



HAL
open science

Apports de la restitution et de la contextualisation des machines de siège de Vitruve et d'Apollodore de Damas

Karim Sammour

► To cite this version:

Karim Sammour. Apports de la restitution et de la contextualisation des machines de siège de Vitruve et d'Apollodore de Damas. Colloque international - Autour des machines de Vitruve. L'ingénierie romaine: textes, archéologie et restitution, Jun 2015, Caen, France. pp.31-49. hal-01726907

HAL Id: hal-01726907

<https://hal.science/hal-01726907v1>

Submitted on 9 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

APPORT DE LA RESTITUTION ET DE LA CONTEXTUALISATION DES MACHINES DE SIÈGE DE VITRUVÉ ET D'APOLLODORE DE DAMAS

Les mentions des machines de siège abondent dans la littérature ancienne, tant dans les récits de siège que dans les traités techniques. Ces machines répondent toutes à trois objectifs du siège dans l'Antiquité : la nécessité de s'élever, de se protéger et de détruire. Les tours, les échelles, les observatoires et les terrasses répondent à la première problématique ; les protections sont assurées par les tortues, par les couvertures plus ou moins légères d'osier et de planches et par les tunnels et les galeries ; l'artillerie, les béliers et les opérations de mines permettent la destruction des fortifications. Tenter de hiérarchiser l'importance des machines lors du siège serait cependant une opération vaine, chaque machine possédant un intérêt et une fonction qui lui sont propres. Certaines machines, en raison de leur relative simplicité, ont fait l'objet d'un traitement moindre par l'historiographie, sans que cela coïncide avec leur fréquence d'apparition dans les récits, et l'artillerie domine ainsi les recherches sur les machines de siège, de même que la tortue d'Hégéor. Cette dernière, impressionnante par sa taille et sa complexité, est l'une de celles qui a le plus fasciné dans l'historiographie sur la poliorcétique. Les machines de siège comme les tortues, les béliers et les tours de siège, *a priori* moins complexes, ne sont cependant pas dénuées d'intérêt.

Cette étude propose d'aborder certains aspects de la logique de machines suffisamment détaillées par les textes, de leur construction à leur utilisation, afin de procéder à leur restitution. Trois *commentarii* peuvent être sollicités : le *De Architectura* de Vitruve et le *Traité des machines* d'Athénée le Mécanicien, deux ingénieurs du I^{er} siècle av. J.-C., et la lettre à Hadrien d'Apollodore de Damas, un ingénieur du début du II^e siècle apr. J.-C. Selon Frontin, qui écrit entre 84 et 96 apr. J.-C., l'ensemble de la période concernée par ces trois traités connaît peu d'évolutions en matière de technologie militaire :

J'ai laissé de côté les ouvrages et machines de guerre, domaine dans lequel on n'a depuis longtemps rien inventé et où je ne vois rien de neuf à apporter¹.

1. Frontin, *Les stratagèmes*, trad. P. Laederich, p. 173.

Vitruve et Athénée décrivent trois mêmes tortues : les tortues dites de « terrassiers » (fig. 1)², « fortin » (fig. 2) et « de mineurs » (fig. 3) ; Apollodore de Damas évoque une tour de siège (fig. 4) et un bélier (fig. 5)³. Ces cinq machines de siège sont suffisamment détaillées par les traités pour que l'on puisse proposer des hypothèses de restitution virtuelle.

La restitution des machines amène à s'interroger sur les sections des pièces de bois et sur leur manutention, ainsi que sur les problématiques liées au transport et au déplacement des machines. Leur mise en contexte apporte un éclairage sur la structure et le fonctionnement des *machinae*.

La section des pièces de bois et leur manutention⁴

Les cinq machines susmentionnées font l'objet d'une description précise et il peut sembler étonnant que, malgré le soin apporté à cette description, seules cinq sections de pièces de bois apparaissent (tableau 1), avec des longueurs pouvant quant à elles varier.

Poutres concernées	Hauteur (en pieds)	Épaisseur (en pieds)
Tour d'Apollodore de Damas	1,25	0,75
Bélier d'Apollodore de Damas	1,00	0,75
Base de la tortue vitruvienne	1,5	0,5
Pilier de la tortue vitruvienne	0,625	1,25
Base de la tortue d'Athénée	0,75	0,625

Tableau 1 – Section des pièces maîtresses

Une seule section apparaît pour la tour d'Apollodore de Damas : 1,25 par 0,75 p pour une longueur de 9 ou 16 p pour les montants. Les poutres de la base mesurent 16 p de long au premier niveau et se réduisent d'un pied à chaque niveau. Dans le même traité, la construction du bélier est décrite avec des poutres de sections quasiment équivalentes : 1 par 0,75 p. Ces considérations peuvent laisser penser que de telles mesures sont des ordres de grandeurs à respecter, le rapport étant la seule donnée nécessaire. Apollodore de Damas précise d'ailleurs que « s'il faut fabriquer une tour plus grande, de 40 pieds ou plus, il est nécessaire d'accroître et les longueurs et les épaisseurs et les largeurs »⁵. Son expérience d'ingénieur le conduit ensuite à choisir

2. Toutes les figures de cet article, à l'exception de la figure 13, ont été réalisées par C. Morineau (CIREVE*/UCN – Plan de Rome, France) dans le cadre de la thèse de doctorat de K. Sammour.

3. Vitr. 10, 14, 1 ; 10, 15, 1 ; Ath. Mech. 15, 9 ; 20, 3 ; Apollod., *Polior.* 153-156 ; 164-167.

4. Toutes les dimensions apparaissent en pieds romains, que nous abrégeons avec p.

5. Apollod., *Polior.* 164, trad. P. Fleury, K. Sammour.



Fig. 1 – La tortue «de terrassiers» de Vitruve



Fig. 2 – La tortue «fortin» de Vitruve



Fig. 3 – La tortue « de mineurs » d'Athénée



Fig. 4 – La tour de siège d'Apollodore de Damas



Fig. 5 – Le bélier d'Apollodore de Damas

un rapport adapté à chaque machine. Par exemple, Apollodore de Damas estime que la section des poutres du bélier n'est pas suffisante pour les poutres de la tour et il ajoute 0,25 p d'épaisseur pour compenser le poids plus important qu'elles supportent.

Athénée et Vitruve ne mentionnent chacun qu'une seule section de pièce pour la base des tortues (*fig. 6*) et chaque ingénieur utilise alors sa propre formule issue de son expérience ou de ses sources. Pour Vitruve, la section des pièces de la base mesure 1,5 par 0,5 p, tandis qu'Athénée préfère un équarrissage de 0,75 par 0,625 p. Ce dernier précise que les pièces de la base sont de sections identiques: « toutes ces pièces doivent avoir une épaisseur de dix doigts (0^m,19) et une hauteur de trois palmes (0^m,23) »⁶. Les pièces disposées au-dessus de la base sont de sections identiques selon Vitruve, élément confirmé par Athénée. Pour plus de commodité, nous les qualifions « d'antennes » (*fig. 7*): « leur épaisseur et leur largeur étant celles données à propos de la plate-forme »⁷. Vitruve précise que les piliers formant la cage de la tortue (*fig. 8*) sont formés de deux pièces de bois et doivent avoir une section totale de 1,25 p. Chaque pièce a donc un équarrissage de 1,25 par 0,625 p.

L'essentiel des forces exercées sur ces machines l'est dans un sens vertical, ce qui explique que ces pièces de bois aient toutes une hauteur plus importante que leur épaisseur. L'écart entre les sections utilisées pour la tour et pour le bélier s'explique facilement mais l'on remarque que, pour des tortues de même envergure, Athénée et

6. Ath. Mech. 15, 9; 16, 14, trad. A. de Rochas d'Aiglun.

7. Vitr. 10, 14, 2, trad. L. Callebat.



Fig. 6 – Base des tortues



Fig. 7 – Les « antennes » sur la tortue d'Athénée



Fig. 8 – Les piliers formant la « cage » des tortues

Vitruve formule des choix différents qui sont vraisemblablement dus à leur expérience. Pour une même machine, il est d'usage de ne retrouver qu'une seule section de pièce pour les différents éléments des machines, les piliers de la tortue de Vitruve faisant figure d'exception. Cette normalisation apparente des pièces laisse supposer une préparation en amont et ces textes auraient un objectif commun : permettre de préparer les pièces maîtresses des machines avant le siège, voire avant le début de la campagne militaire.

Les sections de ces pièces, associées à leur longueur et à la densité du bois, permettent d'estimer la masse de chaque poutre (*tableau 2*) mais plusieurs éléments entraînent une estimation nécessairement imprécise. L'incertitude sur les essences de bois utilisées dans le cadre des sièges ne permet de fournir qu'une estimation de la masse de chaque poutre. Le palmier, dont le tronc n'est pas composé de bois mais de fibres, est choisi par Vitruve et Athénée pour la composition des planches de couverture afin d'offrir une meilleure résistance au feu, mais rien n'indique que l'intégralité de la machine est réalisée en palmier. Ce dernier, bien que fréquent, n'est pas disponible dans toutes les régions concernées par notre étude ; il est donc improbable qu'il ait été systématiquement utilisé pour la construction des machines et d'autres essences ont aussi dû être sollicitées. Les textes anciens mentionnent l'utilisation de chênes et d'ifs comme lors du siège de Marseille⁸ ; Apollodore de Damas propose d'employer des frênes, des hêtres, des ormes ou des charmes pour la construction d'échelles⁹ ;

8. Lucan. 3, 375-462.

9. Apollod., *Polior.* 176-179.

Poutres concernées	Dimensions (en pieds)	Masse - palmier (en kg) Estimation basse	Masse - chêne (en kg) Estimation haute
Tour d'Apollodore de Damas	1,25 x 0,75 x 16	environ 209 kg	environ 372 kg
Bélier d'Apollodore de Damas	1 x 0,75 x 24	environ 248 kg	environ 441 kg
Base de la tortue vitruvienne	1,5 x 0,5 x 21	environ 226 kg	environ 402 kg
Pilier de la tortue vitruvienne	0,625 x 1,25 x 9	environ 110 kg	environ 196 kg
Base de la tortue d'Athénée	0,75 x 0,625 x 21	environ 138 kg	environ 245 kg

Tableau 2 – Section et estimation des masses des pièces maîtresses

le frêne est également conseillé pour la grue d'Athénée le Mécanicien¹⁰. Un autre facteur d'incertitude quant à la masse de chaque élément dépend du taux d'humidité du bois, qui peut être vert ou séché s'il a été préparé suffisamment en amont¹¹. De plus, au sein d'une même espèce de bois, les variations de masses volumiques peuvent atteindre 15 %¹². Une estimation basse et une estimation haute peuvent être fournies en se fondant sur la densité d'un palmier (environ 550 kg/m³) et d'un chêne encore vert (980 kg/m³).

Les masses des poutres varient d'environ 110 à 250 kg selon une estimation basse et il faudrait donc deux à cinq hommes pour manipuler ces poutres¹³. Selon l'estimation haute, les poutres pèsent entre 200 et 450 kg et nécessiteraient quatre à dix hommes pour leur manœuvre. Ces estimations permettent de relativiser les « petites pièces de bois » mentionnées par Apollodore de Damas à propos de la tour de siège¹⁴. Dans le cas de la plus grande poutre, au sol dix hommes peuvent aisément se répartir sur 24 p, mais la manipulation de certains éléments à plusieurs mètres de hauteur (jusqu'à une dizaine de mètres dans certains cas) pose problème. Le recours à des outils de chantier devait être indispensable pour construire certaines machines, des poulies aux machines de levage en passant par des échafaudages. Ces machines sont assemblées sur place, telle la tour d'Apollodore de Damas construite « près des remparts », mais le temps de montage n'est jamais détaillé.

10. Ath. Mech. 35, 4; 37, 2.

11. Un exemple de bois vert est évoqué par Caes., *Civ.* 1, 36.

12. http://www.cndb.org/?p=densite_durete, consulté le 1^{er} septembre 2015.

13. À raison de 50 kg par homme environ.

14. Apollod., *Polior.* 164, trad. P. Fleury, K. Sammour.

L'estimation de la masse de ces pièces maîtresses et la possibilité d'obtenir le volume cumulé de ces pièces par l'ensemble de la machine permettent d'évaluer la masse de ces machines et de s'interroger sur les transports et leur déplacement.

Le transport et le déplacement des machines

Une préparation en amont des machines est évoquée par de nombreuses sources et implique de transporter les pièces jusqu'au lieu du siège¹⁵. Des estimations basses et hautes sont de nouveau nécessaires pour appréhender la masse totale de chaque machine (*tableau 3*). Selon l'estimation basse, le bélier pèse environ 7,8 t, la tour 19,2 t, les tortues de Vitruve entre 12,8 et 19,3 t et les tortues d'Athénée entre 9,8 et 12,8 t. Selon l'estimation haute, le bélier peut atteindre environ 14 t, la tour 34,3 t, les tortues de Vitruve entre 22,8 et 34,4 t et les tortues d'Athénée entre 17,6 et 22,8 t.

	Masse - palmier (en kg) Estimation basse	Masse - chêne (en kg) Estimation haute
Apollodore de Damas – Bélier	environ 7 850 kg	environ 13 985 kg
Apollodore de Damas – Tour	environ 19 280 kg	environ 34 350 kg
Vitruve – Tortue «de terrassiers»	environ 16 425 kg	environ 29 260 kg
Vitruve – Tortue «fortin»	environ 19 320 kg	environ 34 430 kg
Vitruve – Tortue «de mineurs»	environ 12 805 kg	environ 22 815 kg
Athénée – Tortue «de terrassiers»	environ 9 895 kg	environ 17 630 kg
Athénée – Tortue «fortin»	environ 12 805 kg	environ 22 815 kg
Athénée – Tortue «de mineurs»	environ 10 180 kg	environ 18 140 kg

Tableau 3 – Estimations des masses des machines

Le *diploma* d'Hadrien de 122 apr. J.-C. permet d'appréhender les capacités de transport des légions. Il y aurait selon ce document environ mille mules – ou bêtes de sommes assimilées – par légion pour le trait et les bagages de l'armée¹⁶. Les travaux compilés et développés par G. Raepsaet indiquent une force de traction de 260 N pour des mules à raison d'1,1 m par seconde (ce qui semble être une vitesse raisonnable) sur une durée de six à huit heures¹⁷. En cas de roulage avec une roue bardée de fer sur une chaussée usée et boueuse, une mule peut tracter environ 663 kg sur terrain plat et environ 139 kg sur une pente à 15 %, coefficient important que les pentes excèdent

15. J., *BJ.* 2, 546; Plut., *Sull.* 12, 1-4; Veg., *Mil.* 2, 25.

16. Hyland 1990.

17. Raepsaet 2002, 32-34.

rarement¹⁸. Les capacités de transport fournies par les mules des légions d'Hadrien dépassaient donc certainement les 150 t, ce qui comprend tous les bagages de la légion et le poids des chariots. En comparant cette capacité de transport à la masse des machines précédemment évoquées, une légion peut transporter une ou plusieurs machines sur de longues distances, mais cela n'est pas négligeable et devait fortement affecter sa vitesse de déplacement. Il n'est pas impossible que les hommes aient eu à supporter ce transport, comme cela semble être le cas au siège de Xanthe en 42 av. J.-C., où les hommes ont été mis en compétition pour transporter ces machines¹⁹.

Les déplacements maritimes ou fluviaux facilitent le transport des pièces. Ces modes de déplacement sont très fréquents et devaient sûrement être la condition nécessaire pour le transport d'une certaine quantité de machines et de provisions pour l'armée, comme lors de la campagne de Julien contre les Parthes en 363 apr. J.-C. :

Tandis qu'il s'adressait à eux, sa flotte arriva, aussi grande que celle du tout-puissant roi Xerxès, sous le commandement du tribun Constantien et du comte Lucillien, et elle occupait toute la largeur du fleuve de l'Euphrate. Elle comptait mille vaisseaux de transport construits en poutres croisées qui portaient en abondance, vivres, armes et machines de siège, sans compter cinquante navires de guerre, et tout autant d'autres indispensables pour assembler des ponts de bateaux²⁰.

C'est aussi le cas lors du siège de Locri et d'Utique, où des machines sont amenées depuis la Sicile²¹; ainsi que lors du siège d'Ambracie et de Samé, où le fleuve Arethos et la mer permettent le transport des machines²². Dans de nombreuses situations implicites, une flotte coexiste avec des machines et des travaux de siège et une corrélation est plus que probable mais n'a, à notre connaissance, pas été développée précisément.

La question du transport de ces machines en pièces détachées se pose en amont du siège mais chaque machine possédant des roues – c'est le cas de toutes les machines mentionnées jusqu'à présent – devait aussi pouvoir être déplacée une fois montée. Seul l'emplacement des roues est précisé par Apollodore de Damas et aucune précision concernant le nombre ou la taille de ces éléments n'est apportée. Les roues sont systématiquement placées entre deux madriers. La restitution de la tour permet d'établir que le diamètre des roues ne peut excéder 2,5 p, sous peine d'exercer un frottement contre les traverses supérieures. Ce diamètre maximal ne permet de disposer que quatre roues par côté, soit huit sur l'ensemble de la tour (*fig. 9*). Pour le bélier, la restitution circonscrit le diamètre maximal des roues à 2 p et un maximum de dix roues sur l'ensemble de la machine (*fig. 10*).

18. $P = T / [(k + i) * g]$ où P est la masse en kg, T est la force de traction en Newton, k le coefficient de frottement (0,04 pour des roues en fer sur une route fatiguée et boueuse), i la pente en m.p.m (de 0 à 1), g l'accélération de la pesanteur en mètre par seconde² ($g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

19. App., BC. 4, 76-79.

20. Amm. 23, 3; ce passage est également évoqué par Zosime: Zos. 3, 13, 1-3.

21. Liv. 27, 28; 29, 35.

22. Liv. 38,3; 38, 28.

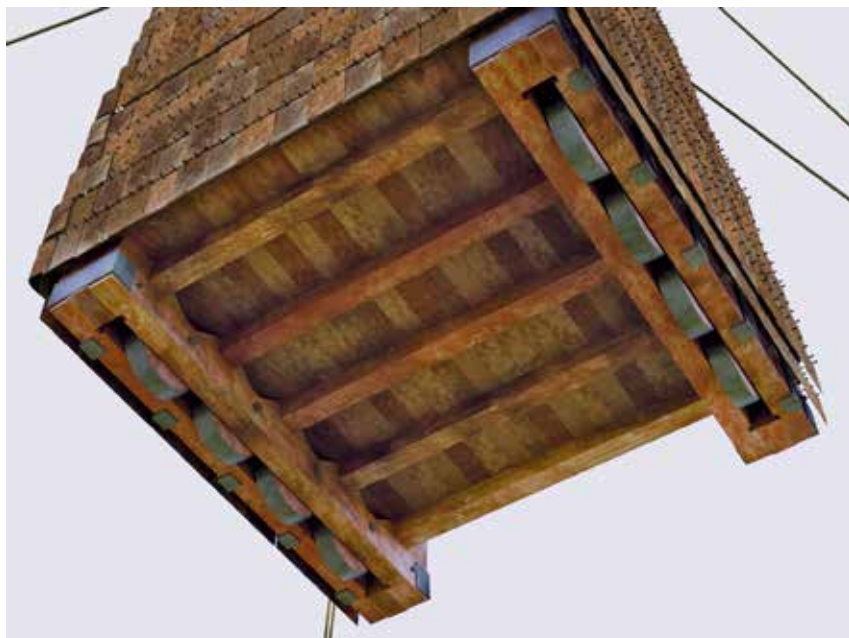


Fig. 9 – Les roues de la tour de siège d’Apollodore de Damas



Fig. 10 – Les roues du bélier d’Apollodore de Damas

La tortue de terrassiers décrite par Vitruve et Athénée comporte quatre roues et Athénée en spécifie les dimensions : le diamètre est de 3 coudées, soit 4,5 p, et l'épaisseur est d'un pied (*fig. 11*). Les ingénieurs précisent qu'il fallait huit roues au lieu de quatre pour la tortue « fortin » ; cette machine est plus lourde compte tenu des chevrons remplacés par des madriers et des hommes qui prennent place dessus, ce qui explique le besoin d'accroître la surface de contact. Il est important de bien distinguer les chapes et les roues pour appréhender la question du déplacement des tortues. Pour la tortue de terrassiers, le terme *ἀμαξίποδες* est utilisé, aussi bien chez Vitruve que chez Athénée, pour désigner les chapes²³. À l'intérieur de ces *ἀμαξίποδες*, tournent les *τρόχοι / rotae*. Lorsqu'il est précisé que la tortue « fortin » doit avoir huit roues, il s'agit bien des *τρόχοι / rotae* et non des *ἀμαξίποδες*. Les roues sont mobiles et orientables dans toutes les directions et s'il devait y avoir huit paires de chapes, sur les dix intervalles disponibles, ces chapes ne pourraient mesurer plus de la moitié de l'épaisseur des traverses, soit 0,25 p chez Vitruve et 0,3125 p chez Athénée, ce qui est bien faible compte tenu de la masse totale des machines, comprise entre 12,8 et 34,4 t en fonction des estimations. Il faut donc supposer ici quatre chapes avec huit roues (*fig. 12*), ce qui permet de répartir les poids sur une surface deux fois plus grande, afin d'éviter à celle-ci de céder sous la masse de la machine.

Les machines décrites roulent et offrent de nombreuses prises pour y accrocher des câbles. Mais leur déplacement se faisait-il sous la forme d'une traction ou d'une poussée ? Leur mouvement pouvait-il être mis en œuvre par des hommes ou fallait-il recourir à des animaux de trait ? Pour répondre à cette problématique, plusieurs considérations doivent ici être prises en compte. Tout d'abord la force à exercer au démarrage est bien plus importante que la force pour entretenir le mouvement ; la problématique du déplacement des machines concerne donc principalement l'amorçage à un instant donné. La définition des frottements, dans le cas présent le coefficient de roulement, doit être établie ; des roues bardées en fer de 0,5 à 1 m de diamètre ont un coefficient de roulement de 0,15 sur un chemin mal préparé et de 0,02 pour une route pavée en pierre ou en bois. Les frottements des tourillons peuvent être négligés si ceux-ci étaient lubrifiés, ce qui est une hypothèse raisonnable. La troisième remarque concerne la détermination de la force disponible pour chaque individu. Sur un instant très court, la force développée est bien plus importante que ce qui peut être fait pendant plusieurs heures. Un homme peut ainsi développer une force allant jusqu'à 860 N en s'aidant de l'épaule et d'un point d'appui, tandis qu'une mule peut développer pendant un court instant plus de cinq fois ce dont elle est capable pendant six à huit heures, ce qui ferait donc au moins 1300 N en traction pour une mule de masse moyenne. Si des hommes exercent cette force, le déplacement s'exercera plus favorablement sous la forme d'une poussée car un homme a une force deux fois supérieure en poussée

23. L'utilisation d'un terme grec par Vitruve sert de marqueur scientifique, comme l'a expliqué L. Callebat lors de ce colloque.



Fig. 11 – Les roues de la tortue de terrassiers



Fig. 12 – Les roues de la tortue « fortin »

avec un point d'appui qu'en traction à la corde. À l'inverse, si des animaux initient le mouvement, il s'agira d'une traction²⁴.

La capacité de traction d'un individu dépend de la masse de la machine en kg ainsi que des coefficients de roulement et de la pente (*tableau 4*). Plus le terrain sera favorable à l'approche des machines, plus il sera aisé de les déplacer. C'est le cas des machines d'Apollodore de Damas, qui avancent sur des terrasses, permettant d'avoir un terrain le plus plat, le plus progressif et le plus stable possible. Ainsi, si la tour de siège d'Apollodore de Damas progresse probablement sur une surface de bois, malgré les 34,3 t de l'estimation haute, une dizaine d'hommes seraient nécessaires sur une pente à 0 % ; dans le cas d'une pente à 5 %, il faudrait près de quarante hommes. De même, si le bélier progresse sur une surface de bois, malgré ses 13,9 t de l'estimation haute, cinq hommes suffiraient sur un terrain plat et dans le cas d'une pente à 5 %, il faudrait près de vingt hommes²⁵.

	Capacité de déplacement d'un homme	Capacité de déplacement d'une mule
Chemin plat mal préparé	584 kg	883 kg
Chemin plat préparé	4 383 kg	6 626 kg
Pente à 5 % mal préparée	438 kg	663 kg
Pente à 5 % préparée	1 252 kg	1 893 kg

Tableau 4 – Estimation des capacités de traction d'un homme et d'une mule en fonction du terrain et d'une pente²⁶

Pour les tortues de Vitruve et d'Athénée, le terrain n'est pas censé être préparé, ce qui complexifie leur déplacement. La question des frottements sur un terrain non favorable se pose alors : le terrain est-il grossièrement préparé avec quelques planches ? L'incertitude va plus loin car les chiffres proposés par G. Raepsaet ne tiennent pas compte de la taille des roues de ces machines. Les expérimentations sur lesquelles se fonde G. Raepsaet tiennent compte d'un diamètre de roue allant de 0,5 à 1 m ; or les roues des tortues, selon Athénée, mesurent 1,33 m. Malgré ces incertitudes, la nécessité d'animaux pour certaines machines semble s'imposer. Une vingtaine de mules suffirait à déplacer la tortue de terrassiers d'Athénée contre une quarantaine d'hommes. Pour la tortue « fortin » de Vitruve, la plus lourde semble-t-il, une quarantaine de mules est nécessaire sur un terrain plat, là où il faudrait environ quatre-vingts hommes.

24. Ces remarques se fondent sur les expérimentations décrites par Raepsaet 2002, 23 et 31-34.

25. Le nombre d'hommes nécessaires est une approximation, la perte d'efficacité due à la non-coordination des forces de traction ne se théorise que difficilement.

26. $P = T / [(k + i) * g]$ où P est la masse en kg, T est la force de traction en Newton, k le coefficient de frottement (0,15 pour des roues en fer sur un chemin mal préparé ; 0,02 sur une route pavée de pierre ou de bois), i la pente en m.p.m (de 0 à 1), g l'accélération de la pesanteur en mètre par seconde⁻² ($g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

Face à ces problématiques, il est intéressant de prendre en compte les essences qui offrent le meilleur compromis entre légèreté et résistance. Il semble également indispensable d'améliorer le terrain pour qu'il soit le plus praticable possible et qu'il ne cède pas sous le poids des machines.

Les sources anciennes à notre disposition font apparaître les deux possibilités de déplacement mais le faible nombre d'exemples et leur manque de précision empêchent toute généralisation. Dès 209 av. J.-C., les hommes de Scipion poussent des machines dont la nature n'est pas précisée; les soldats perses amènent un bélier sous une pluie de projectiles à Bezabde en 359 / 360 apr. J.-C.; lors de la guerre d'Alexandrie en 48 / 47 av. J.-C., des tours mobiles, dotées de dix étages selon l'auteur, sont tractées par des chevaux à l'aide de câbles²⁷.

L'hypothèse d'une traction animale ne semble pas s'imposer de manière évidente mais des éléments des tortues de Vitruve et d'Athénée pourraient l'indiquer. La base de la tortue est carrée et sur cette base est ajouté ce que l'on a nommé par commodité des « antennes » (fig. 7). Aucun des deux textes n'est suffisamment précis pour déterminer avec certitude leur rôle. D.B. Campbell, P. Fleury, O. Lendle et W. Sackur s'accordent sur le fait que le toit de la tortue de terrassiers repose sur ces antennes (fig. 13)²⁸, mais bien que cela soit plausible, la restitution virtuelle montre que la pente du toit serait cassée (fig. 14), leurs représentations figurées ne sont donc pas tout à fait exactes. Un élément vient cependant s'opposer à un toit qui descendrait jusqu'au niveau des antennes : chez Vitruve, les poutres des piliers sont plus épaisses que la base sur laquelle elles reposent (fig. 15). Cela permet aux tenons d'encercler la poutre de la base et de faciliter le montage, mais cela n'offre aucun intérêt du point de vue des forces de compression, c'est-à-dire des forces exercées par tout projectile tombant sur le toit, et alourdirait inutilement la machine. Si cette cage formée par les piliers est si épaisse et si dense, c'est qu'elle sert à protéger des projectiles tirés horizontalement et qu'aucun toit ne vient la masquer. Dans ce cas, aucun toit ne vient reposer sur les antennes. Ces antennes pourraient aussi permettre la traction des machines. Chaque ingénieur préconise une longueur : chez Athénée, un dépassement de 6 p à l'arrière et de 12 p à l'avant; chez Vitruve, 7 p de chaque côté. Ce dépassement est à une hauteur convenable pour accueillir un attelage car il se situe à environ 1,40 m du sol. L'attelage pourrait être conçu pour que la tortue repose très légèrement sur des mules, diminuant ainsi considérablement les forces de frottement.

Le contexte comme support de réflexion au fonctionnement des *machinae*

L'inconvénient du système précédemment décrit repose sur l'absence de protection des forces de traction et il faut sans doute l'accepter. Dans l'hypothèse d'une poussée humaine, quarante à quatre-vingts hommes ne pourraient prendre place sous la tortue.

27. App., *Hisp.* 21; *Amm.* 20, 7, 12; *Bell. Alex.* 2, 1-5.

28. Campbell 2006; Fleury 1993; Lendle 1975; Sackur 1925.



Fig. 13 – La tortue de terrassiers selon P. Fleury et S. Madeleine



Fig. 14 – Vue de profil du toit de la tortue de terrassiers



Fig. 15 – Un pilier de la tortue de Vitruve

D'autres protections plus légères disposées autour et à l'avant de la machine pourraient permettre de résoudre ce problème. La différence de taille des antennes entre la description d'Athénée et celle de Vitruve peut s'expliquer de plusieurs manières : plus les antennes sont grandes, plus le nombre de couples d'attelages est important et renforce la stabilité. Mais cette longueur peut également devenir un handicap à la progression de la tortue : les roues n'étant pas disposées sur les extrémités des machines, la présence d'une dénivellation trop abrupte peut faire obstacle à ces antennes, qui ne s'élèveront pas tant que les roues n'auront pas atteint l'obstacle. Cette rupture de pente peut atteindre les 19,5 degrés pour la tortue d'Athénée et jusqu'à 33 degrés pour celle de Vitruve.

La tortue « fortin » est, selon Athénée (*fig. 2*), plus adaptée à l'approche des murs bien que les forces de traction deviennent de plus en plus vulnérables en s'approchant. Cependant, cette tortue, en plus d'abriter des hommes terrassant le terrain, devient une machine offensive car elle permet à une garnison de prendre place au niveau supérieur afin de surveiller les assiégés et de les dissuader d'attaquer. Toutefois, la présence de machines de protection autour de cette tortue semble encore plus indispensable dans ce cas de figure. Il n'est donc pas pertinent de concevoir chaque machine individuellement car elles prennent toute leur place dans un système composé d'éléments multiples. Les boucliers de chaque soldat sont à prendre en compte, aussi bien que d'autres machines de protection. Cette organisation des machines les unes par rapport aux autres est détaillée par Apollodore de Damas, qui met en relation

un bélier avec des tortues de service, plus petites et plus manœuvrables²⁹, situées à l'arrière du bélier.

La tortue de mineurs a une base semblable à celle de la tortue de terrassiers, la différence se situant au niveau du pignon, qui est « en avant » selon Athénée tandis que Vitruve détaille des faces en « angles de triangle ». Si une tortue est disposée devant un mur, le terrain ne sera pas nécessairement plat et les mineurs seront à découvert pour saper les murs, cela rendrait donc la tortue inefficace. Il faut donc que le toit se prolonge en avant de la tortue, pour compenser l'angle que la levée de terre, même très faible, provoque avec le mur. Selon Athénée, il faut allonger le faîtage pour que le pignon de la tortue soit en avant. Une adaptation peut être opérée par l'ajout de chevrons inclinés, reposant sur la partie centrale. Vitruve est moins clair et explique que le toit est « en angle de triangle », *frontes uero earum fiunt quemadmodum anguli trigonorum*³⁰, ce qui a souvent été interprété comme un toit pyramidal. Un tel toit ne pourra jamais être « en avant », car la structure d'une telle pyramide reposerait sur le poinçon. Il faut alors comprendre ce passage de Vitruve par « leurs faces se présentent avec des sortes de triangles » ; cette tortue serait identique à la tortue de terrassiers, sauf que vue de face, la couverture se projetterait en formant des triangles, ce qui ramène à la description d'Athénée. La tortue de mineurs pose un dernier problème : si cette tortue doit s'appliquer au mur, alors l'avant des antennes dépassera du faîtage, même si celui-ci est allongé. Il faudrait l'allonger de plus 12 p, ce qui semble inconcevable. Il faut donc envisager des antennes plus courtes (*fig. 3*).

Une machine qui a pour dessein de s'appliquer au mur aura systématiquement un pignon projeté vers l'avant. C'est également le cas du bélier d'Apollodore de Damas, qui explique l'intérêt de ce profil : « [La tortue-bélière] étant inclinée en ayant un toit saillant vers le mur, pour recevoir les projectiles lancés au bélier et les renvoyer de chacun des deux côtés »³¹.

Les machines envisagées dans cette étude étaient composées de pièces en partie standardisées qui pouvaient être préparées en amont et permettaient la construction d'un nombre important de machines dont le transport en pièces détachées était assuré par la logistique de l'armée romaine. La construction de terrasses permet de rendre les pentes plus progressives et de réduire les frottements, ce qui constitue une conjoncture favorable au déplacement des *machinae*. La restitution de chaque machine permet de les aborder de manière globale et de mettre en évidence leurs caractéristiques propres. Le contexte du siège met en évidence deux enjeux relativisant la précarité de la situation des soldats ou des animaux de trait. D'une part, la protection des soldats est assurée par un système complexe de défense composé d'une multitude de tortues, de panneaux de protections (*plutei*) et de protections d'osier (*uineae*) ainsi que de

29. Apollod., *Polior.* 155-156.

30. Vitr. 10, 15, 1.

31. Apollod., *Polior.* 153-154, trad. P. Fleury, K. Sammour.

boucliers individuels. D'autre part, une situation plus favorable est créée grâce à la pression exercée par les éléments offensifs, comme la tour, mais aussi grâce à certaines tortues et à l'artillerie.

Karim SAMMOUR

ERLIS – CIREVE

Université de Caen Normandie

Éditions des sources anciennes utilisées

APOLLODORE DE DAMAS, « Les Poliorcétiques », in *Poliorcétique des Grecs*, Paris, Imprimerie impériale, 1867, p. 137-193, éd. C. Wescher, trad. E. Lacoste.

APOLLODORE DE DAMAS, *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco*, Milan, Electa, 1999, éd. A. La Regina, trad. G. Commare.

APOLLODORE DE DAMAS, *Apollodorus Mechanicus: siege-matters (Πολιορκητικά)*, Stuttgart, F. Steiner (Historia Einzelschriften ; 216), 2010, trad. D. Whitehead.

ATHÉNÉE LE MÉCANICIEN, « Traité des machines », in *Mélanges Graux*, Paris, E. Thorin, 1884, p. 781-801, trad. A. de Rochas d'Aiglun.

ATHENAEUS MECHANICUS, *Athenaeus Mechanicus, On machines (Peri mēchanēmatōn)*, Stuttgart, F. Steiner (Historia Einzelschriften ; 182), 2004, trad. D. Whitehead et P.H. Blyth.

FRONTIN, *Les stratagèmes*, Paris, Economica (Bibliothèque stratégique), 1999, trad. P. Laederich.

VITRUVÉ, *De l'architecture. Livre X* [1983], 2^e éd., Paris, Les Belles Lettres (CUF ; 279), 2003, éd. L. Callebaut.

