel (scanner utilisant des rayons laser) qui permet l'enregistrement de coordonnées numériques de points caractéristiques d'une surface ou d'un objet complexe, ce qui permettra par l'intermédiaire d'un logiciel de conception assistée par ordinateur, d'obtenir des mesures des diamètres, de longueurs et de volumes de ces objets [22].

Le scanner tridimensionnel

L'imagerie scannographique tridimensionnelle permet une meilleure appréciation des structures anatomiques : le scanner (ou tomodensitométrie) combine la tomographie, c'est-à-dire des coupes virtuelles d'environ 1 à ½ mm faites au rayon X et le traitement informatique assisté par ordinateur pour reconstruire les volumes ; le micro scanner réduit l'épaisseur de coupe à 1 µ permettant de révéler des détails plus précis sur les structures internes. Le scanner 3D permet, après acquisition des données, de construire des images de synthèse de l'os en trois dimensions ; le scanner de surface est, quant à lui, basé sur l'emploi d'un faisceau de lumière cohérente qui, à la différence des rayons X, ne pénètre pas à l'intérieur du corps mais en balaye la surface pour en reproduire le volume. Il est portable et ne nécessite pas d'enceinte de radioprotection.

Grâce au logiciel de morphologie géométrique qui standardise le format pour mieux analyser la forme, on peut quantifier la description des caractères anatomiques des

individus, leur morphotypes, leurs différences individuelles, leur état pathologique, maladies, malformations, blessures, et les caractéristiques propres à leur adaptation géographique locale ou à une diversification évolutive.

Ces images virtuelles peuvent être matérialisées grâce à des imprimantes 3D qui reproduisent le volume soit par stéréo-lithographie (un stylet piloté par l'ordinateur sculpte un bloc de plâtre) soit par coagulation de résine sous l'effet d'un rayonnement.

La reconstruction crânio-faciale

Dans les dix dernières années, de nombreux travaux ont vu le jour sur la reconstruction faciale permettant de reconstruire un visage à partir d'un crâne squelettisé [23]. La reconstruction faciale peut être bidimensionnelle, utilisant le dessin et la méthode de crâniographie latérale de Georges qui permet de reconstruire un profil stylisé à partir d'une radiographie céphalométrique du crâne de profil [24]. Cette technique peut également être tridimensionnelle manuelle, permettant de restaurer les parties molles du visage avec du matériel malléable à partir du crâne ou d'une impression 3D. Des marqueurs anthropologiques d'une longueur adéquate choisie en fonction des données de la littérature vont être positionnés sur les points anthropologiques discriminants du massif facial. Les résultats peuvent être améliorés par méthodes informatisées tridimensionnelles [25, 26].

Les progrès de l'ostéochimie

La chimie et la biologie ont permis de donner une base scientifique aux techniques anthropologiques anciennes, par exemple pour ce qui concerne l'estimation de l'âge au moment du décès, du sexe, ou la datation des ossements.

Détermination de l'âge au moment du décès

L'étude de la racémisation de l'acide aspartique réalisée par chromatographie en phase gazeuse est une méthode basée sur les changements non enzymatiques mais dépendant de l'âge, des acides aminés. En effet, les acides aminés constituant les protéines ont une configuration en trois dimensions de type lévogyre. Ces L-acides aminés sont utilisés lors de la biosynthèse protéique et vont se fixer en particulier dans les dents et dans les os. Dans les tissus ayant un faible taux de renouvellement (dents, cornée), les acides aminés vont, au cours de la vie, effectuer un mouvement de rotation appelé la racémisation et passer de la forme L à la forme D (dextrogyre). Il a été montré dans les années 70 [27] que le taux de racémisation de l'acide aspartique dans l'émail dentaire augmentait de façon constante avec l'âge, permettant d'estimer l'âge à cinq ans près [28]. Cependant la racémisation des acides aminés, dépendante du temps, l'est aussi de la température, donc des conditions de conservation des tissus. Son interprétation doit rester prudente et être confrontée à d'autres techniques d'estimation de l'âge.

Détermination du sexe

Indépendamment des analyses génétiques, le dosage des stéroïdes de l'os, même archéologique, permet de déterminer le sexe de l'individu [30].

Détermination du délai post-mortem

La réaction au luminol : basée sur la production de lumière par réaction chimique appelée la chimiluminescence, la réaction au luminol met en évidence les traces de sang sur l'os réduit en poudre. La réaction ne sera positive qu'avec des ossements récents, mais pas avec des ossements des collections archéologiques. Ainsi il est possible en quantifiant cette chimiluminescence d'évaluer approximativement l'ancienneté des ossements [31]. Cette méthode permet une datation correcte des échantillons dans 88,75 % des cas [32]. Bien que ne dépendant pas de l'observateur, reproductible et peu onéreux, ce test au luminol ne doit pas, selon les auteurs, être utilisé isolément dans un contexte médico-légal.

Sur un os sec, la mesure de l'indice de cristallinité permettrait d'évaluer son ancienneté [33], alors que sur un corps en voie de squelettisation, la présence d'acides gras volatiles dégagés par la décomposition des muscles serait liée au délai post-mortem [34, 35].

Actuellement toutes ces études chimiques sont, en fait, corrélées à la recherche de traces d'éléments isotopiques tels que le C14, seule chance de déterminer avec plus de précision le délai post-mortem.

Mesure du carbone 14 (C14) : le C14 (radiocarbone) est un isotope radioactif du carbone dont la demi-vie est égale à 5 730 ans. Sa mesure permet de dater l'ancienneté d'un reste osseux à condition que celui-ci ait moins de 50 000 ans. La datation par le C14 se fonde sur la présence dans tout organisme vivant de radiocarbone en infime proportion (10-12 pour le rapport C14/C total). Lorsque le sujet meurt, les échanges vers l'extérieur cessent et la quantité de radiocarbone contenu dans les ossements décroît au cours du temps selon une courbe de décroissance exponentielle connue. Cette désintégration des atomes de C14 est naturelle. Un échantillon de matière organique issu de cet organisme peut donc être daté en mesurant le rapport C14/C total. Par ailleurs, certains éléments notamment la variation du champ magnétique terrestre, les différences de production du radiocarbone naturel, les changements climatiques ainsi que les rejets massifs de carbone fossile dans l'atmosphère dus aux industries ou aux transports ont modifié la teneur totale du C14 [36].

Entre 1950 et 1963, des essais nucléaires ont presque fait doubler la quantité de radiocarbone dans l'atmosphère. La quantité de C14 total dans la biosphère n'étant plus constante dans le temps, il a été nécessaire de recalibrer les anciennes courbes par des méthodes prenant en considération les sites de découverte des ossements. Après 1963, année qui marque le pic du niveau de C14 dans l'atmosphère, la quantité de C14 dans l'atmosphère a diminué progressivement tout en restant à un niveau supérieur à ce qu'il était avant 1950. Ainsi le dosage du C14 sur des os

contemporains, c'est-à-dire ayant un intérêt médico-légal, permettra de distinguer les individus nés avant 1950 et ceux nés après 1950 [37]. Ces analyses permettent ainsi de déterminer le délai post-mortem avec un degré d'incertitude de plus ou moins deux ans [38, 39].

Reconstruction du régime alimentaire par mesure du carbone 13 (C13) et de l'azote 15 (N15)

La nourriture ingérée par l'homme est formée d'atome (surtout du carbone et de l'azote), eux même constitués d'isotopes stables au cours du temps (C13 et N15). La proportion de ces isotopes dans l'alimentation varie selon l'origine et la nature de ces aliments.

Le C13 constitue environ 1,1 % du carbone terrestre total et sa proportion dépend du mécanisme de photosynthèse des végétaux environnant : ainsi la teneur en C13 des plantes utilisant une photosynthèse en C4 (principalement des graminées en contexte sec) est plus importante que celle des plantes utilisant une photosynthèse en C3 (principalement des arbres denses en environnement humide).

Quant au N15 qui représente 0,37 % de l'azote terrestre total, sa teneur va dépendre des capacités fixatrices ou non fixatrices d'azote atmosphérique des végétaux environnant : ainsi les plantes fixatrices d'azote atmosphérique comme les plantes marines auront une teneur en N15 plus importante que les plantes non fixatrices comme les légumineuses. Cette propriété se répercute sur toute la chaîne alimentaire, la teneur en N15 augmentant à chaque étape de la chaîne alimentaire. Ainsi les concentrations de N15 permettront d'identifier les populations carnivores dont le régime alimentaire sera riche en viande ou en poisson, des populations herbivores dont les concentrations seront plus faibles.

Le dosage combiné du C13 et du N15 permettra de reconnaître les personnes habitant la savane de celles habitant la forêt, mais aussi parmi celles des zones forestières, celles ayant un régime alimentaire à base de produits marins de celles ayant un régime à base de produits terrestres [36, 40].

La recherche de métaux lourds (plomb, arsenic) : ces métaux lourds et certaines molécules organiques se fixent du vivant de l'individu dans les os, les dents et les cheveux. Leur mise en évidence a un intérêt considérable en bio-archéologie, par exemple une consommation d'eau contaminée par le plomb pouvant être à l'origine du saturnisme peut être détectée par spectrométrie de masse [41]. La pollution domestique comme la fumée de feu de bois est aussi détectable, de même que les pesticides. La consommation de produits stupéfiants peut également être retrouvée (cocaïne, dérivés morphiniques) par analyses osseuses.

L'apport de la génétique

L'os ou la dent est un très bon support d'ADN, et il est connu depuis une vingtaine d'années que les squelettes anciens contiennent encore de l'ADN identifiable,

molécule pourtant fragile mais qui s'intègre à la trame osseuse et se conserve malgré une fragmentation en petits tronçons de quelques centaines de base. C'est du reste ce critère de fragmentation qui permet de distinguer l'ADN original des contaminations ultérieures causées par les manipulations de ces vestiges d'ossements [42]. L'extraction peut se faire à partir de la cavité pulpaire d'une dent mais aussi d'un petit fragment de la corticale d'un os par ponction d'une « carotte » [43]. La méthode classique utilisée en PCR (polymérase chaîne réaction) peut conduire à des erreurs en amplifiant des contaminants modernes. Une nouvelle approche, nommée SPEX (Single primer extension) amplifie préférentiellement l'ADN dégradé, donc ancien.

Quelle que soit la méthode d'extraction et de séquençage, un traitement informatique complexe permet ensuite de réorganiser les fragments entre eux et de retrouver ainsi les séquences originelles, non seulement pour ce qui concerne l'ADN mitochondrial abondant, mais dont l'information est restreinte, mais aussi l'ADN nucléaire [44].

L'analyse du gène de l'amélogénine différemment présenté sur les chromosomes sexuels X et Y permet de déterminer le sexe des individus. Cette méthode est particulièrement pertinente pour les échantillons de petite taille et pour l'os ancien [45, 46].

Ces techniques développées sur l'ADN ancien sont utilisables sur des fragments d'ossements, parfois très altérés par une carbonisation ou une détérioration post-mortem. Mais il faut disposer pour cela d'échantillons prélevés et conservés dans des conditions strictes évitant toute contamination, car le résultat dépend de leur qualité. Ils seront ensuite comparés à l'ADN connu du disparu ou de ses ascendants ou descendants.

LA DÉTERMINATION DE LA CAUSE DE LA MORT

L'information recueillie lors de l'analyse des traumatismes sur les ossements examinés est d'un intérêt majeur en médecine légale, permettant de répondre à de multiples questions : est-ce un traumatisme ante ou post-mortem ? Est-ce un traumatisme dû à l'extraction lors de la découverte (pelle ou pelleuse) ? Est-ce un aspect traumatique à différencier des dégradations environnementales, des pseudo-fractures dues à la chaleur sur un os calciné ? Quel est le type de la lésion observée, l'objet en cause ? Quelles sont l'importance du traumatisme infligé et sa force ? Quelle est la durée de survie potentielle de la victime ? L'observation macroscopique minutieuse, la reconstruction des fragments disloqués permettent de bien identifier l'empreinte ou les résidus laissés par l'objet agresseur sur l'os [47, 48], et éventuellement, de reconstituer le mécanisme lésionnel.

La force de l'impact est appréciée en fonction de la robustesse de l'os agressé. Toute faiblesse osseuse (os plat, ostéoporose, ostéomalacie, ostéopathie, affection endocri-

nienne ou zone cartilagineuse en métaplasie osseuse) est évaluée en fonction de l'âge osseux. L'étude de l'orifice osseux d'un projectile d'arme à feu impose la recherche de traces de poudre incrustées dans l'os. L'étude d'un impact osseux nécessite celle de traces de métallisation par microscopie électronique permettant de faire des hypothèses sur la nature de l'objet contondant ou tranchant.

L'anatomo-pathologiste par son approche histologique détecte l'infiltration hémorragique du tissu cortical mais surtout l'hémorragie intra-osseuse qui lui permet d'affirmer le caractère vital du traumatisme, c'est-à-dire sa survenue du vivant de la victime. Des colorations au bleu de Toluidine sur la fracture contribuent macroscopiquement au diagnostic ante-mortem de l'hémorragie. L'étude de la réaction inflammatoire du foyer hémorragique puis du cal osseux permet enfin de dater le traumatisme par rapport à la mort.

L'os carbonisé peut également faire l'objet d'études qui apporteront des informations indispensables aux enquêteurs, comme par exemple la température du foyer d'incendie. En effet, la coloration de l'os évolue selon la température qui lui est infligée ; il devient noirâtre à 400° C, bleu grisâtre à 600° C et blanche à 800° C [49].

L'étude des dents soumises à la chaleur peut apporter des informations de même nature, du fait d'un changement de couleur de la dent qui passe du jaune clair à 150° C au blanc bleuté à 700° C, et aussi d'altérations de sa structure visualisable en microscopie électronique [50].

COMMENTAIRES

L'examen des ossements nécessite une connaissance aussi parfaite que possible de l'ostéologie humaine. Un inventaire sur le site de la découverte est souvent très informatif pour bien identifier le fragment d'ossement qui peut passer inaperçu à l'œil d'un profane, surtout en cas de squelettes d'enfants parfois difficiles à dissocier de squelettes de petits animaux. L'aide d'un archéo-anthropologue est précieuse : aguerri à ce type d'observation minutieuse et méthodique sur site, il aidera à la reconstruction des squelettes qui peuvent être enchevêtrés comme dans des effondrements de tombes ou dans les catastrophes de masse (charniers).

Les études macroscopiques traditionnelles, pour déterminer le sexe, l'âge, la taille et l'origine ethnique de l'os, testées sur différentes populations, avec des paramètres statistiques variables, sont trop approximatives et souvent cause d'erreurs, ce d'autant que les mouvements et intrications de population s'accroissent dans le monde et entraînent une grande mixité des constantes. Les expertises des archéo-anthropologues par analyse géo-anatomique sur les différentes populations peuvent aider à déterminer ces éléments d'identification avec un plus grand degré de satisfaction et de cohérence.

L'identification de l'individu est le problème majeur qui se pose à la justice devant tout ossement ou tous restes squelettiques pour résoudre un « trouble à l'ordre

public ». La recherche est pressante lorsqu'une victime est disparue (art. 112 et suivants du Code civil), car aux difficultés dues au deuil se posent à la famille des problèmes économiques et administratifs, l'absence de cause de mort se surajoutant à ces détresses. L'appréciation du délai post-mortem sera également prise en compte car l'action publique peut être enclenchée si le délai est jugé inférieur à dix ans en droit commun (art. 7 du Code de procédure pénale). L'étude des empreintes génétiques, souvent considérée comme l'arme médico-légale ayant révolutionné l'identification, n'apporte pourtant pas de réponses à toutes les situations. Les techniques d'analyse actuellement utilisées demandent des échantillons de qualité, c'est-à-dire non pollués par l'environnement où ils ont été découverts (humidité, UV, contamination par le sol ou par les premiers intervenants).

L'enquêteur et le magistrat attendent avec intérêt les observations et conclusions du rapport d'expertise. À ces pressions, s'ajoutent celles des familles de plus en plus exigeantes qui souhaitent une identification médico-légale rapide et certaine. En cas de catastrophe de masse, ou de disparition largement médiatisée, des pressions médiatiques, voir politiques peuvent s'y ajouter.

La Justice demande que les experts utilisent des méthodes simples, rapidement réalisables et peu onéreuses. De ce fait, elle ne sollicite que très peu les techniques les plus récentes que nous venons de développer, jugées trop longues et relativement chères. Il faut savoir dépasser cette apparente contradiction en réalisant d'emblée le maximum de prélèvements à titre conservatoire et par la suite les utiliser dans un ordre logique jusqu'à atteindre le résultat scientifiquement incontestable.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SCHEUER L., BLACK S. — The juvenile skeleton (Editions Elsevier Academic Press), 2004.
- [2] ISÇAN M., LOTH S., WRIGHT R. — Metamorphosis at the sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1984, 65, 147-156.
- [3] KATZ D., SUCHEY J. — Age determination of the male os pubis. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1986, 69, 427-435.
- [4] BROOKS S., SUCHEY J. — Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Ascaadi-Nemeskeri. *Human Evolution*, 1990, 5, 227-238.
- [5] OSBORNE D., SIMMONS T., NAWROCKI S. — Reconsidering the auricular surface as an indicator of age at death. *J. Forensic Sci.*, 2004, 49, 905-911.
- [6] LOVEJOY C., MEINDL R., PRYZBECK T. *et al.* — Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1985, 68, 15-28.
- [7] MEINDL R., LOVEJOY C. — Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1985, 68, 57-66.
- [8] LAMENDIN H., BACCINO E., HUMBERT J. *et al.* — A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *J. Forensic Sci.*, 1992, 37, 1373-9.

- [9] BACCINO E., UBELAKER D., HAYEK L. *et al.* — Evaluation of seven methods of estimating age at death from mature human skeletal remains. *J. Forensic Sci.*, 1999, 44, 931-936.
- [10] TROTTER M., GLESER G. — Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1952, 10, 463-514.
- [11] JANTZ R. — Modification of the Trotter and Gleser female stature estimation formulae. *J. Forensic Sci.*, 1992, 37, 1230-1235.
- [12] MEADOWS L., JANTZ R. — Estimation of stature from metacarpal lengths. *J. Forensic Sci.*, 1992, 37, 147-154.
- [13] BYERS S., AKOSHIMA K., CURRAN B. — Determination of adult stature from metatarsal length. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1989, 79, 275-279.
- [14] JASON D., TAYLOR K. — Estimation of stature from the length of the cervical, thoracic, and lumbar segments of the spine in American whites and blacks. *J. Forensic Sci.*, 1995, 40, 59-62.
- [15] BYERS S. — Attribution of sex. In *Introduction to forensic anthropology* (Editions Allyn & Bacon), 2008.
- [16] DAMON A., BLEIBTREU H., ELLIOT O. *et al.* — Predicting somatotype from body measurements. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1962, 20, 461-473.
- [17] ELLIOTT M., COLLARD M. — FORDISC and the determination of ancestry from cranial measurements. *Biol Lett.*, 2009, 5, 849-852.
- [18] KOMAR D., BUIKSTRA J. — Forensic taphonomy. In *Forensic anthropology, Contemporary theory and practice* (Editions Oxford University Press), 2008.
- [19] BESANA J., ROGERS T. — Personal identification using the frontal sinus. *J. Forensic Sci.*, 2010, 55, 584-9.
- [20] CHRISTENSEN A. — The impact of Daubert: implications for testimony and research in forensic anthropology (and the use of frontal sinuses in personal identification). *J. Forensic Sci.*, 2004, 49, 427-430.
- [21] RICHTSMEIER J., DELEON V., LELE S. — The promise of geometric morphometrics. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2002, *Suppl 35*, 63-91.
- [22] SANSONI G., CATTANEO C., TREBESCHI M. *et al.* — Feasibility of contactless 3D optical measurement for the analysis of bone and soft tissue lesions: new technologies and perspectives in forensic sciences. *J. Forensic Sci.*, 2009, 54, 540-545.
- [23] VANEZIS M., VANEZIS P. — Cranio-facial reconstruction in forensic identification-historical development and a review of current practice. *Med. Sci. Law*, 2000, 40, 197-205.
- [24] GEORGE R. — The lateral craniographic method of facial reconstruction. *J. Forensic Sci.*, 1985, 32, 1305-30.
- [25] DE GREEF S., WILLEMS G. — Three-dimensional cranio-facial reconstruction in forensic identification: latest progress and new tendencies in the 21st century. *J. Forensic Sci.*, 2005, 50, 12-17.
- [26] VANDERMEULEN D., CLAES P., LOECKX D. *et al.* — Computerized craniofacial reconstruction using CT-derived implicit surface representations. *Forensic Sci. Int.*, 2006, 159, S164-74.
- [27] HELFMAN P., BADA J. — Aspartic acid racemisation in dentine as a measure of ageing. *Nature*, 1976, 262, 279-281.
- [28] ALKASS K., BUCHHOLZ B., OHTANI S. *et al.* — Age estimation in forensic sciences: application of combined aspartic acid racemization and radiocarbon analysis. *Mol. Cell Proteomics*, 2010, 9, 1022-1030.
- [29] WAITE E., COLLINS M., RITZ-TIMME S. *et al.* — A review of the methodological aspects of aspartic acid racemization analysis for use in forensic science. *Forensic Sci. Int.*, 1999, 103, 113-124.

- [30] MARK L., PATONAI Z., VACZY A. *et al.* — Hormone mass fingerprinting: novel molecular sex determination of ancient human skeletal remains. In: *Proceeding of the 37th Symposium of Archaeometry, 12nd-16th May 2008, Siena, Italy*, (Editions Springer), 2011.
- [31] INTRONA F.J., DI VELLA G., CAMPOBASSO C. — Determination of postmortem interval from old skeletal remains by image analysis of luminol test results. *J Forensic Sci.*, 1999, 44, 535-8.
- [32] RAMSTHALER F., EBACH S., BIRNGRUBER C. *et al.* — Postmortem interval of skeletal remains through the detection of intraosseal hemin traces. A comparison of UV-fluorescence, luminol, Hexagon-OBTI®, and Combur® tests. *Forensic Sci. Int.*, 2011, 209, 59-63.
- [33] NAGY G., LORAND T., PATONAI Z. *et al.* — Analysis of pathological and non-pathological human skeletal remains by FT-IR spectroscopy. *Forensic Sci. Int.*, 2008, 175, 55-60.
- [34] VASS A., BARSHICK S., SEGA G. *et al.* — Decomposition chemistry of human remains: a new methodology for determining the postmortem interval. *J. Forensic Sci.*, 2002, 47, 542-553.
- [35] PACZKOWSKI S., SCHÜTZ S. — Post-mortem volatiles of vertebrate tissue. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2011, 91, 917-35.
- [36] MAY S. — New directions in the analysis of stable isotopes in excavated bones and teeth. In *Human osteology in archaeology and forensic science* (Editions Cambridge University Press), 2006.
- [37] UBELAKER D., BUCHHOLZ B., STEWART J. — Analysis of artificial radiocarbon in different skeletal and dental tissue types to evaluate date of death. *J. Forensic Sci.*, 2006, 51, 484-488.
- [38] COOK G., DUNBAR E., BLACK S. *et al.* — A preliminary assessment of age at death determination using the nuclear weapons testing ¹⁴C activity of dentine and enamel. *Radiocarbon*, 2006, 48, 305-310.
- [39] ALKASS K., BUCHHOLZ B., DRUID H. *et al.* — Analysis of ¹⁴C and ¹³C in teeth provides precise birth dating and clues to geographical origin. *Forensic Sci. Int.*, 2011, 209, 34-41.
- [40] FROMENT A., AMBROSE S. — Analyses tissulaires isotopiques et reconstruction du régime alimentaire en milieu tropical : implications pour l'archéologie. *Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 1995, 7, 77-98.
- [41] KAMBERI B., KOÇANI F., DRAGUSHA E. — Teeth as indicators of environmental pollution with lead. *J. Environment Analytic Toxicol.*, 2012, 2, 118.
- [42] WILLERSLEV E., COOPER A. — Ancient DNA. *Proc Biol Sci.*, 2005, 272, 3-16.
- [43] ROHLAND N., HOFREITER M. — Ancient DNA extraction from bones and teeth. *Nat. Protoc.*, 2007, 2, 1756-1762.
- [44] BERGLUND EC., KIALAINEN A., SYVÄNEN A.C. — Next-generation sequencing technologies and applications for human genetic history and forensics. *Investig Genet.*, 2011, 2, 23.
- [45] SULLIVAN KM., MANNUCCI A., KIMPTON CP. *et al.* — A rapid and quantitative DNA sex test: fluorescence-based PCR analysis of X-Y homologous gene amelogenin. *BioTechniques*, 1993, 15, 636-641.
- [46] STONE AC., MILNER GR., PÄÄBO S. *et al.* — Sex determination of ancient human skeletons using DNA. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1996, 99, 231-238.
- [47] BERRYMAN H., KUTYLA A., RUSSELL DAVIS J. — Detection of gunshot primer residue on bone in an experimental setting—an unexpected finding. *J. Forensic Sci.*, 2010, 55, 488-491.
- [48] THOMPSON T., INGLIS J. — Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. *Int. J. Legal Med.*, 2009, 123, 129-135.
- [49] QUATREHOMME G. — Techniques anthropologiques. In *Traité de médecine légale* (Editions Vuibert), 2010.
- [50] MULLER M., BERYTRAND M., QUATREHOMME G. *et al.* — Macroscopic and microscopic aspects of incinerated teeth. *J. Forensic Odontostomatol.*, 1998, 16, 1-7.

DISCUSSION

M. André-Laurent PARODI

Au nombre des acquisitions permises par l'examen des ossements, il faut ajouter la détermination de leur(s) espèce(s) d'origine. J'ai le souvenir d'avoir été appelé, à plusieurs reprises, à l'Institut médico-légal, à l'invitation de nos confrères médecins légistes, pour déterminer avec eux, l'origine de débris osseux souvent recueillis, très détériorés, en particulier dans les décombres d'un local incendié. Des ossements animaux s'y sont parfois trouvés associés à des ossements humains ?

Les ossements animaux peuvent être trouvés mêlés à des ossements humains. L'espèce animale concernée est intéressante à connaître dans quelques rares cas et l'on peut faire appel à un vétérinaire pour une identification plus précise.

M. François-Bernard MICHEL

La conservation des preuves nécessite probablement des surfaces considérables. En disposez-vous ? Les constatations du médecin légiste appartiennent-elles « de facto » au magistrat ?

Les expertises sont effectuées sur réquisition du magistrat et les résultats sont rendus uniquement au magistrat avec le secret de l'instruction (article 11 du code de procédure pénale) et le secret professionnel (article 226 (13-14) du code pénal).

M. Emmanuel-Alain CABANIS

Qu'en est-il de l'apport (quand il est possible) du scanner à rayons X, notamment en matière de cartilages de conjugaison pour l'évaluation des âges osseux quand ils s'avèrent nécessaires, au-delà de la radiologie conventionnelle ?

Le scanner à rayons X avec reconstitution en 3D est fort intéressant pour l'étude de l'âge osseux lorsque les cartilages de conjugaison sont encore présents. Cette étude est actuellement en cours de validation.

M. Jacques BATTIN

Quel est l'apport des dents dans les identifications quand le corps est consommé par exemple dans des guerres, accidents d'avion, incendies ... ?

L'identification se fait par morphométrie, étude des marqueurs génétiques et odontologie. L'ADN s'effectue sur la pulpe dentaire, souvent conservée car protégée par l'émail dentaire dans les cas de corps consumés.