

Diagnostic différentiel de fractures osseuses d'écrasement/enfouissement *peri-mortem* et de fragilisation/fragmentation *post-mortem*. Comparaison de données ostéo-archéologiques et anthropologiques médico-légales

P. CHARLIER^{1,2}, O. FERRANT¹,
I. HUYNH-CHARLIER³, A.I. SUNDSTRÖM⁴, P. ALSTRÖM⁴, A.L. SCHÄLLIN⁴,
M. DURIGON¹, G. LORIN DE LA GRANDMAISON¹

RÉSUMÉ

But de l'étude : Cette étude a pour but de déterminer s'il existe des lésions traumatiques osseuses permettant de différencier, lors d'un examen anthropologique médico-légal, des lésions *peri-mortem* d'écrasement/enfouissement accidentel et des lésions taphonomiques *post-mortem* liées à la fragilisation/fragmentation des ossements enterrés.

Matériel et méthode : Cette analyse se fonde sur 5 cas d'autopsies médico-légales d'enfouissements accidentels mortels réalisées dans le service d'anatomie pathologique et de médecine légale de l'hôpital R. Poincaré de Garches entre 2003 et 2008 (sur un total de 2075 autopsies), sur 2 squelettes humains de l'Age du Bronze Tardif exhumés sur le site archéologique de Midea (Grèce), et sur une revue de la littérature (larges analyses traumatologiques ou autopsiques dans les suites de séismes ou d'accidents de mines).

1. Service de Médecine Légale et d'Anatomie/Cytologie Pathologiques, Pavillon Vésale, Hôpital Universitaire R. Poincaré (AP-HP, UVSQ), 104, boulevard R. Poincaré, 92380 GARCHES (France).

2. HALMA-IPEL, UMR 8164 (CNRS), Université de Lille 3, VILLENEUVE D'ASCQ (France).

3. Service de Radiodiagnostic, Hôpital de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), boulevard de l'hôpital, 75013 PARIS (France).

4. Swedish School of Archaeology, ATHÈNES (Grèce).

Résultats : Les 5 cas médico-légaux correspondaient à 5 sujets masculins non squelettisés âgés de 36 à 81 ans (âge moyen : 52 ans), victimes d'ensevelissements respectivement sous un mur de pierres, dans une tranchée sableuse, sous un sac de blé de 600 kg, sous un amas de terre et de sable et sous des gravats de béton. Sur ces 5 cas, 3 étaient porteurs de lésions traumatiques osseuses : fractures de la voûte crânienne (n=2), du rocher (n=1), d'une diaphyse fémorale (n=1), du toit des 2 cotyles (n=1) et fractures costales (n=3). Pour ces trois cas, la cause du décès était un poly-traumatisme osseux et viscéral. L'un des sujets porteur de lésions costales avait fait l'objet d'une réanimation. 2 autres individus (dont l'un également avait fait l'objet de manœuvres de réanimation), étaient exempts de toute lésion traumatique osseuse, le décès étant secondaire à une suffocation.

Les 2 squelettes archéologiques étaient porteurs d'altérations taphonomiques typiques, mais l'un des eux présentait en outre des lésions traumatiques atypiques pour des restes osseux anciens, compatibles avec un écrasement/enfouissement *peri-mortem* : fractures de la portion verticale sous-glénoïdienne de la scapula et des rochers.

Discussion : La résistance différente des ossements frais et secs explique la présence de lésions de topographie différente en fonction du mécanisme de décès. Certaines lésions sont ainsi classiquement absentes sur les squelettes secs et peuvent être rapportées à un traumatisme *peri-mortem*, notamment dans un contexte d'écrasement-enfouissement : fracture du rocher, fracture de la portion verticale sous-glénoïdienne de la scapula, fracture cunéiforme du corps vertébral (particulièrement entre T12 et L2). L'absence de lésion traumatique chez des individus victimes d'écrasement/enfouissement peut s'expliquer par la nature-même du terrain : terre sableuse, pour les 2 cas médico-légaux.

La mise en évidence de ces lésions, confrontées aux données de terrain sur la position de découverte du corps et l'environnement, est d'importance pour l'anthropologue médico-légal lorsqu'il s'agit de déterminer les causes du décès d'un individu réduit à l'état squelettique.

Mots-clés : Anthropologie médico-légale, Ecrasement, Enfouissement, Traumatologie osseuse, Fracture, Os, Paléopathologie.

SUMMARY

Differential Diagnosis Between Crushing/Burying Peri-Mortem and Fragilization/Fragmentation Post-Mortem Bone Lesions? Comparison of Osteo-Archaeological and Forensic Anthropological Data

Study Goals: The goal of this study was to determine if there were traumatic bone lesions allowing the differentiation, during an forensic anthropology examination, of accidental crushing/burying *peri-mortem* lesions from taphonomic post-mortem lesions linked to the fragilization/fragmentation of buried bones.

Material and method: This analysis was based on 5 forensic autopsy cases of mortal accidental crushing carried out in the department of pathological anatomy and forensics of the R. Poincaré de Garches Hospital between 2003 and 2008 (on a total of 2,075 autopsies), on 2 human skeletons from the Late Bronze Age exhumed at the Midea archeological site in Greece, and on a literature review (traumatologic or autopsic analyses following earthquakes of mining accidents).

Results: The 5 forensic cases corresponding to the 5 male non-skeletonized subjects were between 36 and 81 years old (mean age of 52), respectively victims of burial under a stone wall, a land-slide, a sack of wheat weighing 600 kg, a pile of earth or sand and concrete rubble. Three out of five of these cases had traumatic bone lesions: fractures of the calvaria (n=2), the petrous (n=1), femoral shaft (n=1), the 2 cotyle rooves (n=1) and costal fractures (n=3). For these three cases, the cause of death was bone and visceral polytraumatism. One of the subjects had costal lesions which had undergone rehabilitation care. Two other individuals (one of which had also undergone care), were free of any traumatic bone lesions, the cause of death being suffocation.

The 2 archeological skeletons had typical taphonomic alterations, but one of them also had atypical traumatic lesions for old bones, compatible to a crushing/burying *peri-mortem*: fractures of the lower vertical part of the glenoid of the omoplate and petrous bone.

Discussion: *The different resistance of fresh or dry bones explains the presence of lesions of different topography in relation to the circumstances of death. Certain lesions are also classically absent on dry skeletons and can be due peri-mortem traumatism, notably in the context of crushing/burying: fracture of the petrous bone, fracture of the lower vertical part of the glenoid of the omoplate, cuneiform fracture of the vertebral body (particularly between T12 and L2). The lack of traumatic lesions in the victims of crushing/burying can be explained by the environmental nature of the site itself: sandy earth, for the two forensic cases.*

The highlighting of these lesions, compared with the on site data concerning the position of the discovery of the body and the environment, is of importance to the forensic anthropologist whilst determining the causes of death of an individual reduced to a skeletal state.

Key-words: *Forensic anthropology, Crushing, Burying, Bone traumatology, Fracture, Bone, Paleopathology.*

INTRODUCTION

L'examen anthropologique récent de plusieurs squelettes humains provenant du site archéologique de Midea (Grèce, Age du Bronze) a mis en évidence de nombreuses lésions traumatiques osseuses. Les circonstances de découverte de ces restes a amené à plusieurs hypothèses : lésions traumatiques osseuses induites par un écrasement/enfouissement sous les structures d'une habitation au cours d'un séisme (lésions *peri-mortem*) ? lésions traumatiques osseuses d'origine taphonomique dans l'hypothèse d'une inhumation dans la couche de destruction d'une habitation (lésions *post-mortem*) ? lésions d'origine mixte *peri*-et *post-mortem* ?

L'examen de 5 cas médico-légaux d'écrasement/enfouissement a permis de mettre en évidence également de nombreuses lésions traumatiques qui ont été comparées aux données de la littérature sur les lésions

osseuses rencontrées chez les victimes (défunts et blessés) de tremblement de terre. On a ainsi cherché à dégager certaines orientations dans le diagnostic positif de lésions d'enfouissement/écrasement *peri-mortem* et dans le diagnostic différentiel entre lésions traumatiques *peri-mortem* d'enfouissement/écrasement accidentel et lésions taphonomiques *post-mortem* liées à la fragilisation des ossements enterrés.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Cas archéologiques

En octobre 2007 ont été examinés des ossements humains découverts en 1994 lors des fouilles archéologiques d'une couche de destruction datée de l'époque mycénienne (Age du Bronze Tardif : 1550-1200 av. J.-C) du site de Midea (près de Nauplie, Argolide, Grèce)

dirigées par le professeur Paul Aström (*Swedish School of Archaeology*, Athènes, Grèce). Ces squelettes, enfouis en deux endroits d'une habitation effondrée au cours d'un séisme, avaient déjà fait l'objet d'une étude ostéo-archéologique dès leur découverte par l'anthropologue suédoise Anne I. Sundström, qui avait mis en évidence des lésions traumatiques douteuses.

Cas médico-légaux

Un total de 5 cas d'écrasement/enfouissement ont fait l'objet d'un examen autopsique dans le service de médecine légale et d'anatomie pathologique de l'hôpital universitaire Raymond Poincaré (Garches, entre 2003 et 2008), sur un total de 2 075 autopsies. Ils ne s'agissait que de sujets masculins dont seuls 3 étaient porteurs de lésions traumatiques (les 2 autres individus étant décédés de suffocation asphyxique).

RÉSULTATS

Cas archéologiques

Deux ensembles ont été étudiés, représentant au total 3 individus :

Midea 14-15/7 1994, trench K5

Il s'agissait d'un individu immature en bon état de conservation (sujet A : **Figures 1 et 2**). Seuls étaient

intacts les 2 humérus (porteurs chacun d'une perforation olécrânienne congénitale), les 2 radius, l'ulna et la clavicule gauches. Les mesures maximales des os longs permettaient d'évaluer l'âge statural au décès aux environs de 7 ans. Toutes les épiphyses (lorsque les surfaces métaphysaires étaient conservées) étaient libres. Au niveau des vertèbres thoraciques, la jonction entre corps et pédicules latéraux apparaissait toute récente. L'âge dentaire était évalué à 8 ans +/- 24 mois [37], comparable à l'âge osseux et statural. Le sexe de cet individu n'était pas déterminable en raison de son immaturité et de la fragmentation du bassin. Les os du tarse et du carpe n'étaient pas conservés. Quelques

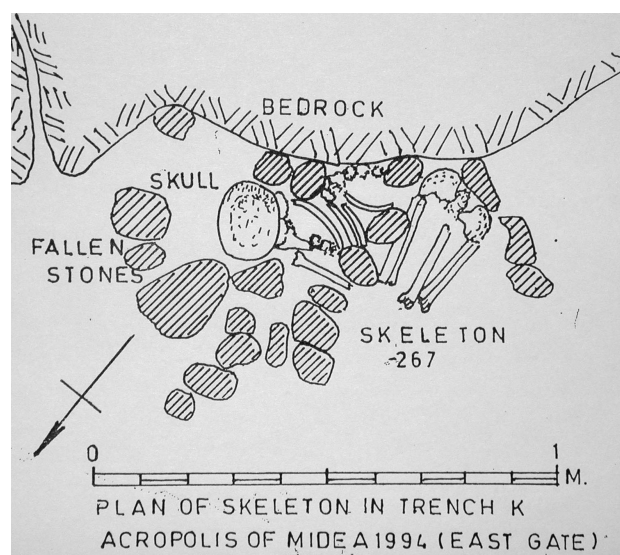


Figure 1 : Relevé de fouille du sujet A de Midea in situ (cliché Swedish School of Archaeology).

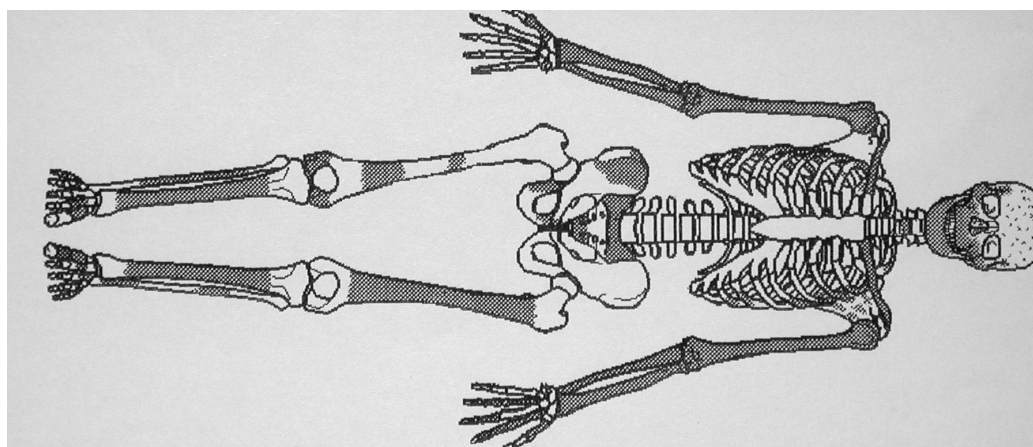


Figure 2 : Relevé anthropologique du sujet A de Midea (cliché A.I. Sundström).

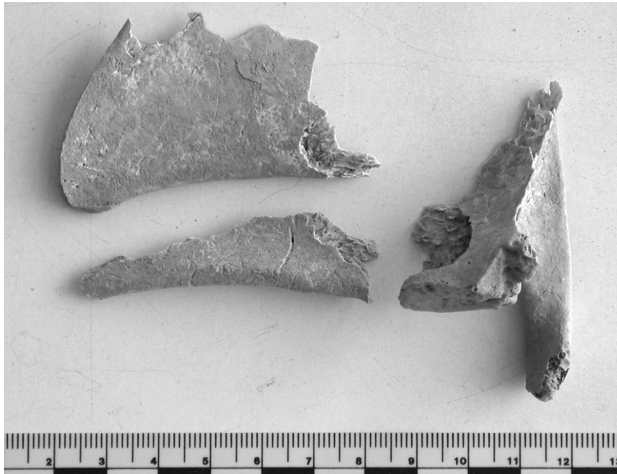


Figure 3 : Fragments de scapula du sujet A de Midea (cliché P. Charlier).

métatarsiens, métacarpiens et phalanges des pieds et des mains étaient présents, sans lésion notable.

Sur le plan traumatique, de nombreuses fractures au niveau des os longs présentaient un aspect récent, sans patine visible, liées à l'extraction des ossements lors de la fouille et aux manipulations multiples. L'examen retrouvait également plusieurs fractures anciennes patinées situées au niveau de :

- ✓ La portion verticale sous-glénoïdienne des 2 scapulas (**Figure 3**) ;
- ✓ Les arcs latéraux de C1 et arcs latéraux lombaires ;
- ✓ L'extrémité distale des 2 tibias ;

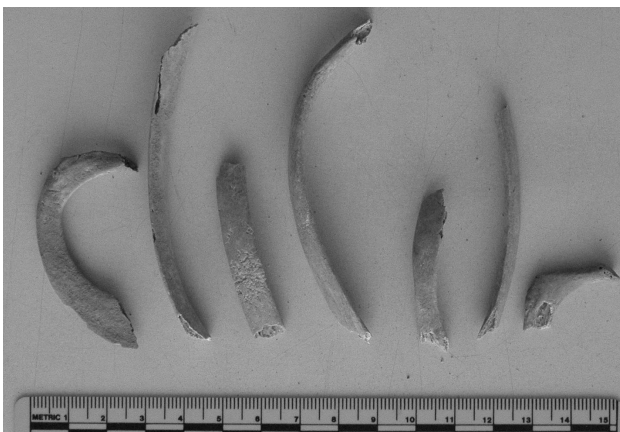


Figure 4 : Fragments de côtes du sujet A de Midea (cliché P. Charlier).



Figure 5 : Détail des faces de fracture des côtes du sujet A de Midea (cliché P. Charlier).

- ✓ Des arcs antérieurs, moyens et postérieurs de multiples côtes (**Figures 4 et 5**) ;
- ✓ La voûte et la base du crâne (dont une fracture longitudinale complète des 2 rochers : **Figure 6**).

De nombreuses côtes étaient encore intactes (6 du côté gauche, 2 du côté droit), mais on notait également de nombreuses fractures costales patinées ; la présence de ces lésions traumatiques n'était pas forcément en rapport avec l'écrasement/enfouissement, des altérations taphonomiques survenant lors de la rupture du gril costal au cours de la décomposition ou de la putréfaction, soit sous l'effet de l'éclatement de la cavité thoracique, soit sous l'effet des ruptures de paroi dues au poids des sédiments. Cette absence de spécificité des fractures costales semblait corroborée par le fait



Figure 6 : Os fracturés de la base du crâne du sujet A de Midea (cliché P. Charlier).

que tous les territoires costaux étaient, dans le cas présent, porteurs de lésions traumatiques (dont les 1^{res} côtes). La nette prédominance des fractures costales au niveau de l'arc moyen ne semblait pas non plus spécifique d'un quelconque mécanisme lésionnel : cette topographie était surtout évocatrice de fractures d'origine compressive au niveau du tronc dans un sens antéro-postérieur, c'est-à-dire un mécanisme qui se retrouve autant lors d'un écrasement/enfouissement que d'une rupture thoracique taphonomique sur cadavre ou squelette sec [8, 27].

De même, de nombreuses fractures anciennes patinées étaient visibles au niveau de la voûte crânienne, ne présentant aucun caractère de spécificité vis-à-vis d'un hypothétique écrasement/enfouissement ou d'altérations taphonomiques (forces de pressions dirigées dans les 2 cas sur un volume grossièrement sphérique aboutissant à l'éclatement des parois). En revanche, les fractures anciennes patinées des os de la base du crâne étaient tout à fait inhabituelles pour des restes humains, fussent-ils anciens ou récents : ce segment osseux (la portion pétreuse de l'os temporal) est en effet l'une des zones les plus denses du squelette et ne cède généralement pas sous au décours d'une inhumation classique ; sa fragmentation (longitudinale, dans le cas présent), apparaissait ainsi très évocatrice d'un mécanisme d'écrasement/enfouissement *peri-mortem*.

On peut enfin se demander, dans le même ordre d'idées, si l'absence de conservation des extrémités distales fibulaires ne pouvait pas être en rapport avec l'écrasement et l'importante fragmentation des segments distaux des deux jambes, déjà responsable de la fragmentation des extrémités distales des tibias.

Hormis les lésions traumatiques précédemment décrites, l'examen paléopathologique a mis en évidence plusieurs zones d'aspect inflammatoire ou hyper-vascularisé en rapport avec un mécanisme enthésopathique classiquement lié au travail infantile [6] : 2 facettes de Poirier (face antéro-inférieure des cols fémoraux), zones antéro-latérales distales des 2 humérus, face postérieure des extrémités distales fémorales, face postérieure des extrémités distales radiales. D'autre part, une calcification de 6 mm de grand axe à paroi fine (moins de 1 mm d'épaisseur), en partie fragmentée, a été mise en évidence au contact des côtes ; il s'agit d'un kyste hydatique [15] dont la localisation précise (pulmonaire ? hépatique ? rénale ?) n'était pas déterminable. Il n'existait pas de lésion dentaire à l'exclusion de quelques minimes dépôts de tartre et de stries d'hypoplasie de l'émail sur les dentitions lactéales et définitives. Enfin, on notait l'existence de *cri-*

bra orbitalia au niveau du plafond de l'orbite gauche, l'orbite droite n'étant pas conservée ; on se bornera à rappeler ici l'absence de certitude quant à la signification des phénomènes porotiques, notamment dans leur localisation orbitaire [6].

Midea 14/7 1994 Ka floor, room 7, infant

Dans cet ensemble osseux furent d'abord identifiés une tête radiale adulte (synostose complète épiphysodiaphysaire) et un rocher adulte (sans lésion traumatique), se rapportant *a priori* au même individu (sujet B).

Au contact, les restes quasi-complets d'un fœtus ou nouveau-né ont été isolés (sujet C : **Figure 7**), âgé de 10 mois lunaires au moment du décès, d'après la longueur des os longs conservés.

D'autres ossements étaient conservés :

- ✓ Scapulas G/D ;
- ✓ Clavicule G et 1/2 clavicule D (moitié distale, cassure fraîche) ;
- ✓ Quasi-totalité du crâne (base et voûte, avec persistance uniquement de la fontanelle antérieure et présence de signes de périostite au niveau du sphénoïde, des rochers, de la voûte palatine ; absence de *cribra orbitalia* associée) avec nombreuses fractures à la fois anciennes patinées et récentes ;
- ✓ Quelques côtes (dont les 1^{res} G/D, avec un aspect hyper-vascularisé (physiologique ?) des extrémités sternales) ;
- ✓ Arcades maxillaires et mandibulaires ;
- ✓ Quelques arcs latéraux et postérieurs vertébraux non fusionnés au corps ;
- ✓ Un fragment d'os coxal (branche pubienne).

Il n'existait donc aucun signe d'écrasement/enfouissement, les os longs étant presque tous intacts et les seules fractures anciennes patinées intéressant logiquement la voûte crânienne (étant d'origine taphonomique) ; on notait particulièrement l'absence complète de lésion traumatique au niveau des 2 rochers.

Cas médico-légaux

Les 5 cas médico-légaux correspondaient à 5 sujets masculins non squelettisés âgés de 36 à 81 ans (âge



Figure 7 : *Squelette remonté du sujet C de Midea (cliché P. Charlier).*

moyen : 52 ans), victimes d'ensevelissements respectivement sous un mur de pierres, dans une tranchée sableuse, sous un sac de blé de 600 kg, sous un amas de terre et de sable et sous des gravats de béton. Sur ces 5 cas, 3 étaient porteurs de lésions traumatiques osseuses (3 hommes de 42 à 81 ans) : fractures de la voûte crânienne (n=2), du rocher (n=1), métaphysodiaphysaire fémorale (n=1), du toit des 2 cotyles (n=1), fractures costales (n=3), disjonction complète acromio-claviculaire gauche (n=1), avulsion dentaire (n=1). Pour ces trois cas, la cause du décès était un poly-traumatisme osseux et viscéral. L'un des sujets porteur de lésions costales avait fait l'objet d'une réanimation. 2 autres individus (dont l'un avait également fait l'objet de manœuvres de réanimation), étaient exempts de toute lésion traumatique osseuse, le décès étant secondaire à une suffocation. Une synthèse des constatations autopsiques est donnée ci-après (**Tableau I**).

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le but de notre étude était de savoir s'il existait des lésions osseuses typiques ou plus fréquemment rencontrées dans les cas d'écrasement/enfouissement, et dans les cas d'altérations taphonomiques. On a donc procédé à une revue de la littérature médicale (et notamment traumatologique, urgentiste et médico-légale). Ce sont principalement les victimes de catastrophes naturelles (séismes) ou professionnelles (accident de mine : rupture de plafond ou de paroi) qui ont été étu-

diées, qu'il s'agisse de survivants (blessés) ou de victimes (défunts).

La grande fréquence des lésions traumatiques survenant au décours d'un séisme est évidente : pour ne citer que quelques exemples, à l'issue du tremblement de terre d'Arménie (7 décembre 1988), 831 décès et 1 454 blessés sur 32743 individus au total ont été examinés par une équipe qui dénombra, dans cet échantillon, 533 fractures, 397 écrasements et 646 lésions minimales (dermabrasions, etc.) [1]. Dans de telles circonstances, les mécanismes de décès sont souvent multiples : lors du séisme de Taiwan (21 septembre 1999), 2347 morts furent enregistrées, causées dans 56 % des cas par des lésions d'organes vitaux et dans 31 % des cas par une suffocation [7].

Lorsqu'on se penche sur la fréquence et la topographie des lésions traumatiques chez les victimes d'un séisme, leur répartition varie grandement selon qu'on s'intéresse à la population blessée ou tuée.

Zones anatomiques touchées de façon prédominante chez les blessés

Chez les blessés, la majorité des lésions traumatiques intéressent les membres, secondairement le tronc et le crâne [4, 10, 11, 30]. Ainsi, à l'issue du séisme de Marmara en Turquie (1999), sur 698 patients hospitalisés, les écrasements des membres étaient présentes dans 161 cas (23 %), les fractures des membres dans 113 cas (16 %), et les traumatismes du rachis et du pel-

Tableau I.

N°	Sexe	Age	Réanimation	Circonstances de décès	Lésions traumatiques osseuses
7882	H	51	Non	Effondrement d'un mur de pierres d'une maison	<ul style="list-style-type: none"> - Fracture fronto-pariétale droite rejoignant la suture sagittale (diastasis) et s'arrêtant au lambda - Fracture des arcs postérieurs des 5^e et 7^e à 12^e côtes droites
8814	H	36	Non	Ensevelissement dans une tranchée sableuse	<ul style="list-style-type: none"> - 0 (suffocation)
8980	H	42	Oui	Ecrasé sous un sac de blé de 600 kg	<ul style="list-style-type: none"> - Fracture de l'arc antérieur de la 6^e côte droite - Fracture de l'arc antérieur de la 5^e côte gauche - Fracture à la jonction des arcs antérieur et moyen de la 3^e côte droite
9332	H	49	Oui	Ensevelissement sous un amas de terre et de sable (glissement de terrain sur chantier)	<ul style="list-style-type: none"> - 0 (suffocation)
9828	H	81	Non	Eboulement en creusant un tunnel souterrain	<ul style="list-style-type: none"> - Fracture des arcs postérieurs des 1^{re} à 11^e côtes gauches - Fracture des arcs postérieurs des 2^e à 12^e côtes droites - Fracture des arcs antérieurs des 4^e à 6^e côtes gauches (Figure 8) - Fracture disjonction complète entre les 7^e et 8^e vertèbres thoraciques (Figure 9) - Fracture du toit des 2 cotyles - Disjonction complète acromio-claviculaire gauche - Fracture engrenée métaphysaire de l'extrémité distale du fémur gauche - Avulsion complète dent 43 - Fracture étendue du conduit auditif externe droit au rocher droit puis à l'os occipital droit - Fracture allant de la grande aile du sphénoïde droit à la selle turcique et à l'écaille de l'os temporal gauche avec embarrure (Figure 10)

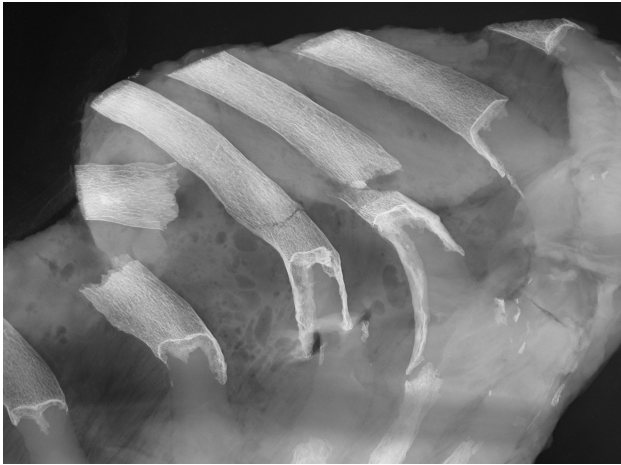


Figure 8 : *Hémi-gril costal gauche du sujet 9828 (cliché P. Charlier).*



Figure 9 : *Fracture-disjonction complète T7-T8 (sujet 9828).*

vis dans 112 cas (16 %) [17]. De même au décours du tremblement de terre de Marmara (1999), sur 368 patients hospitalisés, 16 % ont eu un traumatisme du rachis, 24 % ont eu des fractures des membres, 2,7 % ont eu un traumatisme crânien. 25,3 % présentaient un poly-traumatisme [18].

À l'issue du tremblement de terre de Bam en Iran (26 décembre 2003), 708 individus transportés dans un hôpital ont été examinés [11]. Il a été noté une prédominance des fractures des membres (19 %, n=136) vis-à-vis des fractures du squelette axial (4 %, n=28). Des décès liés aux traumatismes furent notés : 2 embolies graisseuses, 1 lésion cérébrale. Le détail des lésions osseuses était le suivant (**Tableau II**).

Au décours du même séisme (Bam, Iran), 104 sujets furent évalués [13] pour leurs lésions orthopédiques



Figure 10 : *Fracas de la base du crâne avec la fracture du rocher droit (sujet 9828).*

grâce à des moyens cliniques et radiologiques (radiographies standard, scanner). Un total de 80 sujets (77 %) étaient porteurs de lésions orthopédiques (fracture, luxation) sans lésion des tissus mous, tandis que 10 sujets étaient atteints de lésions osseuses et des tissus mous. La répartition des lésions traumatiques osseuses montrait à nouveau une prédominance de celles-ci au niveau des membres inférieurs (**Tableau III**).

Certains trouvent parfois des répartitions différentes, qui tiennent peut-être à la spécificité du centre d'accueil ou de soin des victimes. Par exemple, à l'issue du séisme de Kobé, la majorité des 15 000 sujets traumatisés d'un échantillon de victimes étaient touchés au niveau du rachis, des côtes et du pelvis, les atteintes des os longs étant rares [21]. De même, l'étude rétrospective menée sur les blessés du séisme de Bam, Iran, montre des résultats radicalement différents des précédents : une très grande fréquence des lésions traumatiques rachidiennes, notamment localisées au niveau du pelvis (de type compression latérale), mais aussi de nombreuses fractures associées à des lésions neurologiques [35].

Les membres inférieurs sont généralement plus touchés que les membres supérieurs, du moins chez les survivants. Ainsi, analysant le *crush-syndrome* au décours d'un séisme dans le nord-ouest de la Turquie en 1999, Duman [9] a retrouvé chez 16 patients : 3 écrasements du membre supérieur gauche, 3 du membre supérieur droit, 4 du membre inférieur gauche, 7 du

Tableau II.

Type de fracture	Nombre	Fracture ouverte	Fracture complexe
Fracture du pelvis instable	6	-	4
Fracture et/ou luxation de la hanche	3	-	1
Fracture acétabulaire (coxal)	8	-	5
Fracture fémorale	21	3	13
Fracture tibiale et/ou fibulaire	29	9	7
Fracture humérale	22	4	18
Fracture et/ou luxation de l'épaule	4	-	2
Fracture de l'avant-bras	8	2	3
Fracture du rachis	22	-	-
Écrasement de la main	18	11	2
Écrasement du pied	10	10	5
Fracture du radius	6	-	-
Fracture de l'ulna	1	-	-
Fracture de la main	5	-	-
Fracture claviculaire	9	-	-
Fracture calcanéenne	2	-	-

Tableau III.

Fracture du pelvis	25%
Fracture de jambe (2 os)	11,5%
Fracture diaphysaire fémorale	7,6%
Fracture radiale distale	5,7%
Fracture métacarpienne	4,8%
Fracture diaphysaire humérale	4,8%
Fracture tibiale isolée	3,8%
Fracture claviculaire	2,8%
Fracture fibulaire isolée	2,8%
Fracture vertébrale	2,8%
Fracture d'avant-bras (2 os)	1,9%
Fracture phalangienne	1,9%
Fracture du col huméral	1,9%
Luxation acromio-claviculaire	1,9%
Fracture métatarsienne	1,9%
Luxation sterno-claviculaire antérieure	0,9%
Fracture condylienne (fémorale médiale)	0,9%
Fracture du col fémoral	1,9%
Fracture calcanéenne	0,9%
Fracture de la malléole médiale (tibia)	0,9%
Fracture-luxation de Lisfranc (tarse)	0,9%

membre inférieur droit, sans présager de lésions osseuses sous-jacentes (soit 6 membres supérieurs touchés pour 11 membres inférieurs).

Une étude montre cependant des données contraires. Au décours du séisme de Bam, Iran, 159 sujets traumatisés ont été examinés dans un centre d'électrophysiologie [41]. Un total de 383 lésions neurologiques périphériques déficitaires furent mises en évidence, dont 203 nerfs siégeant aux membres inférieurs (53 %), 173 nerfs siégeant aux membres supérieurs (45 %) et 7 nerfs faciaux (2 %). Sur cet ensemble, 39 patients ont été examinés plus précisément (**Tableau IV**) ; les déficits neurologiques montrent donc une topographie lésionnelle anatomique prédominant au niveau des membres supérieurs, mais rien n'indique que des lésions osseuses soient associées à ces déficits ; il peut aussi s'agir de lésions des tissus mous accompagnées de lésions nerveuses par compression, dilacération, etc.

Lors d'écrasement/enfouissement, les lésions thoraciques et notamment sterno-costales ne sont pas rares, même si elles ne sont pas au premier plan. Par exemple, au décours des tremblements de terre de Marmara (Izmit puis Duzce, 1999), sur 356 patients hospitalisés, 9,7 % (Izmit, n=21) et 7,6 % (Duzce, n=6) des sujets res-

pectivement étaient porteurs de lésions thoraciques et pulmonaires [25] : 7 sujets d'Izmit étaient porteurs de fractures costales toujours multiples (arcs costaux antérieurs), pour 2 sujets de Duzce. À Izmit, on notait également 8 sujets avec des fractures des membres, 4 traumatismes crâniens, 1 sujet avec traumatisme rachidien et 1 sujet avec traumatisme du pelvis. À Duzce, on notait également 3 sujets avec des fractures des extrémités inférieures et 1 sujet avec une fracture du pelvis.

Des taux comparables de fractures costales ont été retrouvés au décours du séisme de Kobé [40] : 34,9 % des sujets hospitalisés avec des lésions thoraco-pulmonaires avaient une fracture claviculaire ou costale.

Au décours du séisme de Hyogo, Japon (17 janvier 1995), 487 patients furent hospitalisés. 13 % d'entre eux étaient porteurs de lésions thoraciques (n=63). La répartition complète des lésions chez les 487 patients montrait à nouveau une prédominance des lésions au niveau des membres et de l'extrémité céphalique (**Tableau V**), mais également de nombreuses lésions thoraciques qui ont été finement inventoriées (**Tableau VI**) [40]. Pour les lésions osseuses thoraciques, on notera la très nette prédominance des lésions costales

Tableau IV.

Lésions neurologiques		Patients (n=39)
Membre supérieur	Nerf médian	13% (n=5)
	Nerf ulnaire	5% (n=2)
	Nerf radial	15% (n=6)
	Nerf brachial	20% (n=8)
Membre inférieur	Nerf lombaire	5% (n=2)
	Nerf sciatique	33% (n=13)
	Nerf fibulaire	8% (n=3)

Tableau V.

Lésions	Patients (n=487)
Crâne	25%
Thorax	8%
Abdomen	1%
Pelvis et bassin	7%
Rachis	8%
Membres	30%
Brûlures	4%
Poly-traumatisme	15%
Autre	2%

Tableau VI.

Lésions	Patients (n=63)
Traumatisme superficiel	46% (n=29)
Fracture costale	27% (n=17)
Rupture du système cardio-vasculaire (décès à l'arrivée)	10% (n=6)
Suffocation (décès à l'arrivée)	3% (n=2)
Fracture claviculaire	8% (n=5)
Pneumothorax	3% (n=2)
Autre	3% (n=2)

Tableau VII.

Niveau lésionnel	Patients (n=194)
Cervical	2,5% (n=5)
Thoracique	25% (n=48)
Lombaire	62% (n=120)
Thoraco-lombaire	9% (n=18)
Cervico-thoracique	0,5% (n=1)
Lombo-sacré	0,5% (n=1)
Contusion médullaire	0,5% (n=1)

(27 % des sujets traumatisés) et la relative rareté des lésions claviculaires (8 %).

Au décours du tremblement de terre du Pakistan (8 octobre 2005), 176 patients ayant subi une prise en charge maxillo-faciale ont été analysés [39]. Parmi eux, 80 % étaient porteurs de fractures maxillo-faciales (n=141), tandis que les 20 % restant (n=35) avaient subi des lésions maxillo-faciales mineures (lésions des tissus mous, fracture dento-alvéolaire, luxation temporo-mandibulaire). Une fracture isolée mandibulaire a été observée chez 36 % des sujets (n=64), tandis que 32 % des sujets avaient des fractures multiples des os de la face (n=57). Une fracture de l'os zygomatique était présente chez 10 % des patients (n=18), et 2 sujets avaient une fracture isolée de l'os maxillaire (1 %).

Dans une étude portant sur la prise en charge chirurgicale des paralysies faciales post-traumatiques, les auteurs [32] mentionnent 1 sujet pris en charge pour une fracture transverse de l'os temporal gauche (rocher)

au décours du séisme de 1999 (Turquie), sachant que les fractures longitudinales sont les plus fréquentes dans la pratique quotidienne fondée principalement sur les accidents de la voie publique [5, 19].

Au décours du séisme du Pakistan (8 octobre 2005), 194 sujets atteints de lésions médullaires post-traumatiques ont été examinés [36]. La localisation des niveaux lésionnels renseigne sur la topographie des lésions vertébrales (**Tableau VII**). On remarque ainsi la très nette prédominance des lésions lombaires, puis thoraciques.

Zones anatomiques touchées de façon prédominante chez les enfants blessés

La morphologie osseuse et la résistance des ossements immatures étant différentes de celles des adultes, il convenait d'étudier de façon rétrospective la topo-

Tableau VIII.

Lésions	0-5 ans (28%, n=33)	6-10 (22%, n=26)	11-16 (50%, n=60)
Membre	67% (n=23)	69% (n=18)	70% (n=42)
Thorax / abdomen	9% (n=3)	15% (n=4)	16% (n=10)
Crâne / rachis	24% (n=8)	31% (n=8)	35% (n=21)

graphie et la fréquence des lésions traumatiques dans cette population. La présence d'extrémités non fusionnées (épiphyses libres), de cartilages de croissance, etc. pouvaient à elles seules expliquer une transmission différente des lignes de force en cas de traumatisme.

On constate d'emblée, à nouveau, la grande fréquence des lésions traumatiques en cas de tremblement de terre et d'écrasement/enfouissement. À l'issue du séisme d'Arménie (1988), sur 3 232 enfants étudiés, 2007 (62,1 %) eurent un traumatisme de l'appareil locomoteur dont 653 avec des fractures fermées (32,5 %) [22]. Il semble cependant que les statistiques changent en fonction de la rapidité d'intervention des secours : pour le même séisme, avec une autre équipe, sur 245 individus sujets à un recouvrement supérieur à 12h, 119 sujets ont eu une fracture fermée d'un os long et 59 sujets ont eu une fracture ouverte [33] ; dans les 2 cas, de toutes façons, la fréquence des lésions traumatiques reste grande.

Au décours du séisme de Bam, en Iran, 119 enfants de moins de 16 ans ont été examinés lors de leur hospitalisation [31]. La répartition des lésions traumatiques a été étudiées (**Tableau VIII**), notamment au

niveau des membres (**Tableau IX**). On constate ainsi que la classique prédominance des lésions traumatiques aux membres est respectée, avec également des lésions des membres inférieurs passant au premier plan.

Zones anatomiques touchées de façon prédominante chez les défunts

La topographie et la fréquence des lésions traumatiques variaient-elles entre la population des défunts et des blessés d'un séisme et notamment d'un écrasement/enfouissement ? Seules les données autopsiques ou médico-légales au sens large (levée de corps par examen externe de cadavre, autopsie virtuelle par examen radiographique, etc.) permettaient de répondre à cette question.

Au décours du tremblement de terre d'Athènes (7 septembre 1999), 111 cadavres provenant des décombres d'immeubles écroulés furent l'objets d'un examen autopsique [26]. Malgré l'effondrement des structures architecturales, le mécanisme du décès variait d'un cas à l'autre (**Tableau X**). La répartition des lésions traumatiques chez les victimes (**Tableau XI**) montrait

Tableau IX.

Lésions	Membre supérieur	Membre inférieur
Articulaire	8% (n=10)	42% (n=50)
Lacération / contusion	4% (n=5)	47% (n=56)
Fracture	9% (n=11)	44% (n=52)
Ecchymose	8% (n=9)	26% (n=31)
Hématome	2% (n=2)	16% (n=19)
Blessure profonde	1% (n=1)	18% (n=22)
Vasculaire	-	11% (n=13)

Tableau X.

Enterrés ou bloqués lors de l'effondrement		92% des sujets (n=102)
Lésions traumatiques		95% (n=105)
Décès liés à des blessures et/ou brûlures		67% (n=74)
Décès directement lié au séisme	Enterré ou bloqué et décès lié à des lésions traumatiques	62% (n=69)
	Enterré ou bloqué et décès lié à une asphyxie	28% (n=31)
	Décès lié à un traumatisme par projection d'objet	1% (n=1)
	Enterré ou bloqué et décès lié à des brûlures	2% (n=2)
Décès indirectement lié au séisme	Infarctus myocardique sans autre lésion (notamment traumatique)	5% (n=6)
	Saut panique et lésions de chute	2% (n=2)

Tableau XI.

Lésion crânienne	65% des sujets (n=68)
Lésion de la face	36% (n=38)
Lésion cervicale	3% (n=3)
Lésion thoracique	65% (n=68)
Lésion abdomino-pelvienne	38% (n=40)
Lésion rachidienne	20% (n=21)
Lésion du membre supérieur	48% (n=50)
Lésion du membre inférieur	65% (n=68)

Tableau XII.

Obstruction des voies aériennes (10,5% des victimes, n=11)	Lésion maxillaire	1,5% des lésions retrouvées (n=4)
	Lésion mandibulaire	0,5% (n=1)
	Lésion de l'arcade alvéolaire	2% (n=6)
Lésions de l'appareil respiratoire (62%, n=65)	Écrasement thoracique	7% (n=20)
	Lésion diaphragmatique	2,5% (n=7)
	Lésion pulmonaire	5% (n=15)
	Lésion costale	15% (n=44)
	Lésion sternale	4% (n=11)
Lésions de l'appareil circulatoire (47%, n=49)	Décapitation	0,5% (n=1)
	Écrasement thoracique	7% (n=20)
	Lésion de l'aorte thoracique	1% (n=2)
	Lésion cardiaque	2% (n=6)
	Lésion péricardique	1% (n=2)
	Lésion pulmonaire avec hémithorax > 20% masse sanguine	0,5% (n=1)
	Lésion abdominale avec hémopéritoine > 20% masse sanguine	1% (n=2)
	Lésion hépatique	8% (n=24)
	Lésion splénique	7% (n=20)
	Lésion rénale	1% (n=2)
	Lésion mésentérique	0,5% (n=1)
	Lésion pelvienne déformation	1% (n=3)
	Lésion pelvienne avec perte sanguine > 20% masse sanguine	0,5% (n=1)
	Écrasement du membre supérieur	1,5% (n=4)
	Écrasement du membre inférieur	2% (n=6)
Lésions cérébro-rachidiennes (57%, n=60)	Fracture fémorale	6% (n=18)
	Écrasement crânien	8,5% (n=25)
	Lésion cérébrale	10% (n=29)
	Luxation du rachis cervical	0,5% (n=1)
	Lésion médullaire cervicale	2,5% (n=7)
	Lésion médullaire thoracique	3,5% (n=10)

cette fois-ci des valeurs différentes de la population blessée, avec des topographies prédominantes crânienne, thoracique et appendiculaire (membre inférieur). Le détail des lésions vitales retrouvées au décours des autopsies, sur 293 lésions constatées, indiquait le mécanisme lésionnel (**Tableau XII**).

Parmi les lésions asphyxiques (31 sujets morts d'asphyxie sur 105 sujets traumatisés), il convient de mentionner, les compressions thoraciques, les lésions thoraciques, mais aussi les inhalations asphyxiantes de poussières, de débris, de terre, de sang et de liquide gastrique.

Les lésions fatales (= mortelles) d'origine traumatique siégeaient principalement au niveau du crâne, du thorax et de l'abdomen. La prédominance topographique des lésions traumatiques chez les survivants dans les autres études au niveau des membres s'explique peut-être justement par leur survie : ils n'auraient pas survécu en cas de lésions crânio-thoraco-abdominales...

Au décours du séisme de Los Angeles (17 janvier 1994), 171 sujets ont été examinés, dont 33 individus décédés et 138 individus hospitalisés [28]. Les princi-

pales causes de décès ou d'hospitalisation ont été enregistrées (**Tableau XIII**). L'étude de la répartition topographique des lésions traumatiques en fonction du caractère léthal ou non de celles-ci était unique dans la littérature médicale (**Tableau XIV**). Elle montrait à nouveau que chez les défunts, la majorité des lésions traumatiques était répartie au niveau crânien et thoracique, tandis que chez les blessés, il existait une très nette prédominance au niveau appendiculaire (avec, comme observé plus haut, une prééminence des membres inférieurs sur les membres supérieurs).

Zones anatomiques touchées de façon prédominante lors des accidents de mine

Outre l'asphyxie traumatique causée par les multiples lésions traumatiques thoraciques, les lésions les plus caractéristiques de l'écrasement/enfouissement lors d'accidents d'effondrements de mine sont les lésions en hyper-flexion (ou fracture-luxation) du rachis causées par la chute de pierres ou de grandes quantités de terre chez un individu préalablement en flexion (soit en cours de travail, soit parce qu'il se protège en se mettant en position fœtale). L'impact de cette impor-

Tableau XIII.

Cause	Sujets décédés (n=33)	Sujets hospitalisés (n=138)
Lésion ou écrasement par un bâtiment	71% (n=22)	8% (n=11)
Lésion ou écrasement par un objet	-	15% (n=21)
AVP	15% (n=5)	3% (n=4)
Brûlure ou électrocution	6% (n=2)	7% (n=10)
Chute	12% (n=4)	56% (n=77)
Blessure	-	5% (n=7)
Autre	-	6% (n=8)

Tableau XIV.

Région	Sujets décédés (n=33)	Sujets hospitalisés (n=138)
Membre inférieur	18% (n=6)	54% (n=74)
Membre supérieur	6% (n=2)	19% (n=26)
Rachis	6% (n=2)	13% (n=18)
Lésions externes	24% (n=8)	10% (n=14)
Crâne	48% (n=16)	7% (n=10)
Face	15% (n=5)	3,5% (n=5)
Thorax	42% (n=14)	2% (n=3)
Abdomen	21% (n=7)	2% (n=3)
Région cervicale	-	-

Tableau XV.

Vertèbres touchées	Fréquence
T12, L1, L2	67%
T6 à T12	20%
L1	30%
L2	16%

tante masse, soit sur le crâne (causant une flexion du rachis thoraco-lombaire), soit, plus fréquemment, de façon asymétrique sur une des épaules, ajoute un mécanisme de rotation à l'hyper-flexion du tronc. Comme le rachis thoracique est relativement maintenu en rectitude par la cage thoracique, la majorité des forces est ainsi répartie sur le rachis lombaire, expliquant la grande fréquence des fractures-luxations dans cette topographie [14]. Des lésions d'hyper-extension peuvent également survenir, bien que plus rares.

Dans une étude menée sur 152 mineurs enfouis dans des galeries du Yorkshire [24], il a été montré une répartition des lésions rachidiennes très systématisée, avec une très nette prédominance pour les vertèbres T12, L1 et L2 (**Tableau XV**). La lésion osseuse la plus fréquemment retrouvée était une fracture cunéiforme (*wedge fracture*) de la portion antérieure du corps vertébral (60 % des cas). La survenue d'une telle fracture s'expliquerait par le fait que la chute d'une masse (toit, mur, pierre, terre, etc.) sur la partie supérieure du corps occasionne des forces importantes de flexion sur le bas de la colonne vertébrale ; le *nucleus pulposus* agit alors comme un point d'appui et le bord antérieur du ou des corps vertébraux sont comprimés. Les autres lésions osseuses étaient une fracture cunéiforme de la portion latérale du corps vertébral dans 14 % des cas, une luxation rachidienne (par rupture du ligament inter-apophysaire postérieur) dans 20 % des cas, une fracture de l'arc neural dans 10 % des cas. Dans 60 % des cas, enfin, une atteinte médullaire était présente.

DISCUSSION

Synthèse lésionnelle

Au sein des 3 squelettes ostéo-archéologiques découverts dans la couche de destruction d'une habitation de l'Age du Bronze, un squelette de péri-natal (10 mois lunaires : sujet C) ne présentait aucune lésion

traumatique suspecte (aspect récent, sans patine visible, liées à l'extraction des ossements lors de la fouille et aux manipulations multiples), tandis qu'un squelette d'immature âgé de 7 ans (sujet A) était porteur de lésions traumatiques anciennes dont certaines étaient suspectes d'être *peri-mortem* ; il s'agissait de fractures d'aspect ancien, patinées (donc non liées à la fouille archéologique elle-même), situées au niveau de la portion verticale sous-glénoïdienne des 2 scapulas (fracture du col scapulaire), des arcs latéraux de C1 et arcs latéraux lombaires, de l'extrémité distale des 2 tibias, des arcs antérieurs, moyens et postérieurs de multiples côtes, de la voûte et de la base du crâne (dont une fracture longitudinale complète des 2 rochers. La topographie de certaines de ces lésions (rochers, col scapulaire) était tout à fait atypique, de telles lésions ne se retrouvent habituellement pas sur des squelettes provenant d'inhumations classiques sans contexte traumatique. D'ailleurs, le squelette le plus jeune (périnatal : sujet C), supposé le plus fragile de cet ensemble ostéo-archéologique, était indemne de toute lésion traumatique suspecte.

Sur les 5 cas médico-légaux, seuls 3 étaient porteurs de lésions traumatiques osseuses (3 hommes adultes) : fractures de la voûte crânienne (n=2), du rocher (n=1), métaphyso-diaphysaire fémorale (n=1), du toit des 2 cotyles (n=1), fractures costales (n=3), disjonction complète acromio-claviculaire gauche (n=1), avulsion dentaire (n=1). L'un des sujets porteur de lésions costales avait fait l'objet d'une réanimation. 2 autres individus (dont l'un également avait fait l'objet de manœuvres de réanimation), morts de suffocation et enfouis dans un terrain meuble (sableux), étaient exempts de toute lésion traumatique osseuse.

Si l'on synthétise l'ensemble des données issues de la littérature concernant les lésions osseuses d'écrasement/enfouissement en contexte de tremblement de terre, il est possible de dire que :

- ✓ les lésions traumatiques osseuses sont relativement fréquentes ;

- ✓ les membres (et surtout les membres inférieurs) sont le plus fréquemment touchés, suivis par le crâne et le rachis, chez les blessés ;
- ✓ le crâne et le thorax sont le plus fréquemment touchés, suivis par les membres, chez les défunts ;
- ✓ la topographie des lésions traumatiques est comparable chez les immatures et les adultes.

Si, dans ces circonstances, aucune lésion caractéristique osseuse n'a encore été décrite, en revanche, pour les écrasement/enfouissement en mine, la fracture-tassement du bord antérieur du corps vertébral de T12 à L2 est une lésion caractéristique. Le mécanisme lésionnel apparaît comparable à celui survenant chez une victime d'un effondrement de plafond ou d'un écrasement par des murs ou objets lourds lors d'un séisme ou accident de chantier. On ne peut pas en revanche se fonder sur l'étude comparative des lésions induites par les avalanches, le mécanisme lésionnel étant sensiblement différent : écrasement/enfouissement, certes, mais également roulement, torsion, rotation et traction [34].

La description des lésions rachidiennes décrites dans les circonstances d'un écrasement/enfouissement au cours d'un séisme n'est hélas pas assez précise pour savoir si les lésions du rachis incluent cette fracturation du rebord (antérieur surtout, latéral sinon) du corps vertébral décrite lors d'accidents en galeries de mine.

Diagnostic différentiel macroscopique

La résistance osseuse, donc la transmission des lignes de force en cas de compression ou de traumatisme, varie en fonction du caractère humide, souple, déformable, de la trame osseuse, mais aussi de la présence de tissus mous au contact, du revêtement cutané, etc. L'ensemble de ces facteurs a permis de déterminer certains éléments différentiels. Ainsi, tant pour les cas ostéo-archéologiques qu'anthropologiques médico-légaux, le diagnostic du caractère taphonomique (*post-mortem*) ou *peri-mortem* des lésions traumatiques osseuses peut se fonder sur plusieurs critères classiques [6, 8, 12, 27, 29, 37, 38] :

- ✓ caractère irrégulier et effrité des berges osseuses (altérations taphonomiques) ;
- ✓ absence complète de patine des faces de fracture (altérations taphonomiques) ;

- ✓ caractère spiroïde des traits de fracture (caractéristique d'une lésion sur os humide : *peri-mortem*).

Mécanismes physiopathologiques

La position adoptée spontanément lors d'un effondrement de toit, de mur ou de galerie de mine (position fœtale) peut expliquer la répartition des lésions traumatiques osseuses. De même, l'adoption d'une position de travail en genuflexion, tête en avant fait qu'en cas d'accident, l'extrémité céphalique se retrouve coincée entre les genoux [3]. Dans tous les cas, la mise en position fœtale, position de protection presque « instinctive », facilite la survenue de fractures ou de fractures/luxations de la colonne vertébrale puisqu'elle provoque une hyperflexion rachidienne. L'impact d'une masse (terre, pierre, mur, toit, etc.) sur la tête, le cou ou les épaules, provoque une flexion brutale du rachis thoracique bas et lombaire généralement accompagnée d'un mouvement de rotation si cette force est exercée de façon asymétrique sur les épaules (chute sur une épaule plutôt que sur les 2). Les fractures ou fractures/luxations surviennent plus fréquemment au niveau du massif lombaire car les vertèbres thoraciques (et surtout les vertèbres thoraciques hautes) sont relativement protégées de toute déformation par le caractère rigide de la cage thoracique (côtes et sternum). La 12^e vertèbre thoracique et les deux 1^{res} vertèbres lombaires (T12, L1 et L2) sont généralement les plus touchées, avec des lésions caractéristiques de fracture cunéiforme du rebord antérieur du corps vertébral).

Le mécanisme de survenue de la fracture scapulaire rencontrée dans un cas ostéo-archéologique (sujet A) pourrait être mis en parallèle avec celui de la disjonction complète acromio-claviculaire observée chez un cas médico-légal (9828). En effet, la fracture du col scapulaire (*scapular neck*) survient sous l'effet d'un traumatisme direct et peut être associée à de fractures humérales (col de l'humérus) ou claviculaires. Le traumatisme peut être antéro-postérieur ou dirigé directement sur la scapula [12, 29]. Chez un individu qui se protège d'une chute d'objets lourds dans des circonstances comme celles d'un séisme ou d'un effondrement de mine, on comprend sans peine que les scapula soient un des points de contact essentiels entre l'objet lourd et le corps.

La survenue d'une fracture du rocher est tout à fait inhabituelle sur du matériel osseux ancien, sauf dans un contexte traumatique violent. En effet, les trauma-

tismes crâniens par objet contendant peuvent être à l'origine d'une fracture de l'os temporal, soit au niveau du processus mastoïde, soit au niveau de sa portion pétreuse (rocher). Les fractures du rocher sont plus fréquemment longitudinales, en continuité avec un trait de fracture linéaire temporal ou pariétal. Plus rarement, on peut retrouver une fracture transversale du rocher [12].

Les fractures acétabulaires et notamment celles du toit du cotyle, sont produites par la tête fémorale lorsque est transmise une force excessive provenant du pied, du genou ou du grand trochanter [12]. Dans le cas d'un écrasement/enfouissement, deux forces s'opposent l'une à l'autre : la première, dirigée de haut en bas, correspond au poids de l'hémi-corps supérieur additionné du poids de la terre recouvrant l'individu ; la seconde, dirigée de bas en haut, correspond à la résistance de chacun des 2 membres inférieurs. La rencontre de ces 2 forces contraires se fait au point de contact entre le toit du cotyle (plafond de l'acétabulum, os coxal) et la tête fémorale, de chaque côté.

CONCLUSION

Cette étude avait pour but de déterminer s'il était possible de différencier, au cours d'un examen anthropologique médico-légal, des lésions *peri-mortem* d'écrasement/enfouissement accidentel et des lésions taphonomiques *post-mortem* liées à la fragilisation/fragmentation d'ossements enterrés.

La comparaison de données autopsiques médico-légales, ostéo-archéologiques et statistiques (études rétrospectives sur des victimes de séismes ou d'accidents de galerie de mine) a mis en évidence que la résistance différente des ossements frais et secs explique la présence de lésions de topographie différente en fonction du mécanisme de décès. Certaines lésions sont ainsi classiquement absentes sur les squelettes secs (même fragmentés par une fragilisation progressive et un enfouissement) et peuvent être rapportées à un traumatisme *peri-mortem*, notamment dans un contexte d'écrasement/enfouissement : fracture du rocher, fracture de la portion verticale sous-glénoïdienne de la scapula (fracture du sol scapulaire), fracture cunéiforme du corps vertébral (particulièrement entre T12 et L2). L'absence de lésion traumatique chez des individus victimes d'écrasement/enfouissement peut s'expliquer par la nature-même du terrain : terre sableuse, pour les 2 cas médico-légaux.

La mise en évidence de ces lésions, confrontées aux données de terrain sur la position de découverte du corps et l'environnement, est d'importance pour l'anthropologue médico-légal lorsqu'il s'agit de déterminer les causes du décès d'un individu réduit à l'état squelettique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leurs sincères remerciements au Service de Police Technique et Scientifique de Versailles pour leur aide iconographique. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ARMENIAN H.K., MELKONIAN A., NOJI E.K., HOVANESIAN A.P. – Deaths and injuries due to the earthquake in Armenia : a cohort approach. *Int. J. Epidemiol.*, 1997, 26, 4, 806-813.
- [2] BETTER O.S., RUBINSTEIN I., REIS D.N. – Muscle crush compartment syndrome : fulminant local oedema with threatening systemic effects. *Kidney Int.*, 2003, 63, 1155-1157.
- [3] BOTHA J.B.C. – Injury and death in the mining industry. In MASON J.K., PURDUE B.N., *The pathology of trauma*. London, Arnold, 2000, p. 363-377.
- [4] BOURGUE L.B., PEEK-ASA C., MAHUE M., NGUYEN L.H., SHOAF K.I., KRAUS J.F., *et al.* – Health implications of earthquakes : physical and emotional injuries during and after the Northridge earthquake. In, Collectif, *Proceedings of a WHO symposium, Kobe, Japan, January 27-30, 1997*.
- [5] CHAN E.H., TAN H.M., TAN T.Y. – Facial palsy from temporal bone lesions. *Ann. Acad. Med. Singapore*, 2005, 34, 322-329.
- [6] CHARLIER P. (Dir.), *Ostéo-archéologie et techniques médico-légales : tendances et perspectives. Pour un Manuel pratique de paléopathologie humaine*. Paris, De Boccard, 2008.
- [7] CHEN K.T., CHEN W.J., MALILAY J., TWU S.J. – The public health response to the Chi-Chi earthquake in Taiwan, 1999. *Public Health Rep.*, 2003, 118, 493-499.
- [8] DUDAY H. – *Lezioni di archeotanatologia. Archeologia funeraria e antropologia di campo*. Roma, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza Archeologica di Roma, 2006.
- [9] DUMAN H., KULAHCI Y., SENGEZER M. – Fasciotomy in crush injury resulting from prolonged pressure in an

- earthquake in Turkey. *Emerg. Med. J.*, 2003, 20, 251-252.
- [10] ELLIKODUZ H., UCKU R., AYDIN U.Y., ELLIDOKUZ E. – Risk factors for death and injuries in earthquake : cross-sectional study from Afyon, Turkey. *Croat. Med. J.*, 2005, 46, 4, 613-618.
- [11] EMAMI M.J., TAVAKOLI A.R., ALEMZADEH H., ABDINEJAD F., SHAHCHERAGHI G., ERFANI M.A., MOZAFARIAN K., SOLOOKI S., REZAZADEH S., ENSAFDARAN A., NOURAIE H., JABERI F.M., SHARIFIAN M. – Strategies in evaluation and management of Bam earthquake victims. *Prehosp. Disaster Med.*, 2005, 5, 20, 327-330.
- [12] GALLOWAY A. (Dir.) – *Broken bones. Anthropological analysis of blunt force trauma*. Springfield (Illinois), Charles C. Thomas Publishers, 1999.
- [13] KAZEMIAN G., AZARBAL M., ENAMI M., KHATIBI H., EBRAHIMPOUR A., SHAFAGHI T., ETTEHAD H., ADYBEIK D. – Orthopedic injuries in the victims of the earthquake of Bam. *Internet J. Orthopedic Surg.*, 2004, 1, 2.
- [14] KNIGHT B.H. – Injuries sustained in mining and quarrying. In MASON J.K. (Dir.), *The pathology of violent injury*. London, Edward Arnold, 1978, p. 137-150.
- [15] KRAMAR C. – Le diagnostic des calcifications biologiques. In CHARLIER P. (Dir.), *Ostéo-archéologie et techniques médico-légales : tendances et perspectives. Pour un Manuel pratique de paléopathologie humaine*. Paris, De Boccard, 2008, p. 417-429.
- [16] KROGMAN W.M., ISCAN M.Y. – *The human skeleton in forensic medicine*. Springfield (Illinois), Charles C. Thomas Publishers, 1986.
- [17] KURT N., KUCUK H.F., CELIK G., et al. – Evaluation of patients wounded in the 17 august 1999 Marmara earthquake. *Ulus Trauma Derg.*, 2001, 7, 1, 49-51.
- [18] KURT N., KÜCÜK H.F., DEMIRHAN R., ALTACA G. – Crush injury in two earthquake disasters within a 3-month period. *European J. Trauma*, 2003, 29, 42-45.
- [19] LAMBERT P.R., BRACKMANN D.E. – Facial paralysis in longitudinal temporal bone fractures : a review of 26 cases. *Laryngoscope*, 1984, 94, 1022-1026.
- [20] LEVINE M.S., RADFORD E.P. – Fire victims : medical outcomes and demographic characteristics. *Am. J. Public Health*, 1977, 67, 1077-1080.
- [21] MARUO S., MATUMOTO M. – Spinal fractures resulting from the 1995 great Hanshin earthquake of the Kobe-Osaka area of Japan. *Spinal Cord*, 1996, 34, 7, 382-386.
- [22] MHAYAN G., HAVHEMES S., GAREN K. – Earthquake in Armenia of 1988. *Prehosp. Disast. Med.*, 2001, 16, 2, S50.
- [23] MICOZZI M.S. – *Post-mortem change in human and animal remains. A systematic approach*. Springfield (Illinois), Charles C. Thomas Publishers, 1991.
- [24] NICOLL E.A. – Fractures of the dorso-lumbar spine. *J. Bone Joint Surg.*, 1949, 31, 376-382.
- [25] OZDOGAN S., HOCAOGLU A., CAGLAYAN B., IMAMOGLU O.U., AYDIN D. – Thorax and lung injuries arising from the two earthquakes in Turkey in 1999. *Chest*, 2001, 120, 1163-1166.
- [26] PAPADOPOULOS I.N., KANAKARIS N., TRIANTAFILLIDIS A., STEFANAKOS J., KAINOURGIOS A., LEUKIDIS C. – Autopsy findings from 111 deaths in the 1999 Athens earthquake as a basis for auditing the emergency response. *British J. Surg.*, 2004, 91, 1633-1640.
- [27] PATOU-MATHIS M. – Les altérations taphonomiques et les pseudo-pathologies. In CHARLIER P. (Dir.), *Ostéo-archéologie et techniques médico-légales : tendances et perspectives. Pour un Manuel pratique de paléopathologie humaine*. Paris, De Boccard, 2008, p. 81-89.
- [28] PEEK-ASA C., KRAUS J.F., BOURQUE L.B., VIMALACHANDRA D., YU J., ABRAMS J. – Fatal and hospitalized injuries resulting from the 1994 Northridge earthquake. *Int. J. Epidemiol.*, 1998, 27, 459-465.
- [29] PERRY C.R., ELSTROM J.A. – *Handbook of fractures*. New York, McGraw-Hill Inc., 2nd edition, 2000.
- [30] ROY N., SHAH H., PATEL V., COUGHLIN R.R. – The Gujarat earthquake (2001) experience in a sismically unprepared area : community hospital medical response. *Prehospital Disaster Med.*, 2002, 17, 186-195.
- [31] SABZEHCHEAN M., ABOLGHASEMI H., HADI RADFAR M., JONAIIDI-JAFARI N., GHASEMZADEH H., BURKLE F.M. – Pediatric trauma at tertiary-level hospitals in the aftermath of the Bam, Iran earthquake. *Prehosp. Disaster Med.*, 2006, 5, 21, 336-339.
- [32] SANUS G.Z., TANRIÖVER N., TANRIVERDI T., UZAN M., AKAR Z. – Late decompression in patients with acute facial nerve paralysis after temporal bone fracture. *Turkish Neurosurgery*, 2007, 1, 17, 7-12.
- [33] SHAPOSHNIKOV I.G., KOZHIN N.P., NIKOGOSIAN R.V., et al. – The outcomes in crush syndrome of the extremities half a year after the earthquake in Armenia. *Voen. Med. Zh.*, 1990, 4, 44-45.
- [34] STALSBERG H., ALBRETSSEN C., GILBERT M., KEARNEY M., MOESTUE E., NORDRUM I., ROSTRUP M., ORBO A. – Mechanism of death in avalanche victims. *Virchows Archiv A Pathol. Anat.*, 1989, 414, 415-422.
- [35] TAHMASEBI M.N., KIANI K., MAZLOUMAN S.J., TAHERI A., KAMRANI R.S., PANJAVI B., HARANDI B.A. – Musculoskeletal injuries associated with earthquake. A report of injuries of Iran's December 26, 2003 Bam earthquake casualties managed in tertiary referral centers. *Injury*, 2005, 36, 1, 27-32.
- [36] TAUQIR S.F., MIRZA S., GUL S., GHAFAR H., ZAFAR A. – Complications in patients with spinal cord injuries sustained in an earthquake in Northern Pakistan. *J. Spinal Cord. Med.*, 2007, 30, 373-377.

- [37] UBELAKER D.H. – *Human skeletal remains. Excavation, analysis, interpretation*. Washington, Taraxacum, Manuals of Archaeology n°2, 2nd edition, 1991.
- [38] WALKER P.L. – A bioarchaeological perspective on the history of violence. *Annual Review Anthropol.*, 2001, 30, 573-596.
- [39] WASIM IBRAHIM M., SHAH I., ZAEEM K., AFZAL M., SHEHZAD M., HAFEEZ SHAIKH A. – Pattern of maxillofacial injuries in the earthquake victims. *Pak. Armed Forces Med. J.*, 2006, 56, 4, 357-360.
- [40] YOSHIMURA N., NAKAYAMA S., NAKAGIRI K., AZAMI T., ATAKA K., ISHII N. – Profile of chest injuries arising from the 1995 Southern Hyogo prefecture earthquake. *Chest*, 1996, 110, 759-761.
- [41] ZANGIABADI N., NAEEM AHRARI M. – Electro-diagnostic and clinical changes of peripheral neuropathies in Bam earthquake victims. *Am. J. Environ. Sci.*, 2005, 1, 3, 206-208.