

Tomographie X et spectrométrie infrarouge pour l'analyse de bâtons de jet & boomerangs

par Luc Bordes

Les bâtons de jet¹ sont des objets préhistoriques aussi vieux que l'humanité. Ils ont perduré sur de nombreux continents sous différentes formes, usages, et traditions de fabrication. Leur étude peut se faire par différentes approches.

Concernant la compréhension de leur façonnage et de leur aérodynamique, la technique de tomographie à rayon X peut apporter un certain nombre d'informations qui pourront être confrontés à des données ethnographiques ou archéologiques pour confirmer ou infirmer des hypothèses liés principalement à leur façonnage et leur utilisation dans un environnement donné. D'autres techniques, comme la spectrométrie infrarouge apportent quand à elles des informations de surface.

Dans un premier temps, il a été utile de vérifier quel était les performances de l'appareillage et les informations qu'il était possible de tirer de ces images, et cela pour des objets fabriqués dans différentes essences de bois.

La première partie de l'étude porte donc sur un éventail de bâtons de jet contemporains que j'ai fabriqué selon des méthodes traditionnelles ou préhistoriques. Ils proviennent de ma collection personnelle et servent de test.

Dans un deuxième temps, trois objets ethnologiques Aborigènes sont été également scanné pour étudier leur fabrication.

Les informations sur les échantillons connus:

Dix bâtons de jet en bois brut provenant de ma collection personnelle ont été scanné. Ces bâtons sont issus d'expérimentation visant à explorer l'aérodynamique de ces projectiles. Ils ont été construit avec des outils manuels et certains à l'aide d'outils en pierre. Ils ont été sélectionnés pour représenter différents types de bois et de type de fabrication comme la technique de taille sur cœur, ou le fendage en « bâton jumeaux » (1).

Il a été choisi plusieurs objets de très faible épaisseur de type boomerang² dans des bois de densité moyenne, ainsi que des objets plus épais construits en bois plus dense. L'intérêt de travailler avec des échantillons bien connus au niveau de leur façonnage, diamètre de bois de départ connu, essence de bois, va permettre d'apprécier la justesse des observations qui peuvent être faites à partir d'images en tomographie rayon X.

Liste des objets examinés provenant de ma collection personnelle et les informations de façonnage les concernant. En annexe (annexe 1) on pourra trouver leurs caractéristiques aérodynamiques issues des mesures manuelles déjà effectuées sur ces objets.

Boomerang en cornouiller (*Cornus mas*)

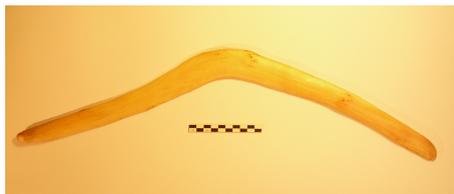


Fig 1 : Boomerang bo25

Il s'agit d'un boomerang taillé dans une moitié de branche de cornouiller de 7-8 cm de diamètre après fendage de celle-ci en deux moitiés.

Boomerang Mulga (*accacia aneura*)



Fig 2 : Boomerang bo11

Boomerang taillé à la machette de façon irrégulière sur cœur d'une branche de 7-8 cm de diamètre. Bois de Mulga

Boomerang en Rock She-oak (*Allocasuarina huegeliana*)



Fig 3 : boomerang bo15

Boomerang taillé à la machette de façon irrégulière sur cœur d'une branche de petit diamètre (5-6 cm)

Bâton de jet en jujubier (*Ziziphus zizyphus*)



Fig 4 : bâton de jet bc38

Bâton de jet taillé à la machette sur le cœur d'une branche sèche de 9-10 cm de diamètre, en taillant préférentiellement sur une moitié de diamètre mieux épargné par les insectes.

Bâton en buis (*Buxus sempervirens*)



Fig 5 : bâton de jet bc47

Bâton de jet de type « lil – lil » forme typique du sud est australien fabriqué à l'outil en métal sur le cœur d'une pièce de buis jonction tronc racine, la partie large en pale de suite correspondant à la partie racinaire et la pale d'attaque correspondant au tronc.

Bâton de jet jumeaux en charme(*Carpinus betulus*) (bg32)



Fig 6 : Bâton de jet bg32

Bâton de jet taillé avec des outils en pierre sur une moitié de branche de charme parfaitement fendue avec des coins en bois de 9 cm de diamètre. Cette moitié a été inversée par rapport au suivant de façon à conserver la face interne du bois comme intrados³.

Bâton de jet jumeaux en charme(*Carpinus betulus*) (bg33)



Fig 7 : Bâton de jet bg33

Seconde partie taillée avec des outils en pierre sur une moitié de branche de charme parfaitement fendue avec des coins en bois de 9 cm de diamètre.

Réplique de Bâton Tun percé, charme(*Carpinus betulus*)(bl43)



Fig 8 : bâton de jet bl43

Réplique de bâton africain originaire du Tchad taillé à la machette dans une moitié de branche de charme fendu à la hache en métal. Leur profil est rectangulaire et petit devant le diamètre d'origine de 7-9 cm. Face interne du bois correspondant à l'intrados.

Réplique de bâton Tun non percé, charme(*Carpinus betulus*) (bl44)



Fig 9 : Bâton de jet bl44

Réplique de bâton africain originaire du Tchad taillé à la machette dans une moitié de branche de charme fendu à la hache en métal. leur profil est rectangulaire et petit devant le diamètre d'origine de 7-9 cm. Face interne du bois correspondant à l'extrados

Les échantillons ethnologiques Aborigènes (collection privé Stephane Jacob – Arts Australie) :

On trouvera en annexe 1 les caractéristiques détaillées de ces trois objets.

Boomerang gaucher du XIX siècle(1109)



Fig 10 : Boomerang 1109



Fig 11 : Boomerang 1109 détails.
Couche noire & tracés de peinture blanche

Boomerang dont la collecte est daté de 1800 provenant d'Australie méridionale. Mes mesures de torsions sur cet objet montre qu'il s'agit d'un boomerang de gaucher en parfait état de marche. Il se caractérise par une finesse incroyable (5 mm d'épaisseur d'une pale à l'autre) qu'atteste d'une parfaite maîtrise du façonnage dans le bois brut. Il est couvert d'une couche noire non identifiée et de trace de peinture blanche.

Bâton de jet du centre rainuré du début du XX siècle(1017)



Fig 12 : Bâton de jet 1017

Ce bâton de chasse asymétrique en forme de crosse rainuré est typique de la région centrale. Sa collecte est daté de 1900. On sait que d'après des informations ethnologiques sur la fabrication de ces bâtons de jet il étaient fréquemment construit sur des moitiés de diamètre après fendage pour constituer des paires(2).

Bâton de jet archaïque (1123)



Fig 13 : Bâton de jet 1123

Ce bâton de jet de type « archaïque » à la faible courbure et au profil elliptique provient d'Australie occidentale. Sa date de collecte est 1900. Il est recouvert de gravure sur ses deux faces: Cercles concentriques, lignes ondulés sur extrados. Un serpent sur l'intrados.

L'expérience :

L'appareil utilisé est le scanner tomographique à rayon X de la plateforme Xylosciences de l'INRA de Nancy(3).

Chaque échantillon a été scanné en entier, posé sur leur intrados³, parallèlement à leur envergure, toujours dans le même sens, à savoir depuis l'extrémité de la pale d'attaque⁴ jusqu'à la pale de suite. Cela a produit typiquement 350-650 images selon l'envergure en raison d'une coupe tout les 1,25 mm.

5 coupes localisés précisément, perpendiculaires à la section de l'objet, et représentative ont été également effectués en repositionnant l'objet à chaque fois, pour servir de recalage.

Deux de ces coupes sont situées à 3 cm de distance de chaque extrémités, Deux autres coupes situés au milieu de chaque des pales de l'objet et la dernière au niveau du coude.



Fig 14 : Objet 1017 sur le plateau de l'appareil de tomographie avant le lancement du scan.

L'exploitation des images et les informations sur le façonnage

Façonnage:

La visualisation par différences relative de densité des cerne de croissance du bois permet en premier lieu de pouvoir tracer des cercles reconstituant le diamètre correspondant et restant, lié à la largeur du bâton de jet. Ces cercles ne sont destinés qu'à faire une évaluation du diamètre du bois et de son centre et à recalage le profil de l'objet taillé dans celui-ci. Une source d'imprécision est que les cerne d'une pièce de bois s'éloignent souvent du cercle parfait et peuvent être décentrés après une croissance asymétrique plus accentuée sur une face de l'arbre, mieux exposé par exemple.

La position de la section des objets par rapport au centre hypothétique de la pièce de bois peut aussi permettre de reconstituer le placement longitudinal de la courbure du bâton de jet dans la courbure naturelle de la branche. Ainsi on pourra

observer si l'artisan a procédé par enlèvement à l'extérieur des pales, ce qui est fréquemment utilisé pour accentuer la courbure par exemple, ou a inscrit la forme sur le bord intérieur ou extérieur de la pièce de bois courbe qui a servi de matière première.

Estimation du diamètre minimum

A partir du tracé de cercles concentriques sur les images de coupes tomographique on peut évaluer un diamètre minimum pour la pièce de bois utilisée pour leur façonnage. Cela peut être par exemple un petit diamètre dans lequel l'objet a été taillé sur cœur ou bien un plus grand diamètre avec l'objet taillé sur moitié ou encore un diamètre encore plus grand dont l'objet a pu être taillé par extraction ou sur une planche débité préalablement.

Estimation de la densité du bois

Il est très difficile d'estimer la densité absolue directement avec l'intensité mesurée sur les images car les niveaux de gris des images du scanner ne correspondent pas directement à la densité. Ils sont en unités Hounsfield, sur une échelle allant de -1000 pour l'air, 0 pour l'eau, et +1000 pour l'os. Même si des courbes de corrélations existes nous préférons diviser la masse connue de ces objets par le volume calculé à partir des 500 images de section et estimer grâce au logiciel d'acquisition de la machine. Cette valeur est donnée pour chaque objets en annexe (annexe 2).

L'apport pour l'étude aérodynamique

Relevé des profils

L'ensemble des coupes obtenues en tomographie rayon X constitue non seulement une information interne cruciale mais aussi plus simplement une information de contour externe qui peut servir de relevé de profil aérodynamique ultra précis. En effet il est très long, fastidieux et pas toujours aisé de relever le profil en coupe de ces objets en particulier ceux des collections de musées auquel il est préférable d'éviter de trop fréquents contacts et frottement diverses.

On peut très facilement grâce au images classer le type de profil d'un bâton de jet: Rond, elliptique, biconvexe, quasi biconvexe, plan convexe et observé également ses irrégularités. Ceci est particulièrement intéressant sur certains objets qui présentent des profils différents sur chacune de leur pale et au niveau du coude, que l'on rencontre parfois sur certains boomerangs australiens aux profils « inversé »

Relevé des angles d'incidences

En traçant un axe passant par le centre de chaque profil tout au long de l'un de ces objets, on peut également observer très précisément l'angle d'incidence⁵ d'une extrémité à l'autre de l'objet, qui exprime la torsions transversale des pales entre elles et par rapport au coude. Cette visualisation des torsions viendra compléter et confirmer leur relevé manuel.

Ces torsions sont cruciales pour le vol de ces engins et en particulier pour le retour des boomerangs(4).

Résultats

Les résultats détaillé pour chacun des objets sont données par leur fiche en annexe (annexe 3) qui s'appuie sur la série de cinq coupes localisés et perpendiculaire au profil des objets. On s'attardera néanmoins à comparer les informations connues(type d'essence, diamètre du bois, technique) sur les objets de ma collection personnelles avec les informations qu'il est possible de

lire sur les coupes tomographiques. Pour deux paires d'objet (bg32/bg33) et bl43/bl44) un essai de recalage des deux pièces sur moitié par rapport au diamètre d'origine a été tenté(voir annexe 2).

Objets à la construction connues appartenant à ma collection personnelle

Boomerang en cornouiller(annexe 3.1)

Les coupes d'images sur le boomerang en cornouiller montrent que la section de cet objet se place sur la moitié supérieure du diamètre de bois par rapport au plan passant par le cœur de la pièce de bois, On observe que la face intrados reste a une distance relativement constante de ce plan ce qui veut confirmer un façonnage sur une moitié de diamètre après fendage.

La position de sa section par rapport au centre du diamètre reconstruit montre une façonnage déporté à l'intérieur de la courbure. La densité mesuré indique une pièce de bois choisie plus dense que la moyenne donnée pour ce bois. Enfin on lit facilement une torsion d'incidence positive marqué en extrémité de la pale d'attaque. L'évaluation du diamètre est inférieure au diamètre réel connu utilisé pour le façonnage de cet objet ce qui confirme que cet évaluation est un diamètre minimum, du bois externe ayant été retiré lors de l'opération.

Boomerang Mulga(annexe 3.2),

Boomerang en She-oak(annexe 3.3)

Mulga et casuarina sont des bois typiquement utilisés pour les bâtons de jet aborigènes et les boomerangs. Les images sur ces boomerangs confirme ma construction sur le cœur de pièce de bois courbe dont le diamètre évalué correspond au diamètre utilisé effectivement. On observe parfaitement le décalage de la forme du boomerang en casuarina vers l'intérieur de la courbure en raison de l'enlèvement d'une partie opposée dégradée par des insectes. Le boomerang en Mulga a quand à lui subit un enlèvement à l'extérieur de la courbure sur sa pale d'attaque, à l'extérieur du coude et à l'intérieur de sa pale de suite.

Le diamètre évalué est en bon accord avec celui de la pièce de bois utilisée. La densité calculé est en bon accord avec la moyenne enregistrée pour ce bois, particulièrement dense comparé à des essences européennes. On distingue du premier coup d'œil le réglage de la pale d'attaque en incidence positive alors que la pale de suite reste assez neutre.

Bâton de jet en jujubier(annexe 3.4)

Un autre objet, un bâton de jet en jujubier apparaît taillé sur le cœur d'une branche de diamètre d'environ 7 cm, décalé sur une moitié. En réalité le diamètre de la branche était supérieur d'environ 10 cm.

En effet ce bâton de jet a nécessité beaucoup d'enlèvement de matière et presque l'ablation d'une moitié de diamètre pour se débarrasser d'une partie de bois dégradé attaqué par les insectes.

On peut aussi observer un façonnage de la pale d'attaque le long de l'intérieure de la courbure de la pièce de bois alors que la pale de suite a été taillée plutôt en extérieur de celle ci. La densité est en bon accord avec la valeur théorique pour cette essence.

Bâton en buis(annexe 3.5)

Les images confirme pour ce bâton de jet une construction centrée sur cœur et le diamètre évalué est proche de celui utilisé. Bon accord de la densité calculée avec la valeur théorique pour ce bois.

Visualisation d'une torsion en incidence positive en pale d'attaque destiné à faire planer à plus longue distance ce bâton de jet.

Bâton de jet jumeaux en charme(bg32) & (bg33)(annexe 3.6-3.8)

Les images de ces bâtons de jet montre bien que leur façonnage a été centré sur des moitiés de diamètres. Celui ci a été calé à l'intérieur de la courbure de la pièce de bois. L'évaluation du diamètre de la pièce de bois et proche de celle réellement utilisée. La densité calculée pour chacune de ces pièces reflète la valeur donnée pour cette essence et très proche l'une de l'autre puisqu'il s'agit en fait de la même pièce coupé en deux.

Si on recale les deux pièces a l'aide des cernes on peut s'apercevoir que l'une des pièces a été façonnée en l'inversant par rapport à l'autre, ceci afin de minimiser l'enlèvement de matière entre les deux pièces et utiliser un diamètre minimum(1). Néanmoins on observe que l'enlèvement a eu lieu dans une certaine mesure pour retailer la convexité des objets et a été plus important au centre pour l'une des extrémités de la pièce de bois.

Réplique de Bâton Tun percé, charme(bl43) & (bl44)(annexe 3.9-3.11)

On peut faire les mêmes remarques pour ces deux bâtons que pour les précédents en ce qui concerne leur façonnage dans la pièce de départ. L'évaluation du diamètre est inférieure à celui utilisé puisque on réduit par enlèvement ces objets de plus faible largeur par rapport à bg32/bg33.

La densité est sensiblement différentes à celle trouvé pour les deux objets précédents même s'il s'agit du même bois, le charme. Cela montre la variabilité de densité selon la pièce de bois choisie pour la fabrication.

Dans le recalage des deux objets, on constate cette fois le faible enlèvement de matière sur le cœur en raison du choix d'un profil rectangulaire qui n'a pas nécessité de retaille conséquente de convexité sur ces faces.

On observe aussi clairement que les torsions d'incidences sont plus accentuées pour le bâton de jet bl44 que pour bl43.

Objets aborigènes dont on doit déterminer la construction

Boomerang gaucher du XIX siècle(1109)(annexe 3.12)

La faible épaisseur de l'objet(5 mm) a rendu plus difficile la lecture des images et des cernes de bois dans les coupes obtenues proches des extrémités. Malgré cela, on peut déduire que l'objet a été extrait d'une branche de grand diamètre, au moins 10 cm.

Le calcul de la densité semble indiquer qu'il ne s'agit pas de bois d'acacia mais d'un bois plus léger, peut être du casuarina relativement couramment utilisé en Australie du sud.

L'incidence positive de la pale d'attaque est très marquée et montre clairement qu'il s'agit d'un boomerang gaucher en parfait état de vol, si l'on considère d'autre part l'orientation de son profil plan convexe.

Concernant la couche noire adhérente et les traces de peintures blanches, une analyse complémentaire a été faite en spectrométrie d'absorption infrarouge.

En comparaison du spectre effectué sur la surface du bois non couverte, la surface couverte par la substance noirâtre fait apparaître de nouvelles bandes spectrales qui correspondent à la présence de résine. Celle ci ont une empreintes assez proches de ce que l'on peut obtenir sur une résine naturelle(5) de xanthorrhée(*xanthorrhoea spp*), qui était l'une des substance utilisée par les Aborigènes avec celle bien connue de spinifex(*trioda spp*)(6). Des analyses plus poussées seraient à mener pour confirmer précisément l'identification de la résine naturelle utilisée.

Les surfaces couvertes de traces de pigment blanc ont donné des bandes spectrales supplémentaires qui correspondent à la présence d'argile(7). Probablement de la kaolinite ou argile blanche qui est un pigment préhistorique courant, a été utilisée pour décorer ce boomerang.

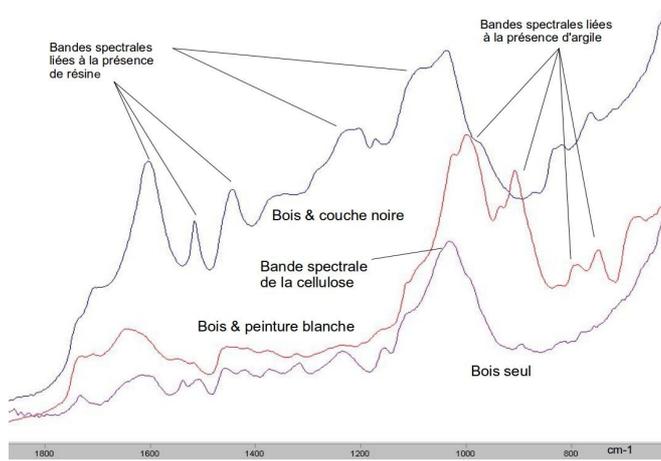


Fig 15 : Spectres d'absorption infrarouge de la surface du boomerang. De bas en haut: Analyse sur zone de bois non couverte montrant uniquement le signal de la cellulose du bois, sur zone de peinture blanche et sur zone avec couche noirâtre.

Bâton de jet du centre rainuré du début du XX siècle(1017)
(annexe 3.13)

Les images tomographiques X ont apportés pour ce type de bâton de jet plusieurs informations intéressantes :

Le profil de l'objet se situant de façon constante à une distance fixe du centre de la pièce de bois, incluse dans une moitié du diamètre, on peut en déduire que l'objet a été obtenu à partir d'un tronc fendu en deux parties. Ce résultat était attendu pour ce type de bâton de jet appelé « kylie » et construit dans la région centrale de l'Australie typiquement par cette technique de fendage destiné à fabriquer deux bâtons « jumeaux ».

Le diamètre minimum reconstruit se situe autour de 9 cm ce qui semble probable pour ce type d'objet. La densité donne une valeur élevée supérieure à l'unité qui indique qu'il s'agit probablement d'acacia, probablement du mulga(acacia aneura).

Sur les images obtenues on distingue aussi très nettement l'accentuation de la courbure donnée à l'objet au cours du façonnage. Le bois a été enlevé à l'extérieur de la courbure en extrémité et à l'intérieur de celle-ci au niveau du coude.

Bâton de jet archaïque (1123)(annexe 3.14)

Les images montrent que cet objet contrairement au précédent a été construit plus simplement, plutôt sur le cœur du bois par enlèvement périphériques. Il a été façonné en suivant l'extérieur de la courbure de la pièce de bois pour la minimiser ou chercher le meilleur bois.

Cette observation est en accord avec ce que l'on envisage ethnologiquement pour ce type de bâton de jet plus massif et assez archaïque.

Le diamètre minimum reconstitué est de 9 cm et la densité trouvée est très élevée, 1.33 indique probablement un espèce d'acacia particulièrement dense ou un choix d'une partie très dense d'une espèce à moindre densité.

Conclusions

L'imagerie par tomographie à rayon X est parfaitement complémentaire du relevé manuel effectué sur chaque objet et de l'examen et analyse de surface concernant des couches de pigment résine et graisse qui ont pu intervenir sur ce type d'objet. Cette technique vient apporter l'information interne qui montre comment ces objets ont été façonnés de manière à s'adapter aux pièces de bois naturelles(tronc, branche ou racine) qui complète l'information aérodynamique déduite de mesures de masse, surface, de profil, d'épaisseur et torsions et celle pouvant être

apportés par des techniques d'analyse de surface et traceologie du bois. De cette façon, on peut comprendre mieux la construction de l'objet, sa trajectoire, son usage et sa valeur culturelle ou symbolique.

Le balayage des objets construits par paire montre que la technique d'imagerie tomographique peut servir à associer deux bâtons de jet ou boomerangs qui ont été construits de cette manière, ce qui peut être utile en cas de doute sur certaines paires d'objets de ce type séparés dans une collection plus vaste d'un musée, de façon à reformer les paires construites dans une même pièce de bois.

Une amélioration de la lecture de construction des objets de faible épaisseur, comme les boomerangs par exemple, aura besoin d'une plus grande résolution par coupe.

Les diamètres évalués à partir des images comparées aux diamètres réels utilisés pour la série d'objets de référence confirme que la valeur trouvée est toujours inférieure ou égale à la valeur réelle, puisque un enlèvement périphérique peut avoir eu lieu(écorçage, recherche de bois plus dur au centre de la pièce de bois)

En outre la tomographie X permet d'obtenir une image très précise de l'objet en 3D constituant un relevé virtuel précieux quand on connaît la difficulté de conservation des objets en bois à long terme. Cela permet une manipulation virtuelle, qui aide à visualiser facilement réglages en torsion et profils. Ce relevé 3D pourra servir également à fabriquer des copies de l'objet en résine, si besoin.

Enfin l'imagerie interne de ces objets en bois vient compléter d'autres informations d'analyse de surface qu'il est possible d'obtenir par exemple en spectrométrie infrarouge.

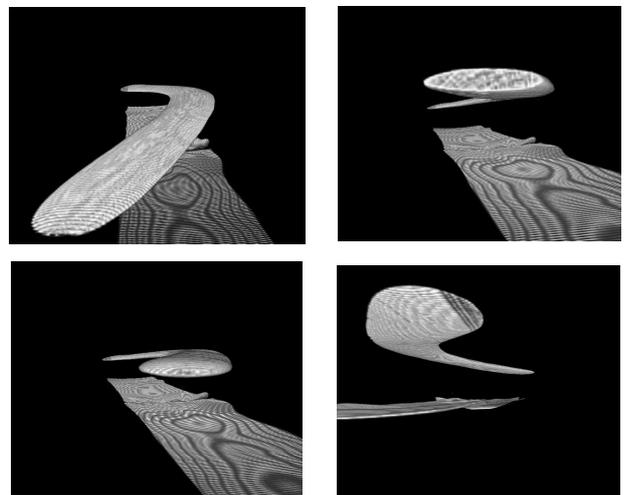


Fig 16 : Exemple d'une reconstruction 3D sur l'objet 1107 à partir des sections tomographiques(logiciel imageJ, 3d Viewer)

Notes:

1 Bâton de jet:

Le terme de bâton de jet est général, et désigne un outil constitué d'une ou plusieurs pièces de bois ou plus rarement d'autres matériaux naturels formant entre elles un angle de 0 à 180 degré. Ces pièces sont généralement appelées pales, plus ou moins taillées, est lancé en rotation dans les airs, dans un plan de rotation. Les boomerangs étant seulement une catégorie particulière et spécialisée de bâtons de jet à la trajectoire avec retour.

2 Boomerangs

Ma terminologie dans cet article sera d'utiliser le terme boomerang uniquement pour les objets qui possèdent une trajectoire incurvée approchant 180° par rapport au lanceur. En fait plusieurs mots en différents langages Aborigènes du sud est de l'Australie (exemple bargan, boomari), qui ont donné plus tard le mot créé artificiellement de « boomerang », étaient clairement rattachés à des bâtons légers retournant. Plus tard les colonisateurs firent la confusion entre les différents types de bâton de jet en plaçant sous la même appellation, bâtons retournant légers et bâtons de chasse plus lourds. Cette confusion se poursuit aujourd'hui. D'un autre côté, la classification des bâtons de jet et des boomerangs est un point qui va bien au-delà du sujet traité dans cet article.

3 Extrados/Intrados

La face d'un bâton de jet orienté vers le sol ou vers l'extérieur de la trajectoire pendant son vol, est appelé intrados. L'autre face, souvent visible par le lanceur est appelé extrados et constitue le « dessus » de l'objet. C'est celle qui est le plus couramment décoré.

4 Pale d'attaque:

Pour le bâton de jet les deux pales ne sont pas équivalentes aérodynamiquement. Celle dont le bord extérieur à la courbure parcourt le plus grand angle dans le sillage de l'autre est appelée pale d'attaque. L'autre pale est par conséquent nommée pale de suite. Parcourant un angle plus important que l'autre, la pale d'attaque acquiert aussi un effet de poussée intrinsèque, toujours plus important que la pale de suite.

Cette pale est pour le lancer de style Aborigène le plus souvent la pale de préhension car c'est la préhension qui imprime le plus de rotation à l'objet, mais ce n'est pas obligatoirement le cas. La pale d'attaque est finalement définie aérodynamiquement avec le sens de rotation de l'objet par son plus grand angle balayé indépendamment de la préhension de l'objet au moment de son lancer.

5 Incidence

Angle formé entre le plan passant par médiane à la section transversale au niveau du coude d'un bâton de jet et le plan passant par la section d'une extrémité de pale. Il s'agit donc des torsions transverses aux pales d'un bâton de jet ou d'un boomerang à ne pas confondre avec les angles dièdres qui sont des torsions longitudinales de ces pales. Les incidences sont critiques pour régler le vol d'un bâton de jet à vol droit ou retournant.

Bibliographie :

(1) Splitting twin throwing sticks
Bulletin of Primitive Technology, fall 2010: N°40
Luc Bordes 2010

(2) Boomerang Behind an Australian Icon Philip Jones 1996

(3) Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T. & Leban J-M. , 2009. Measuring wood density by means of X-rays computer tomography. Annals of forest science

(4) A study of traditional throwing sticks and boomerang tuning
Bulletin of Primitive Technology
Luc Bordes 2011

(5) Susan Valis
AICCM Bulletin Volume 17 Numbers 1&2 (1991), pp.

(6) Michele Derrick
Journal of the American Institute for Conservation
Vol. 28, No. 1 (Spring, 1989), pp. 43-56

(7) Vacullikova, L., Plevova, E., Vallova, S., & Koutnik, I.,
Acta Geodyn. Geomater., Vol. 8, No. 1 (161), 59–67, 2011

Remerciements

Stephane Jacob – ART AUSTRALIE
pour le prêt des pièces ethnologiques de sa collection

Charline Freyburger
Centre INRA de Nancy
Équipe Qualité des bois
LERFoB Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois
UMR INRA-ENGREF

Pour la mise en œuvre de la plateforme d'imagerie tomographique
X

ANNEXE 1

Profil, classe, préhension, bois, densité théorique et densité calculée

Designation	Profil	Type	Préhension	Bois	Densité du bois théorique
bo15	Planconvexe	Boomerang	Droitier	Allocasuarina huegeliana	0.7-0.9
bo11	Planconvexe	Boomerang	Droitier	Acacia aneura	0.91-1,09
bo25	Planconvexe	Boomerang	Droitier	comouillet	0.8-0.95
bg32	quasi biconvexe	Bâton de jet lourd	Droitier	charme	0,8-1
bg33	quasi biconvexe	Bâton de jet lourd	Droitier	charme	0,8-1
bl43	rectangulaire	Bâton de jet typique	Ambidextre	charme	0,8-1
bl44	rectangulaire	Bâton de jet typique	Ambidextre	charme	0,8-1
bc47	Biconvexe	Bâton de jet typique	Droitier	buis	1
bc38	Biconvexe	Bâton de jet typique	Droitier	jujubier	1
1109	Planconvexe	Boomerang	Gaucher	inconnu	inconnu
1107	Biconvexe	Bâton de jet typique	Droitier	inconnu	inconnu
1123	Elliptique	Bâton de jet lourd	Droitier	inconnu	inconnu

Masse, surface, Dimensions

Designation	masse g	Surface cm2	Rapport poids/surface g/cm2	Envergure cm	Hauteur cm	Rapport Hauteur/Envergure
bo15	80	162	0,49	49	11,5	0,23
bo11	95	181,7	0,52	39	15,5	0,4
bo25	139	221	0,63	57	14,5	0,25
bg32	504	441	1,14	71	14	0,2
bg33	514	433	1,19	72	14,5	0,2
bl43	153	155	0,99	32	19	0,59
bl44	133	135	1,08	38	17	0,45
bc47	338	312	1,13	58	12	0,21
bc38	328	291	1,08	64,5	14,5	0,22
1109	69	193	0,36	42	17	0,4
1107	447	436,51	1,02	71	15	0,21
1123	575	300,55	1,91	79	10	0,13

Réglages des torsions (en mm)

Designation	Diedre pale d'attaque	Incidence pale d'attaque	Diedre pale de suite	Incidence pale de suite
bo15	2	1	10	3,5
bo11	-5	6	6	0,5
bo25	4	3	7	-1
bg32	-4	-1,5	0	-0,5
bg33	-3	0	-6	0
bl43	-3	2	-1	1,5
bl44	-5	1,5	-2	-2,5
bc47	0	1,5	2	2,5
bc38	5	1	3	-0,5
1109	3,5	5,5	6	1,5
1107	3	-4,5	4	0
1123	1	-2,5	0	5,5

Epaisseur, largeur, rapport epaisseur/largeur, type de vol et portée envisagée ou observée

Designation	Epaisseur Moyenne	Largeur Moyenne	Rapport E/L moy	type de vol	portée max(m)
bo15	6,67	28	0,24	elliptique haut, retour	30
bo11	6	37,67	0,16	circulaire bas, retour	25
bo25	9	30	0,3	vol haut elliptique, retour	30
bg32	16,67	50	0,33	droit	80
bg33	17	50	0,34	droit	80
bl43	12,67	31,67	0,4	droit légèrement montant	60
bl44	14	33,33	0,45	droit légèrement montant	50
bc47	13,33	58,33	0,4	droit	80
bc38	15,33	36,67	0,42	droit	70
1109	5	37,33	0,13	vol haut retour*	30*
1107	12	58,33	0,21	droit bas*	80-100*
1123	14,67	36,67	0,4	droit*	40-50*

* prévu en fonction des caractéristiques relevées

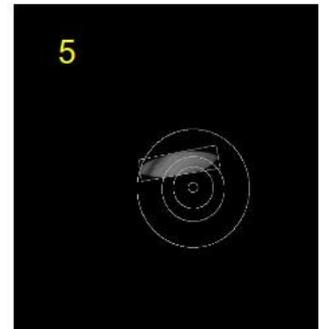
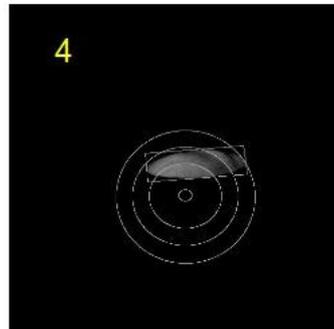
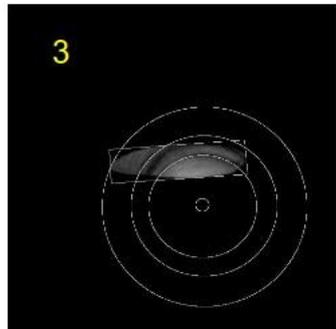
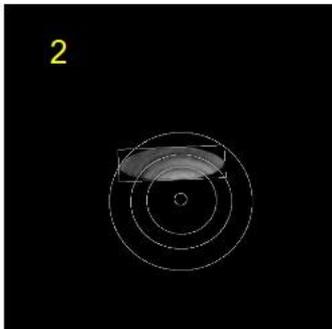
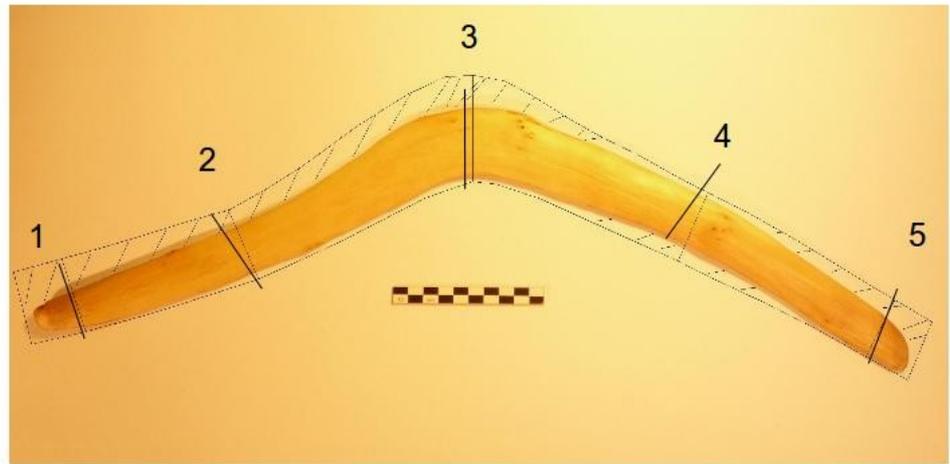
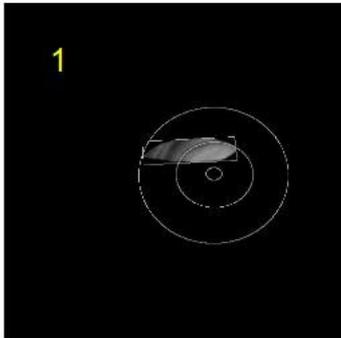
ANNEXE 2

Désignation	Type de Construction et façonnage proposé d'après images	Évaluation du diamètre minimum d'après les images	Évaluation de la Densité
Boomerang gaucher australie méridionale 1109	Taillé dans un tronc de grand diamètre	10 cm	0,93
Bâton de jet rainuré du désert central 1107	Façonnage sur moitié d'une pièce de bois courbe après fendage. Accentuation de la courbure par enlèvement à l'extérieur de la courbure en extrémité et à l'intérieur du coude	8-9 cm	1,23
Bâton archaïque d'australie de l'ouest 1123	Façonnage sur coeur d'une pièce de bois légèrement courbée, décalée sur la partie externe et façonnée en suivant la plus faible courbure	7-9 cm	1,33
Bâton de jet en jujubier bc38	Connue : Sur pièce de bois courbe , façonnage autour du coeur décalé sur moitié Décalé vers l'intérieur de la courbure en pale d'attaque et extérieur en pale de suite	6-7 cm	0,94
Boomerang en cornouillet bo25	Connue: Sur moitié de pièce de bois courbe , après fendage, forme décalée sur l'intérieur de la courbure	5-7 cm	0,99
Bâton de jet en charme bg32	Connue: Façonnage sur moitié d'une pièce de bois courbe après fendage. forme déporté sur l'intérieur de la courbure	7-9 cm	0,86
Bâton de jet en charme bg33	Connue: Façonnage sur moitié d'une pièce de bois courbe de 8-9 cm de diamètre après fendage. forme déporté sur l'intérieur de la courbure	7-9 cm	0,87
Réplique de bâton de jet du tchad bl43	Connue: Construction sur moitié de branche coudée après fendage,forme déporté sur l'intérieur de la courbure	5-7 cm	0,77
Réplique de bâton de jet du tchad bl44	Connue: Construction sur moitié de branche coudée après fendage,forme déporté sur l'intérieur de la courbure	5-7 cm	0,78
Bâton de de jet de style « Lil Lil » en buis bc47	Connue: Construction sur coeur d'une pièce de bois centrée	4-8 cm	1,09
Boomerang en casuarina bo15	Connue: Construction sur coeur d'une pièce de bois courbe de 6 cm de diamètre. Forme déporté sur intérieur de la courbure	5-6 cm	0,99
Boomerang en mulga bo11	Connue: Construction sur coeur d'une pièce de bois courbe de 8 cm de diamètre. Forme déporté en pale d'attaque vers l'intérieur de la courbure, mais vers l'extérieur en pale de suite	7-8 cm	1,15

Annexe 3.1

Boomerang en cornouillet contemporain, collection personnelle bo25

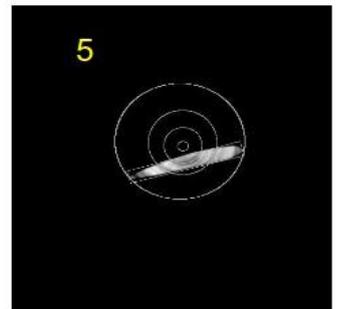
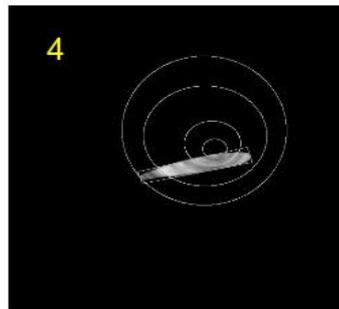
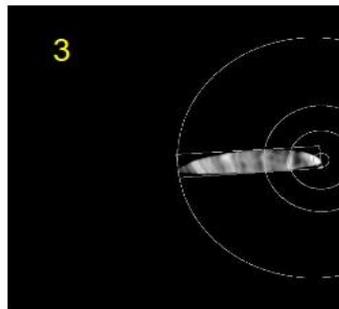
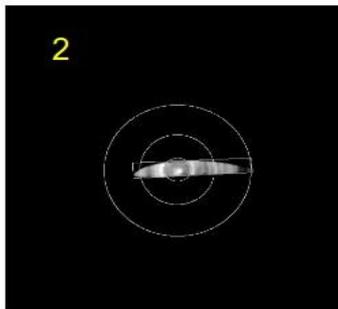
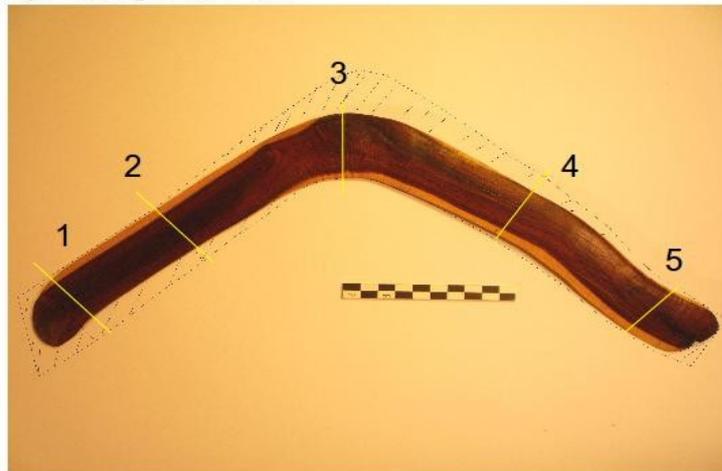
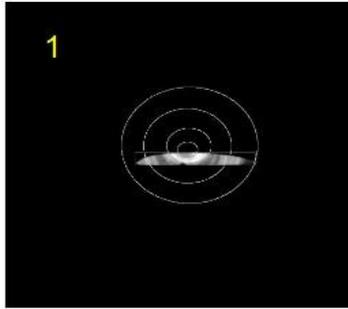
- Construction sur moitié de branche de 7 cm de diamètre après fendage,
- Accentuation de la courbure par enlèvement à l'extérieur
- Diamètre minimum évalué d'après images 5-7 cm



Annexe 3.2

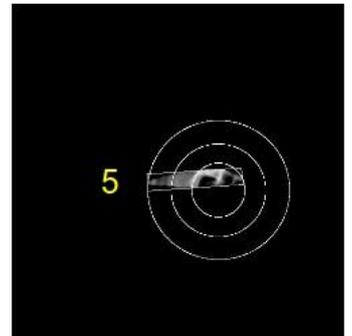
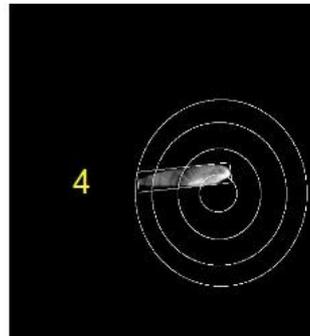
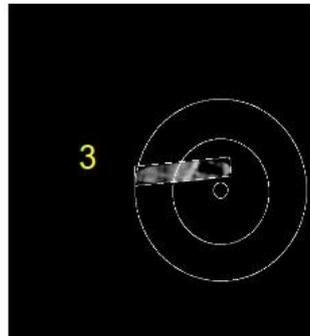
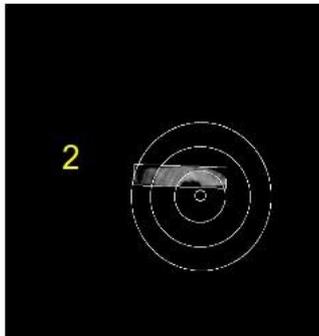
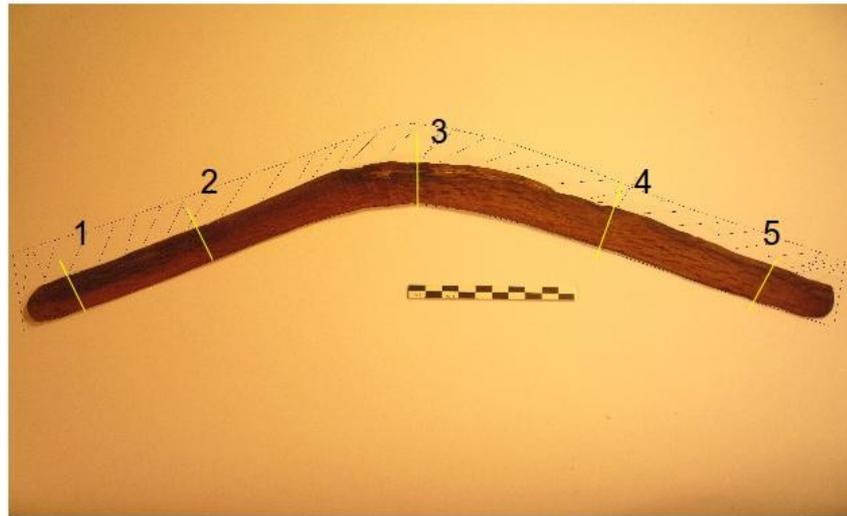
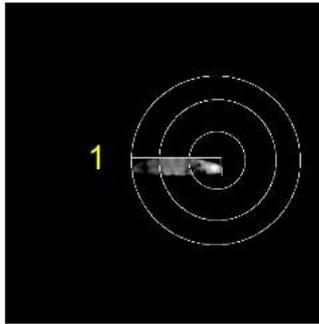
Boomerang contemporain en Mulga, collection personnelle

- Construction sur coeur
- Forme Decalée sur l'intérieur pour la pale d'attaque et coude, à l'extérieur pour la pale de suite
- Diamètre de bois moyen évalué d'après images : 7-8 cm



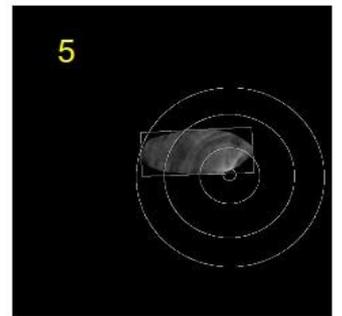
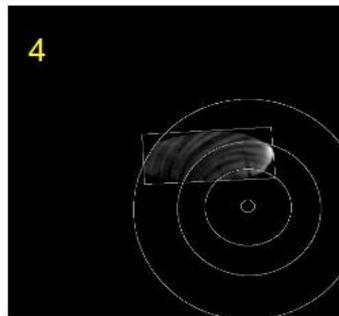
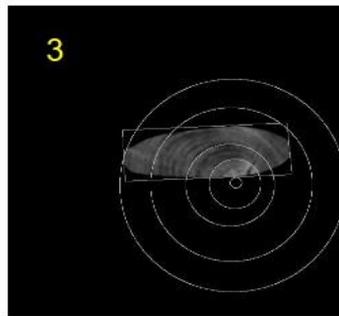
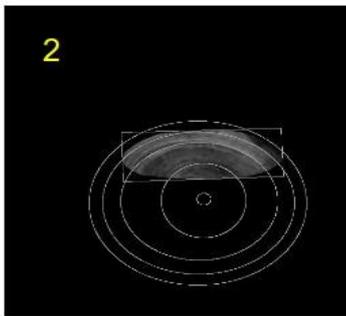
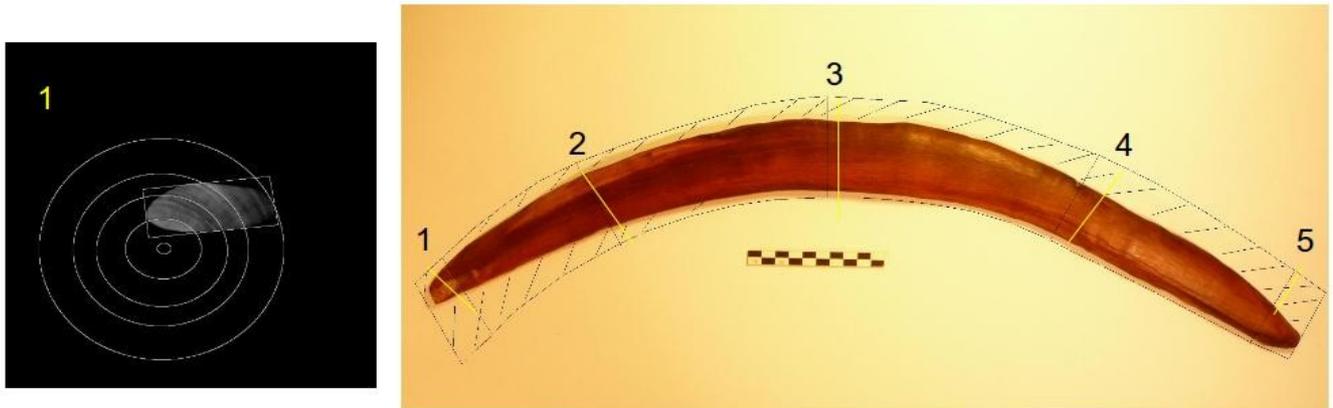
Annexe 3.3 Boomerang contemporain en *Casuarina Huegueliana*, collection personnelle

- Façonnage sur coeur sur l'interieur de la courbure en raison de trous d'insectes
- Diamètre minimum de bois évalué d'après images: 5-6 cm



Annexe 3.4 Bâton de jet contemporain, collection personnelle, en jujubier

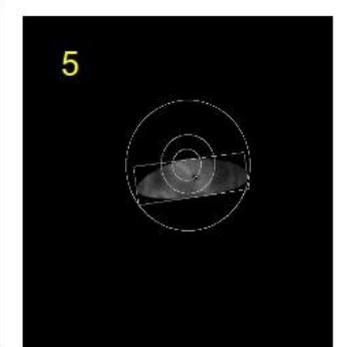
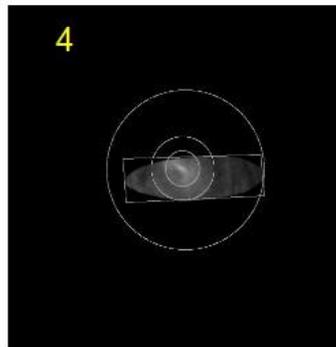
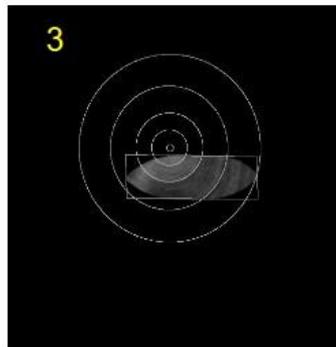
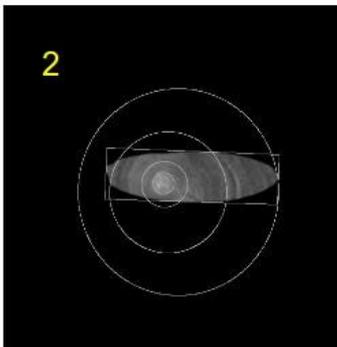
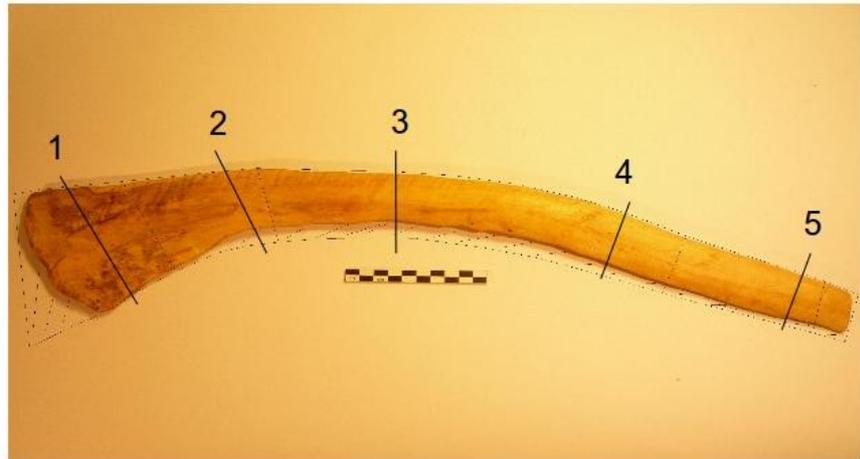
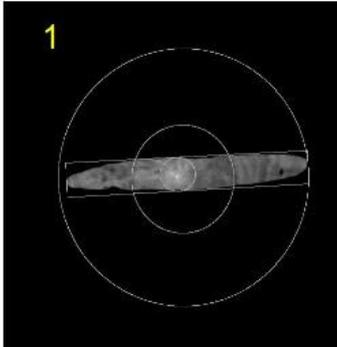
- Construction sur coeur après enlèvement d'une moitié trop dégradée, diamètre de 9- 10 cm
- Evaluation du diamètre d'après images 6 - 7 cm.
- Façonnage sur courbure intérieure pour la pale d'attaque, extérieure pour la pale de suite



Annexe 3.5

Bâton de jet de type « Lil Lil » en bois contemporain, collection personnelle

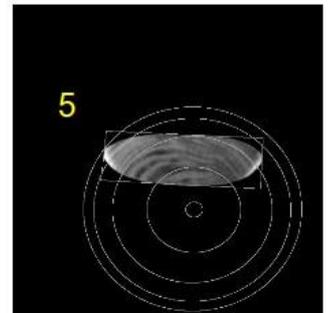
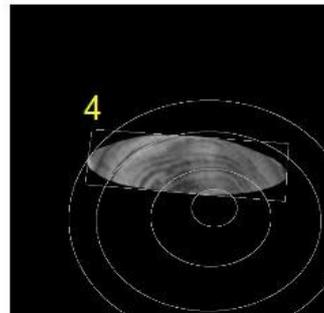
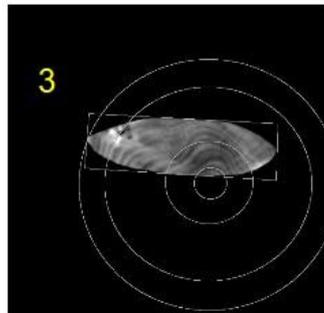
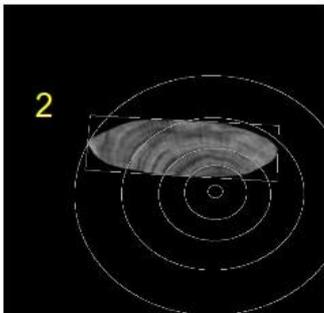
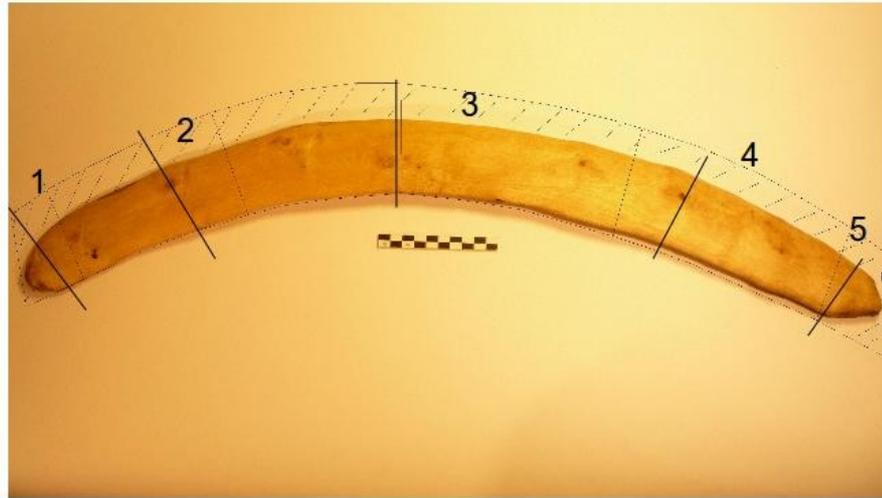
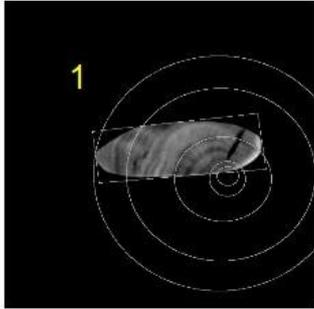
- Construction sur coeur d'un tronc de bois de 4-5 cm, partie large sur racine
- Diamètre évalué d'après images : 4 cm(tronc) - 8 cm(racine)



Annexe 3.6

Bâton de jet en charme contemporain, collection personnelle(bg32)

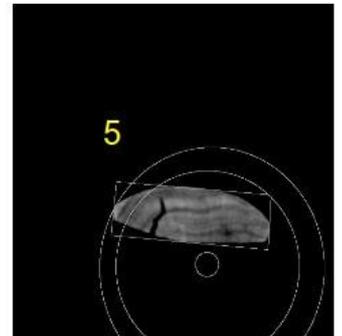
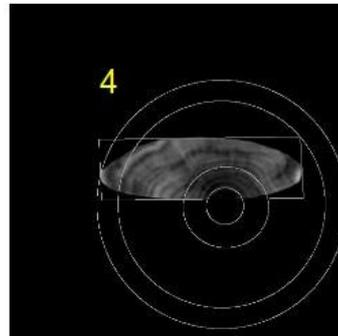
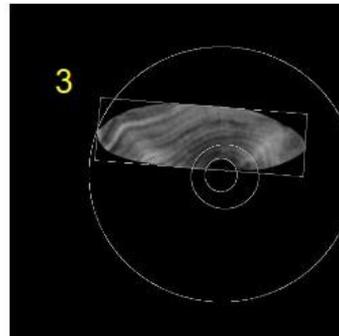
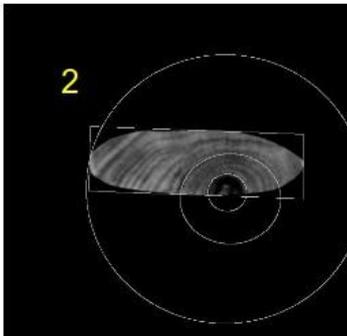
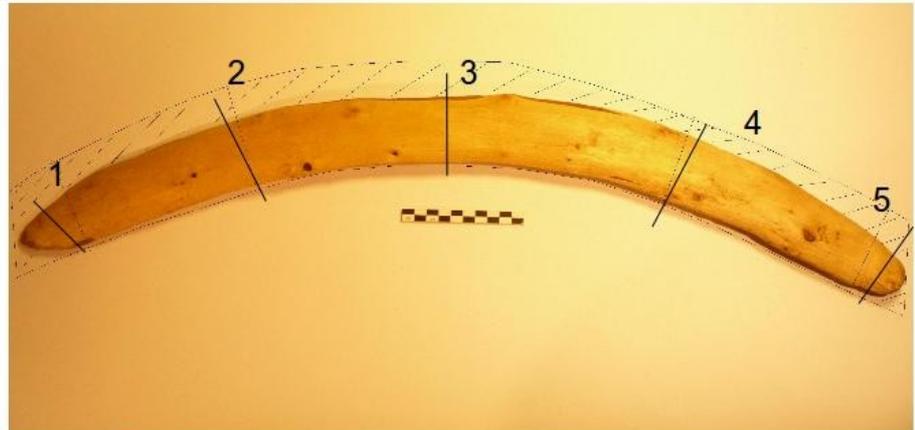
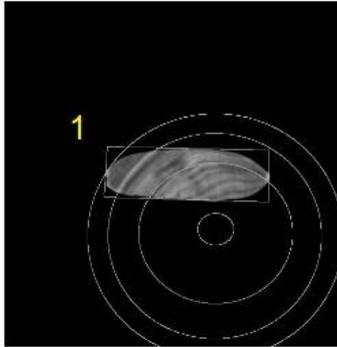
- Construit par paire, par fendage d'une branche de 8-9 cm de diamètre
- Décalage de la forme sur courbure intérieure,
- Evaluation d'après les images du diamètre mini : 7- 9 cm



Annexe 3.7

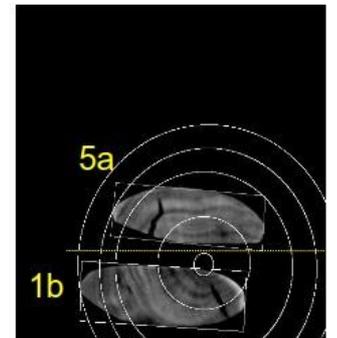
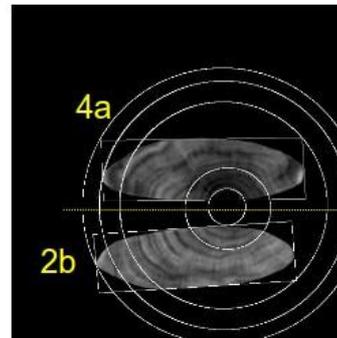
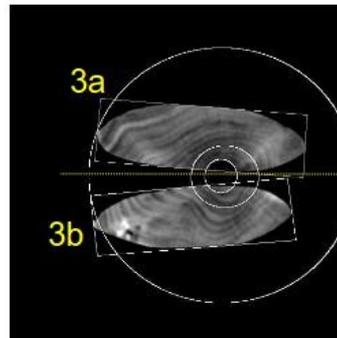
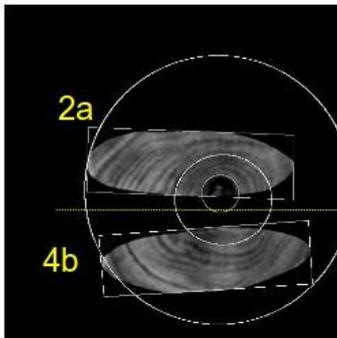
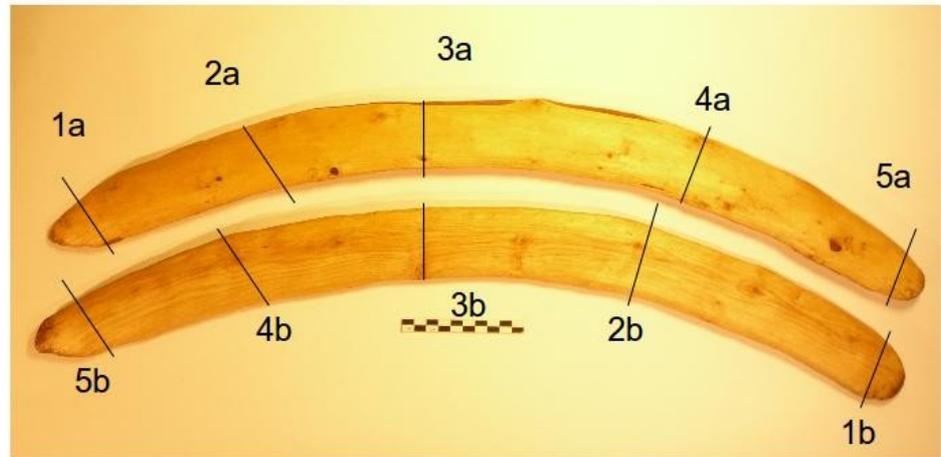
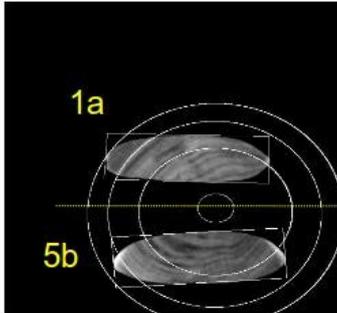
Bâton de jet en charme contemporain, collection personnelle(bg33)

- Construit par paire par fendage d'une branche de 8-9 cm de diamètre
- Decalage de la forme sur l'interieur de la courbure,
- Diamètre mini évalué d'après images : 7-8 cm



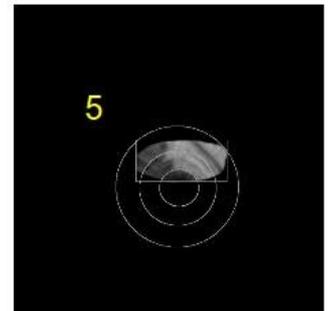
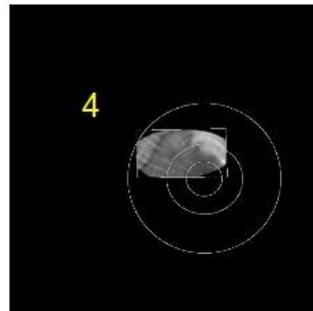
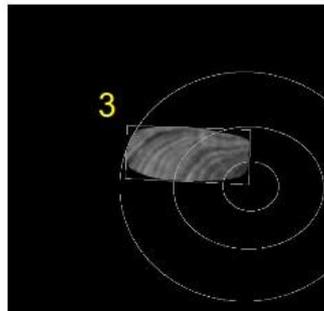
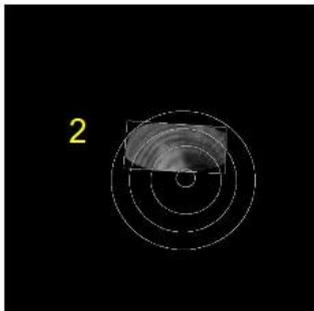
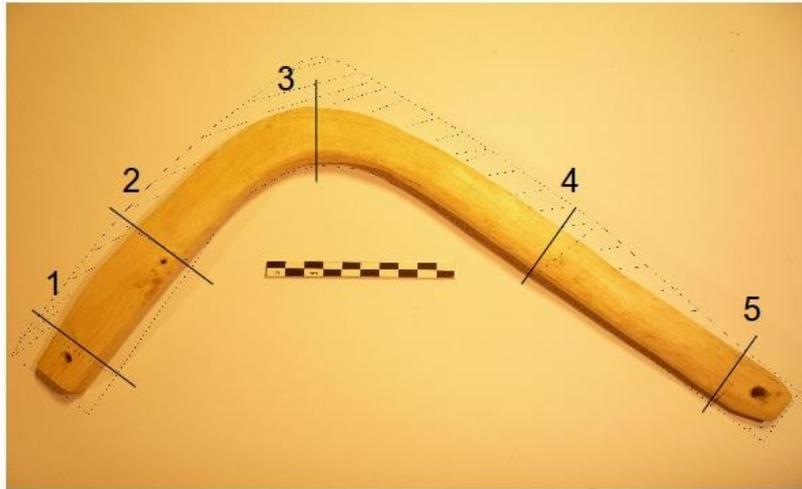
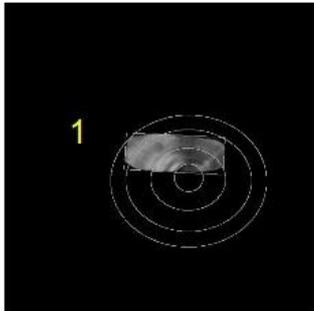
Annexe 3.8 Paire de bâtons de jet lourd en charme, collection personnelle

- Façonnage sur moitié, après fendage d'une branche de 8-9 cm de diamètre avec des coins de bois.
- Intrados des deux pièces se faisant face vers le coeur



Annexe 3.9 Bâton de jet contemporain, réplique d'un bâton africain Tun originaire du Tchad(bl43)

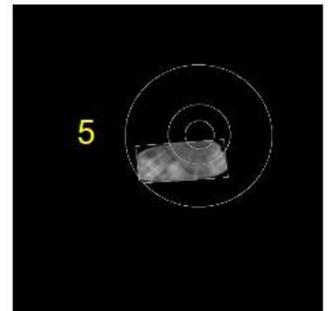
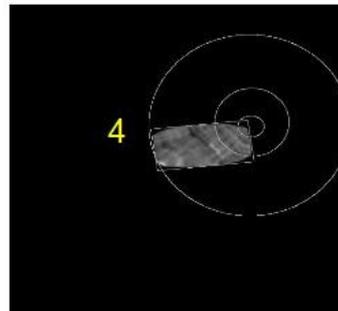
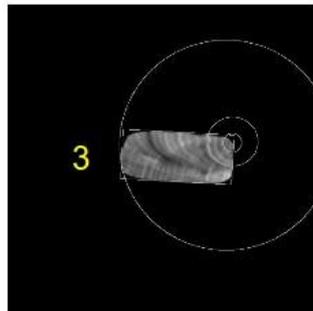
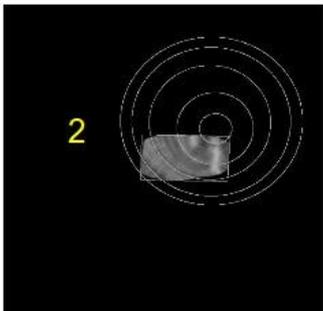
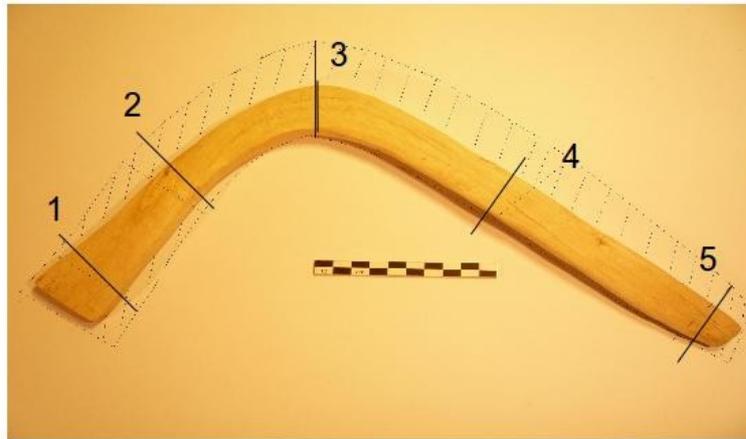
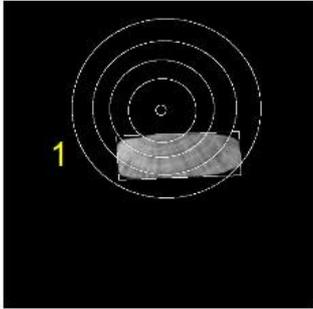
- Construit sur moitié après par fendage d'une pièce coudée 7-9 cm de diamètre
- Evaluation du diamètre mini de bois d'après images 5-7 cm
- Façonnage sur l'intérieur de la courbe



Annexe 3.10

Bâton de jet contemporain, réplique d'un bâton africain Tun originaire du tchad(bl44)

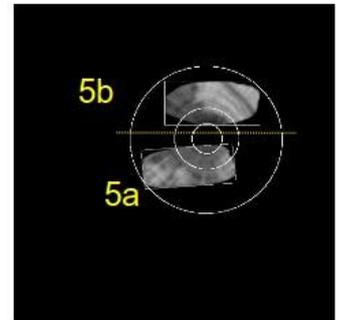
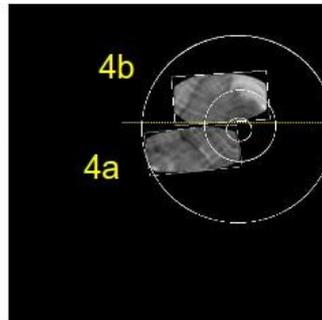
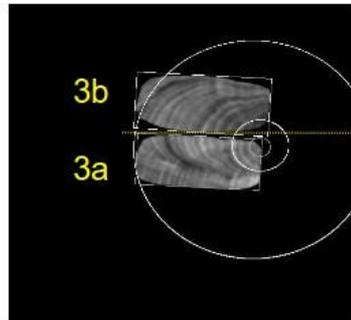
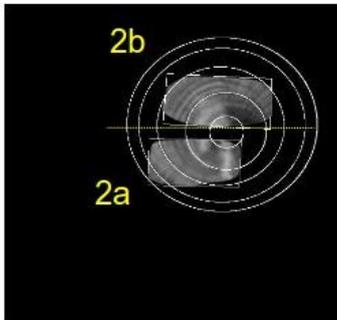
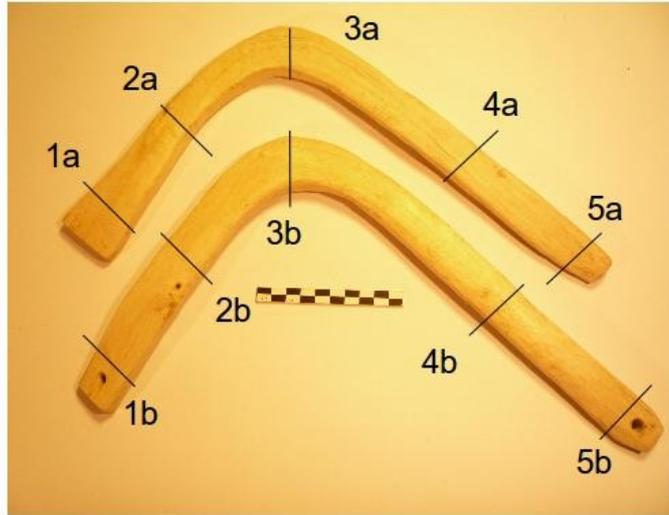
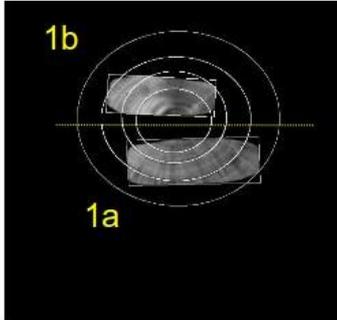
- Construit sur moitié après fendage d'une pièce de bois de 7-9 cm de diamètre
- Evaluation du diamètre mini de bois d'après images: 5-7 cm
- Façonnage sur l'intérieur de la courbure.



Annexe 3.11

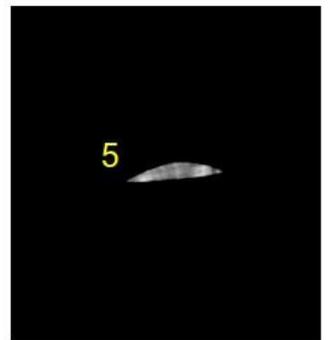
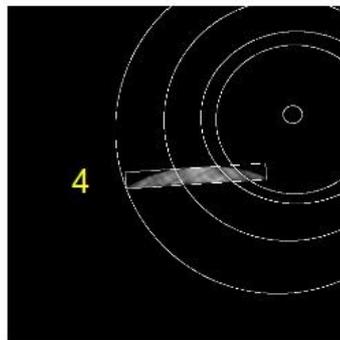
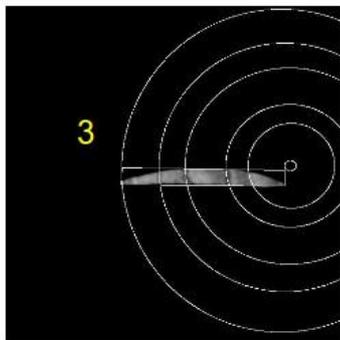
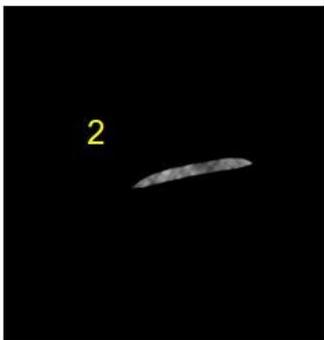
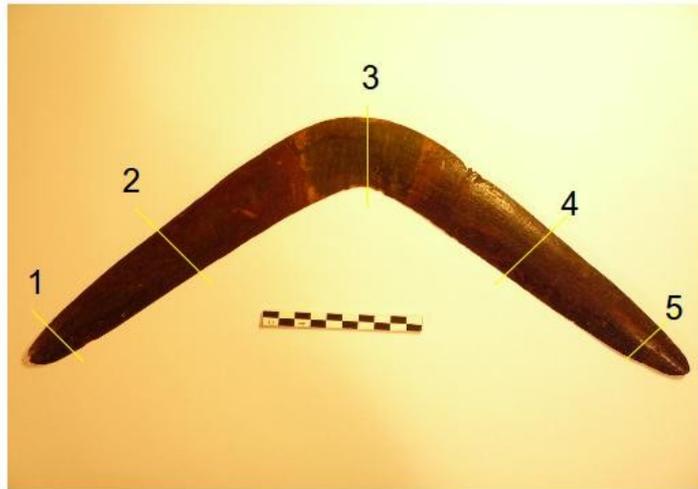
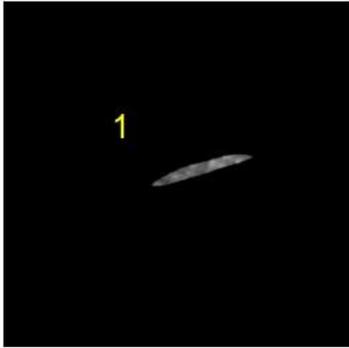
Replique de bâton léger Tun en charme, collection personnelle

- Construction sur moitié après fendage à la hache en métal d'une pièce coudé de 7-9 cm de diamètre,
- Extrados des deux pièces orientées vers le haut



Annexe 3.12 Boomerang daté de 1800 d'australie méridionale

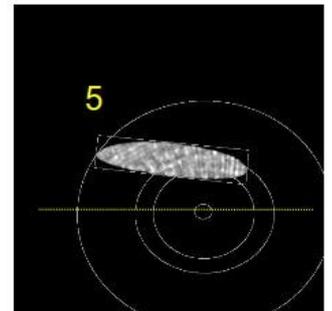
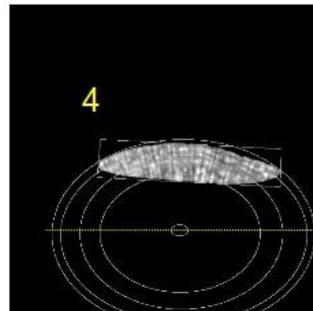
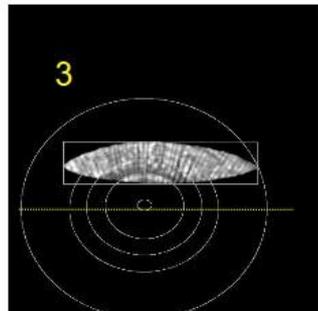
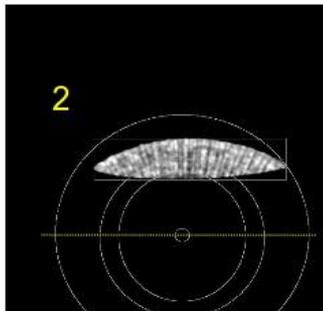
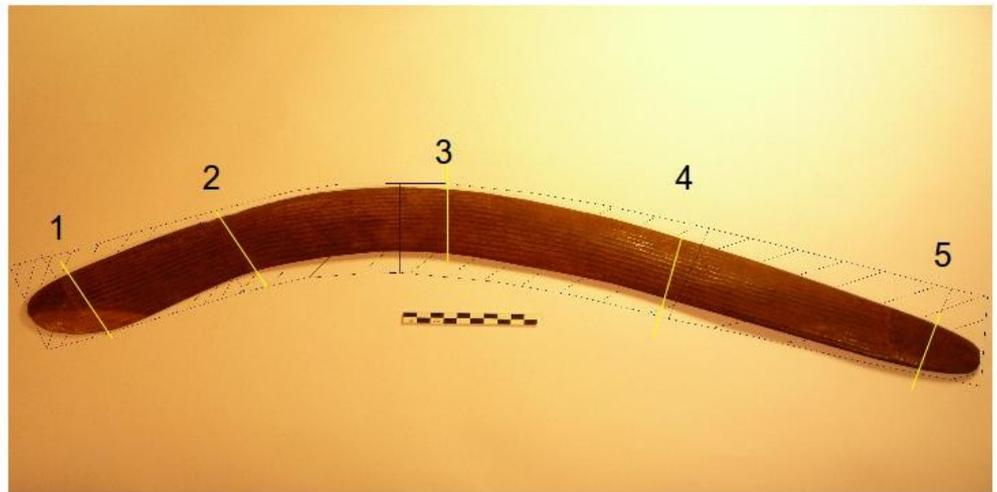
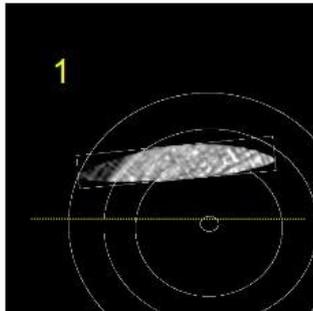
- Construction sur la tranche d' une pièce de bois de grand diamètre, 10 cm minimum.



Annexe 3.13

Bâton de jet rainuré du désert central n°1107

- Construction sur moitié par fendage
- Evaluation du diamètre de bois d'après images: 8-9 cm
- Accentuation de la courbure à l'extérieur des pales



Annexe 3.14

Bâton archaïque d'australie de l'ouest

- Façonnage sur cœur
- Façonnage décalé sur l'extérieur de la courbure de la pièce de bois, sur la partie externe
- Evaluation du diamètre minimum 7-9 cm

