



**HAL**  
open science

## Machines antiques et reconstitution virtuelle

Philippe Fleury

► **To cite this version:**

Philippe Fleury. Machines antiques et reconstitution virtuelle. Virtual Retrospect, Nov 2003, Biarritz, France. pp.51-56. hal-01609437

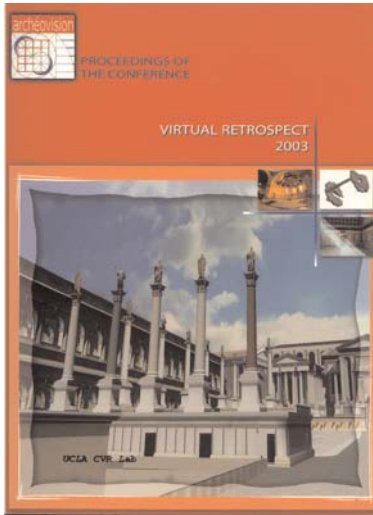
**HAL Id: hal-01609437**

**<https://hal.science/hal-01609437v1>**

Submitted on 3 Oct 2017

**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.



Vergnieux R. et Delevoie C., éd. (2004),  
Actes du Colloque Virtual Retrospect 2003,  
*Archéovision 1*, Editions Ausonius, Bordeaux

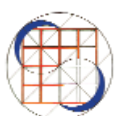
## Tiré-à-part des Actes du colloque Virtual Retrospect 2003

Biarritz (France) 6 et 7 novembre 2003



Ph. Fleury

*Ancient Machines and Virtual Restitution* . . . . .pp.51-56



Conditions d'utilisation :  
l'utilisation du contenu de ces pages est limitée à un usage  
personnel et non commercial.  
Tout autre utilisation est soumise à une autorisation préalable.  
Contact : [virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr](mailto:virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr)

<http://archeovision.cnrs.fr>



# MACHINES ANTIQUES ET RECONSTITUTION VIRTUELLE

Philippe Fleury

Centre de Recherche sur l'Antiquité et les Mythes (CERLAM)  
Maison de la Recherche en Sciences Humaines de Caen Basse-Normandie  
Université de Caen, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex  
fleury@mrsh.unicaen.fr

**Abstract :** Due to a limited quantity of data, little is actually known about ancient machines. Our knowledge of ancient Greek or Roman technology and engineering comes from three main sources.

a) Written data. Technological literature *stricto sensu* consists of a limited number of documents likely to have been adulterated down through the centuries. Other literary references can also be useful.

b) Iconographic data. Although the interpretation of icons may often be inaccurate, this source is essential.

c) Archaeological findings. Complete machines are few and far between, since most of their wooden components are now lost.

Virtual restitution can supplement conventional media (texts and 2D images) in three ways:

a) Objects/machines can be visualized from various standpoints, and/or disassembled in addition to the fact that transparency allows otherwise hidden components to be seen.

b) Machines in operation may be simulated for demonstrative purposes.

c) Several hypotheses concerning restitution can be put to the test, as regards feasibility, efficiency and functionality.

This paper provides four examples of virtual restitution: The Coliseum velum ; lifting apparatus; a ballista; a water organ (hydraulus).

**Key words :** ancient machine – technical ancient text – archaeology – virtual reality.

**Résumé :** Nous savons peu de choses des machines antiques à cause de la quantité limitée d'informations dont nous disposons. Notre connaissance de la technologie et de l'ingénierie de la Grèce antique ou de Rome provient de trois sources principales.

a) Les textes. La littérature technologique *stricto sensu* est constituée d'un nombre limité d'écrits susceptibles de dénaturation à travers les siècles. D'autres références

littéraires peuvent aussi servir.

b) L'iconographie. Bien que l'interprétation des images puisse souvent être inexacte, cette source est essentielle.

c) Les découvertes archéologiques. Les machines entières sont rares, puisque la plupart de leurs composants en bois sont maintenant perdus.

La restitution virtuelle peut être un apport supplémentaire aux médias conventionnels (textes et images en 2D), et ce de trois façons différentes :

a) Objets ou machines peuvent être visualisés depuis plusieurs points de vue, et peuvent être désassemblés si nécessaires. De plus, la transparence permet de voir des composants qui autrement seraient cachés.

b) A des fins de démonstration, il est possible de simuler des machines en fonctionnement.

c) Plusieurs hypothèses concernant la reconstruction peuvent être mises à l'épreuve, quant à l'étude des faisabilités, de l'efficacité, et de la fonctionnalité des machines.

Cette communication donne quatre exemples de reconstitution virtuelle : le Coliseum velum, un mécanisme de levée, une balliste, un orgue d'eau (hydraule).

**Mots clés :** mécanique ancienne – textes techniques anciens – archéologie – reconstitution virtuelle.

Le domaine dans lequel nous nous situons a déjà été abordé par l'équipe d'Ausonius à propos du système d'élévation de l'eau de Barzan : il s'agit de l'étude de la mécanique ancienne. Par "ancien" nous entendons précisément ce qui a trait à l'Antiquité classique, c'est-à-dire au monde gréco-romain, d'Homère à la chute de l'empire romain d'occident. L'aire géographique est donc large puisqu'elle correspond à peu près à l'extension maximale de l'empire romain, de l'Atlantique au Danube et à l'Euphrate, des confins de l'Écosse aux confins du Sahara et de l'Arabie. La mécanique comprend une partie théorique et une partie pratique mais c'est un domaine mal connu et peu étudié pour diverses raisons : les sources

textuelles sont difficiles à comprendre et souvent mal transmises ; les machines elles-mêmes, construites en bois pour la plupart, se sont rarement conservées ; les antiquisants littéraires se sont davantage orientés vers la poésie, l'épopée, l'histoire, le théâtre, l'éloquence... que vers la littérature scientifique et technique ; les antiquisants historiens et archéologues ont été peu nombreux à s'intéresser aux aspects techniques de la civilisation grecque et romaine.

Nous commencerons donc par donner un rapide aperçu des objectifs et de la méthodologie des recherches sur la mécanique ancienne. Nous verrons ensuite les apports de la reconstitution virtuelle dans ce domaine et nous terminerons par les perspectives d'évolution à partir du cadre actuel.

### 1. Objectifs et méthodologie des recherches sur la mécanique ancienne

Nous nous situons ici naturellement dans une perspective scientifique : il s'agit de faire savoir, de faire connaître ce qu'étaient les machines dont disposait l'Antiquité. Plus précisément il s'agit de comprendre leur fonctionnement, de mesurer leur efficacité et d'évaluer leur utilisation sous les aspects qualitatif et quantitatif.

Le premier travail est la recherche et l'exploitation des sources.

Celles-ci sont de trois ordres : les textes, l'iconographie et l'archéologie proprement dite. Les textes eux-mêmes se répartissent en deux catégories : la littérature et l'épigraphie, cette dernière étant surtout utilisable sur le plan lexicographique et pour appréhender des domaines d'utilisation qui n'apparaissent pas dans les textes littéraires. Parmi ceux-ci nous avons quelques textes techniques qui nous décrivent précisément certaines machines : c'est le cas pour les machines de levage des charges, les machines élévatrices d'eau, les machines de guerre, l'artillerie, le moulin à eau, l'orgue hydraulique... Mais nous devons aussi parcourir l'ensemble de la littérature pour trouver des mentions éparses nous donnant des informations sur le lexique, l'utilisation, les performances. La peinture, les mosaïques, la sculpture, les terres cuites représentent parfois des systèmes mécaniques (machines de levage, machines de jet, vis d'Archimède, orgue hydraulique, velum, etc.) et, malgré l'imprécision générale du dessin, les renseignements obtenus sont précieux pour confirmer ou compléter l'information provenant des textes ou des restes découverts. Ceux-ci sont rares, nous l'avons dit en introduction, du fait que la plupart des machines étaient en bois et ne se sont pas conservées, mais nous trouvons aussi des traces d'implantation de systèmes mécaniques dans des maçonneries : supports de mâts pour le velum, socles d'horloge hydraulique, marques de roues à eau etc.

À partir de ces sources nous pouvons reconstituer des plans plus ou moins détaillés (quelquefois très détaillés), des maquettes. Nous pouvons aussi évaluer les performances et connaître au moins une partie des domaines d'utilisation. Pour illustrer et terminer cette première partie, nous allons prendre quatre exemples dans quatre domaines différents : le levage, l'artillerie, le spectacle et la musique.

Pour le domaine du levage nous avons choisi la chèvre, grue simple à deux montants, décrite par au moins deux auteurs (Vitruve, *De l'architecture*, 10.2 et Héron d'Alexandrie, *Mécaniques*, 3), représentée sur plusieurs bas-reliefs, mais qui n'a laissé que de maigres vestiges (restes de montants et moufle trouvés dans le port de l'ancienne Corinthe par exemple). Les renseignements obtenus suffisent cependant pour reconstituer le plan de l'engin et calculer ses performances théoriques (fig. 1).

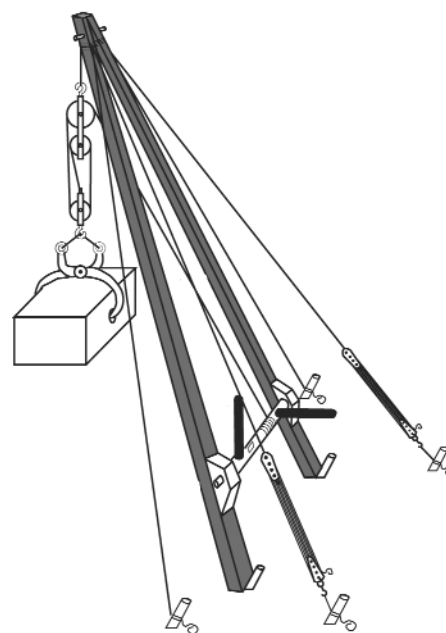


Fig. 1 : Chèvre.

La catapulte (*catapulta* ou *scorpio*) est une pièce d'artillerie lanceuse de flèches, construite en bois, dont l'emploi est attesté du IV<sup>e</sup> siècle a.C. au I<sup>er</sup> siècle p.C. (elle sera remplacée ensuite, pour le même emploi, par la baliste, construite en fer). Elle est décrite par Philon de Byzance (*Belopoiika*) et par Vitruve (*De l'architecture*, 10.10). Elle est représentée sur des bas-reliefs, sur une gemme (fait plutôt rare) et nous en avons conservé quelques pièces métalliques : bagues de serrage, pièces autour desquelles étaient enroulés les ressorts, renforts, systèmes d'encliquetage, plaque de protection (fig. 2).

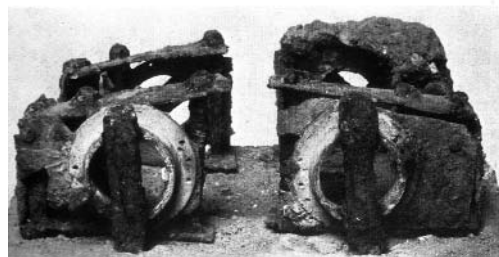


Fig. 2 : Pièces métalliques du cadre d'une catapulte trouvée à Ampurias (Espagne).

Les plans de construction peuvent être précisément reconstitués en associant les textes de Philon et de Vitruve (fig. 3).

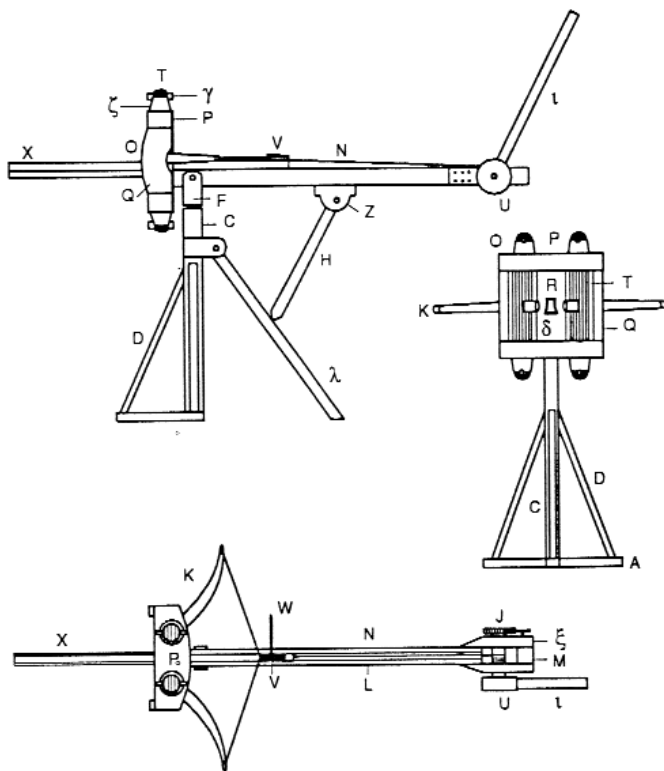


Fig. 3 : Catapulte.

Les spectacles utilisaient divers moyens mécaniques pour faire apparaître des décors, pour pulvériser de l'eau parfumée sur les spectateurs ou pour les protéger du soleil ou de la pluie. Ce dernier système est connu sous le nom de velum, il s'agit de toiles que l'on déroulait au-dessus des gradins. Les textes le mentionnent mais ne le décrivent jamais. Une célèbre peinture de Pompéi représente celui utilisé sur l'amphithéâtre de cette ville (fig. 4) et beaucoup d'amphithéâtres et de théâtres conservent les traces de supports des mâts du velum. Autour du Colisée de Rome, des bornes conservent peut-être les traces des supports des treuils qui servaient à tendre l'ensemble (fig. 5).

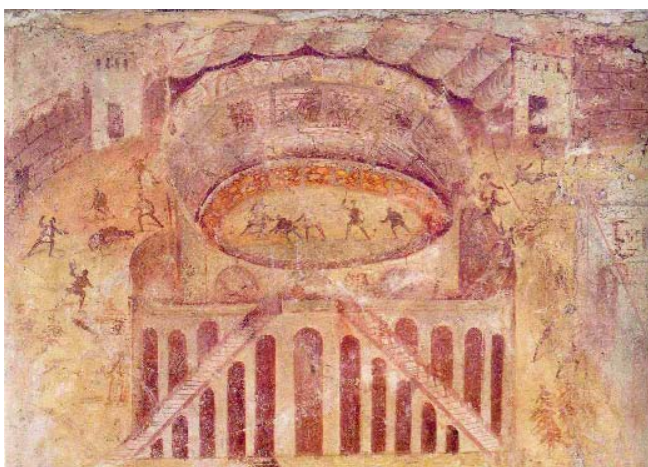


Fig. 4 : Velum de l'amphithéâtre de Pompéi.



Fig. 5 : Borne autour du Colisée de Rome.

Contrairement aux deux machines précédentes qui étaient bien renseignées, la restitution du plan ne peut ici être qu'hypothétique (fig. 6).

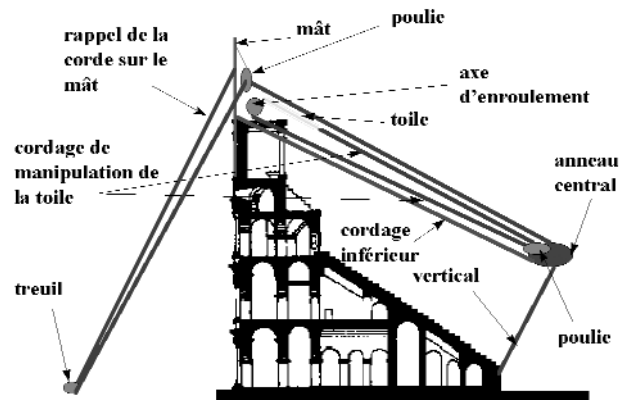


Fig. 6 : Plan des cordages du velum.

Dans le domaine musical enfin, l'orgue hydraulique, probablement inventé au milieu du III<sup>e</sup> siècle a.C. est précisément décrit aux premiers siècles a.C. et p.C. par Vitruve (*De l'architecture*, 10.8) et par Héron d'Alexandrie (*Pneumatiques*, 1.42). Il est fréquemment représenté sur des terres cuites, des bas-reliefs et des mosaïques (fig. 7).



Fig. 7 : Orgue sur la mosaïque de Nennig.

De plus nous avons la chance d'avoir retrouvé à Aquincum, en Hongrie actuelle, toute la partie supérieure d'un orgue, qui vient confirmer et préciser les textes de Vitruve et de Héron. La reconstitution peut donc être proposée avec beaucoup de sûreté (fig. 8).

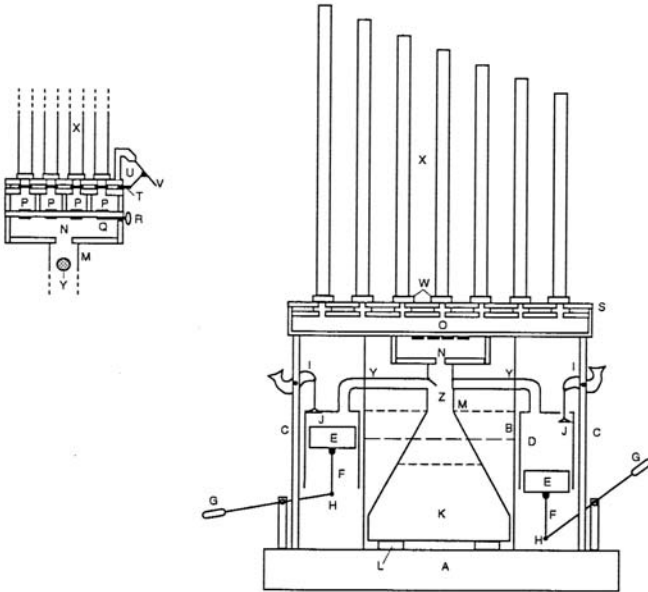


Fig. 8 : Orgue hydraulique.

## 2. La reconstitution virtuelle

Dans un premier temps (c'est-à-dire ce que nous faisons maintenant) la reconstitution virtuelle en trois dimensions sert à représenter et à montrer. Elle apporte au moins quatre possibilités supplémentaires par rapport à la représentation en deux dimensions : multiplier à l'infini les points de vue, tourner autour des objets, les manipuler et les animer. La première possibilité est liée au fait que l'objet étant modélisé et texturé, il devient "photographiable" sous différents angles, comme un objet réel et même plus qu'un objet réel, puisqu'il suffit de rendre certaines textures transparentes pour photographier l'intérieur (ce qui est souvent précieux dans le domaine de la mécanique). Tandis que cette première possibilité nous donne des vues fixes (en fait des vues en 2D ...), les trois autres possibilités utilisent la capacité d'animer les objets virtuels. On peut d'abord tourner autour comme on tournerait autour d'une vitrine de musée. On peut aussi le manipuler : tirer un levier, tourner un treuil, faire avancer ... On peut enfin réaliser une animation expliquant et illustrant le fonctionnement. C'est ce que je vais vous montrer maintenant en reprenant les quatre exemples donnés dans la première partie.

L'animation de la chèvre (fig. 9) permet de montrer le système de montage qui utilise le propre treuil de la machine, le système d'inclinaison qui permet de déposer la pierre (ou les autres matériaux) à l'endroit voulu et les divers systèmes de préhension des pierres : par pinces (trous latéraux dans les pierres qui restent visibles), par tenons latéraux qui seront taillés une fois la pierre mise en place et enfin par cheville en

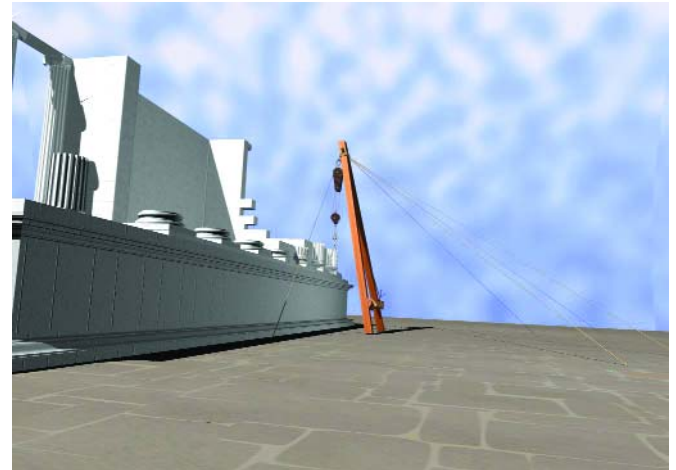


Fig. 9 : Chèvre (virtuel).

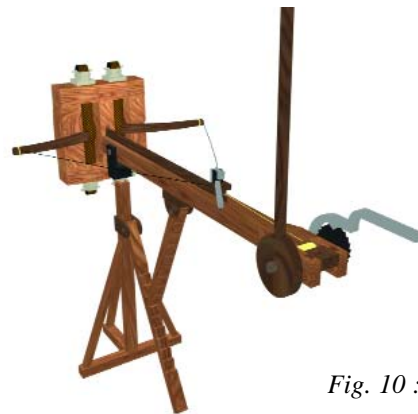


Fig. 10 : Catapulte (virtuel).

queue d'aronde à partir d'une entaille sur le dessus de la pierre, invisible après la mise en place.

L'animation de la catapulte permet de simuler l'armement, le pointage et le tir d'une flèche (fig. 10).

L'animation du velum du Colisée offre des vues sur l'ensemble du système, sur sa mise en place (c'est lors de la réalisation de cette animation qu'il est apparu nécessaire de construire un "chemin de ronde" entre les mâts pour permettre la manœuvre des treuils, hypothèse jamais proposée jusqu'à présent) et propose aussi une simulation de la course du soleil lors d'une journée donnée pour vérifier la protection offerte par le velum suivant les heures de la journée (fig. 11 et 12).

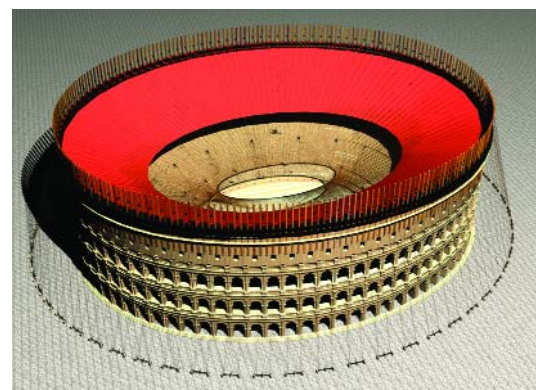


Fig. 11 : Le Colisée de Rome et son velum.

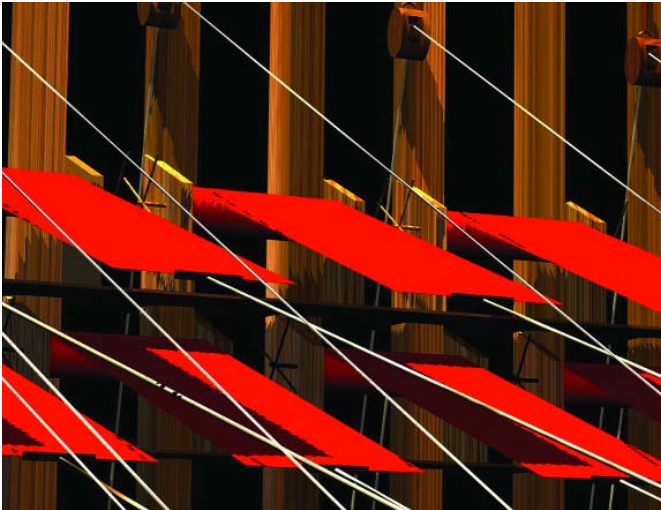


Fig. 12 : Détail de la superposition des rouleaux de toiles du velum.

L'animation de l'orgue hydraulique enfin est utile pour comprendre un système où l'eau ne joue qu'un rôle de régulateur de pression de l'air. Les différents parcours de l'air et les places respectives de l'air et de l'eau sont représentés par des effets de transparence (fig. 13 et 14).



Fig. 13 : Orgue hydraulique (virtuel).

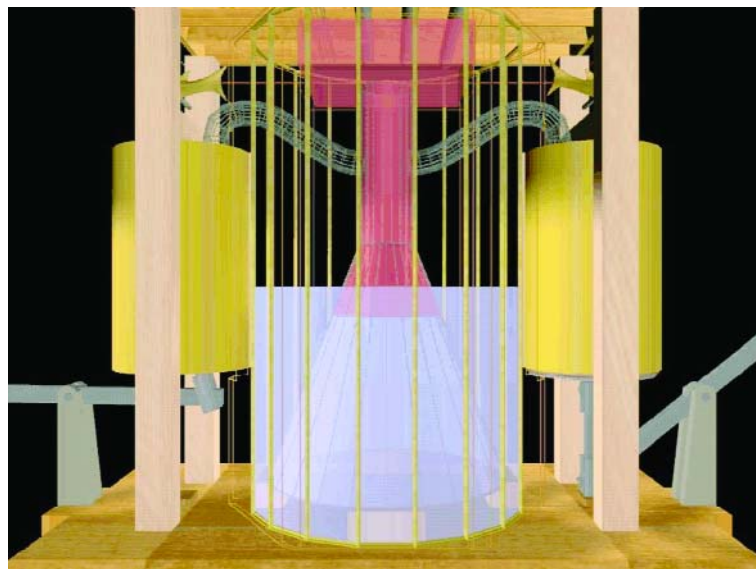


Fig. 14 : Effets de transparence pour visualiser le mécanisme de l'orgue hydraulique.

### 3. Perspectives

L'ensemble des travaux qui viennent d'être présentés sont réalisés à la Maison de la Recherche en Sciences Humaines de l'Université de Caen Basse-Normandie sur des micro-ordinateurs de type PC avec système d'exploitation "Windows" et avec le logiciel "3DS Max" (Version 5.1, Autodesk/Discreet). Ce choix de matériel et d'environnement a pour l'instant un double intérêt :

1) Ce sont les mêmes plates-formes et les mêmes logiciels qui sont utilisés pour la modélisation architecturale et pour la modélisation mécanique. Celle-ci s'inscrit en effet dans un vaste programme de reconstitution virtuelle de la Rome Antique dont parlera F. Lecoq (l'une des deux co-responsables du projet) et auquel participe également G. Cariou qui vient de parler du projet de film sur les naumachies, dans le cadre d'une thèse en cours.

2) Le caractère "généraliste" du logiciel "3DSMax" (qui est un peu à la reconstitution virtuelle ce que "Word" est au traitement de texte...) permet d'accueillir au sein de l'équipe des stagiaires en cours de formation venant d'autres établissements utilisant le même logiciel (Écoles des Beaux-Arts, Écoles d'Architecture, Écoles d'Ingénieurs). Les travaux sur la reconstitution virtuelle des machines de l'Antiquité ont ainsi été menés pour la plus grande partie en collaboration avec l'École Navale de Brest. Les élèves de cette école d'ingénieurs de haut niveau ayant déjà reçu pendant leur cursus une formation au logiciel 3DSMax et aux techniques de réalité virtuelle dans leur ensemble (sous la direction de M. Farine, Professeur des Universités, de 1996 à 2001), l'essentiel de la collaboration a pu porter sur des questions de fond. L'Université de Caen Basse-Normandie a apporté sa connaissance de l'Antiquité (et plus particulièrement du domaine de la mécanique ancienne), son savoir-faire en matière d'exploitation des sources anciennes et sa maîtrise de l'outil informatique en tant qu'utilisateur.

L'École Navale de Brest a apporté sa connaissance des Sciences de l'ingénieur (statique et dynamique, résistance des matériaux, calcul ...) et sa maîtrise de l'outil informatique en tant que producteur potentiel d'applications. Si dans le cas présent il ne s'agissait pas de créer de nouveaux logiciels, les élèves-ingénieurs, du fait de leur formation, avaient une bonne aptitude dans le choix des solutions matérielles et logicielles autour du noyau de base formé par l'environnement Windows et le logiciel 3DSMax : c'est ainsi que des expériences ont été tentées en direction du langage VRML et des plates-formes Mac avec le logiciel Quick Time VR.

Les perspectives sont précisément de sortir de l'environnement actuel, de sortir en tout cas du cadre "représentation - démonstration" pour entrer dans celui de la "simulation - validation". Il s'agirait de reconstruire virtuellement les machines pas seulement pour expliquer et montrer leur fonctionnement mais aussi pour tester sur le modèle virtuel leur efficacité et leurs performances. Pour une machine de levage par exemple, il s'agirait de voir, à partir d'une force donnée appliquée sur le levier du treuil, quel poids elle est capable de soulever en prenant en compte naturellement les effets du frottement et les capacités de résistance des différentes pièces composant la machine. Le même principe pourrait être appliqué au système du velum. Actuellement les calculs sont effectués indépendamment de la reconstitution virtuelle et préalablement à elle afin de proportionner correctement les différents éléments des machines lorsque les textes ou l'archéologie ne nous donnent pas d'indications chiffrées. C'est ainsi que l'on sait que la chèvre présentée plus haut, manœuvrée par deux hommes, avait une capacité de levage d'une tonne environ. Les mâts

portant le velum ont une hauteur de 23 m et une section de 45 cm par 55 cm pour correspondre aux trous encore présents dans la corniche supérieure de la façade. La section des cordes et la taille des poulies ont été calculées de façon à pouvoir supporter les 12 tonnes représentées par les 22 000 m<sup>2</sup> de toile à sec, etc. Il s'agirait maintenant d'inclure ces calculs dans la reconstitution virtuelle proprement dite afin de pouvoir tester et valider différentes hypothèses. Dans l'exemple de l'orgue hydraulique il s'agirait de faire "jouer" l'orgue en tenant compte de la pression de l'air, du bruit des différentes pièces en action, de la sonorité des tuyaux en fonction du matériau utilisé : à partir d'un clavier virtuel différentes hypothèses pourraient être proposées.

Les recherches qui vous ont été présentées sont des recherches en évolution et en cours, d'où le caractère encore imparfait des images et des animations proposées. Ce qui est acquis c'est l'aide apportée par la reconstitution virtuelle : en aval des recherches pour la démonstration, la visualisation et l'explication, mais avec aussi un retour en amont par la nécessaire rigueur et surtout l'exhaustivité imposées par les trois dimensions. Comme en architecture, si la 2D permet de cacher, tout au moins d'ignorer un certain nombre de choses, la 3D est impitoyable : tout doit être reconstitué. Cette exigence ouvre parfois les yeux du chercheur sur des hypothèses qu'il n'aurait peut-être pas imaginées autrement (voir supra l'exemple du "chemin de ronde" pour le velum). La perspective serait de faire "remonter" encore la reconstitution virtuelle dans le processus de recherche pour y intégrer l'ensemble des calculs et disposer ainsi de véritables outils de simulation.

