

Membre de l'université Paris Lumières

# Alain Chartrain

## **Approche technologique des meules rotatives de l'Age du Fer et d'époque Romaine**

*les productions d'Orvieto (Italie) dans leur contexte  
entre Ebre et Rhin*

Thèse présentée et soutenue publiquement le 29/01/2021  
en vue de l'obtention du doctorat de Archéologie-Ethnologie  
de l'Université Paris Nanterre

sous la direction de Mme Isabelle SIDÉRA (Université Paris Nanterre)  
et de Mme Hara PROCOUPIOU (co-encadrante, Université de Paris I)

### Jury :

Rapporteure :	Mme BASSO Patrizia	Professeure, Università di Verona (Italie)
Rapporteure :	Mme KRAUSZ Sophie	Professeure, Université de Bordeaux Montaigne
Membre du jury :	M. GONZALEZ VILLAESCUSA Ricardo	Professeur, Université Paris Nanterre
Membre du jury :	Mme ALONSO MARTINEZ Natalia	Professeure , Université de LLeida (Espagne)
Directrice de thèse :	Mme SIDÉRA Isabelle	Directrice de recherche au CNRS, Université Paris Nanterre
Co-encadrante	Mme PROCOPIOU Hara	Professeure, Université Paris I



**à Anna, mon Italie**

**à Margaux et Livia, nos soleils**

**à mes parents,  
ai Nonni**

**à ma sœur Marie-Claire  
qui aurait tant aimé être ici**



# Université Paris Nanterre

Ce mémoire, présenté en vue de l'obtention du Doctorat à l'Université de Paris Nanterre, a été élaboré dans le cadre du Laboratoire de technologie archéologique PRÉTECH UMR 70 55 du CNRS à la MAE de Nanterre (devenue MSH).

Je remercie vivement les directeurs successifs de ce laboratoire, Isabelle Sidéra puis Pierre Allard pour avoir accueilli un antiquisant au pays du silex, de la céramique en plaque ou de l'industrie osseuse et pour avoir financé plusieurs missions de terrain à Orvieto.

Ma gratitude va au Prof. Augustin Holl pour avoir accepté la direction de ma thèse puis à Isabelle Sidéra pour avoir pris le relai, à Hara Procopiou pour avoir assuré mon tutorat.

Je remercie très sincèrement Jacques Pèlerin pour nos conversations et son inégalable capacité d'accueil envers les jeunes (et moins jeunes) étudiants. j'espère qu'il ne m'en voudra pas de n'avoir pas constitué de référentiel expérimental meulier de style pompéien.

Je remercie également Liliana (et la Colombie) qui m'ont accompagné avec accent et efficacité au cours de ces années. Ma reconnaissance va aussi à Sophie Bugnon pour l'accueil et la précieuse disponibilité dont elle honorait l'Ecole Doctorale 395.



UMR 7055 PRETECH  
MSH Mondes - 21 Allée de l'Université  
92 023 Nanterre cedex  
tel. + 33 1 46 69 24 48





Avoir pour métier la passion de ses 18 ans est un privilège rare, et l'une des dettes les plus joyeuses à vivre.

Au moment de refermer ces pages que vous vous apprêtez à ouvrir, il m'est naturel et agréable d'exprimer ma sincère gratitude et ma reconnaissance envers tous celles et ceux à qui mon travail et moi-même sommes redevables.

Je pense d'abord à ceux qui m'ont appris l'archéologie et souvent un peu plus, le préhistorien François Carré en Auvergne et aux Eyzies, Dominique Joly à Chartres, Pierre-Jean Trombetta à Maubuisson, Chevreuse, dans ses cours du soir à Orléans, au Louvre enfin un peu partout, Bernard Dedet dans les garrigues, Alain Ferdière souvent.

Mon archéologie, ma motivation ou ma persévérance dans cette entreprise doivent beaucoup à l'amitié et la bienveillance d'une série de personnes à qui ma reconnaissance se dirige tout naturellement : Jacques Delépine, Raphael De Filippo, Philippe Marquis, Anne Speller, Philippe Lanos, Armelle Bonis, Eric Henry, Pascal Flotté, Christophe Toupet, Philippe Soulier, Jean-Pierre Legendre, Franck Suméra, Pascal Amelin, Dave Evans, Didier Perrugot, Marie-Pierre Ruas.

Mon travail sur les meules d'Orvieto et de l'Antiquité est aussi redevable à des degrés divers à des profs ou à des collègues parmi lesquels je souhaite citer Françoise Dumasy, Yves De Kisch, Jean Chapelot, Riccardo Francovich et feu David Peacock pour ses encouragements et ses photos. Ma profonde reconnaissance va aussi à mes collègues sinon amis italiens Maurizio Gualtieri, Alfredo Buonopane, Walter Dragoni, Angelo Peccerillo, Paola Zanovello.

Je suis par ailleurs très reconnaissant aux jeunes ingénieurs Quentin Danel (formé au CNAM) et Federico Belloni (formé à l'Istituto di Ingegneria di Padova), nos échanges ont été réellement importants et j'espère qu'ils se prolongeront dans de prochaines collaborations pour mettre de la science dans les moulins.

Je suis profondément reconnaissant à tous les archéologues qui m'ont aidé, fourni des données ou transmis sans contrepartie leur travail et j'ai plaisir à faire ici une place à la culture de coopération qu'ils ont su manifester et dont notre société a tant besoin. Je pense en particulier à Virgine Farget, Aurèle Gaultier, Emilie Thomas, Natalia Alonso Martinez ou Florent Jodry mais aussi à Arturo Zara, Jacopo Bonetto, Tim Anderson, Bruno Robert, Yann Deberge, Mathieu Poux, Stefan Wenzel, Steffi Wefers, Gilles fronteau, Pierre Caussade, Laura Zannol, Sibeht Renière, Alexandre Polinski, Luca Facchinetti, Caroline Hamon, Chloé Chaigneau, Vincent Guichard, S. Nielloud-Muller, Marie-Pierre Jézégou, Jean Chausserie-Laprée, Nuria Nin, Sandrine Riquier, Florence Parot, Jan Theo Bakker et ses amis Klaus Heese et J.Chr. Meyer, le personnel du parc archéologie d'Ostia Antica, ceux du Museo alle Terme à Rome, à la Surintendance archéologique dell'Umbria : Mario Pagano, Paolo Bruschetti e M.C. De Angelis, à Pompéi L. Buffone, également M. Pallara, Elena Poletti du Civico Museo di Mergozzo, Giuliana Sarà (Museo Salinas di Palermo), Denis Francisci et Magdalena Donner en Venétie, Prof. Paolo Ferla, Giulia Baratta, Michele Bueno de la Surintendance de Florence Pistoia et Prato, Sophie Coadic, Pierre-Arnaud De Labriffe, Vianney Forest, Michel Feugère. Mes remerciements particuliers à Gabriele Archetti de l'Università Cattolica pour m'avoir accueilli au colloque de Brescia et dans la publication des actes,

ainsi qu'à D. Orliac et plus largement tous les personnels des dépôts ou musées archéologiques qui comme lui m'ont accueilli et aidé notamment ceux d'Ensérune, de Peyriac-de-Mer, de Carcassonne, d'Agde ou de S. Casciano.

J'ai plaisir enfin mais aussi depuis le début à exprimer ma sincère gratitude aux habitants d'Orvieto qui m'ont si gentiment accueilli pendant des heures, parfois plusieurs jours dans leur jardins en observant curieusement ce français à l'accent un peu *veneto* qui accordait autant d'intérêt aux *sassi*. Sur place j'ai eu la chance de bénéficier de l'aide et de la gentillesse du jeune étruscologue Paolo Binaco que je ne remercierai jamais assez, ainsi que de Claudio Bizzarri avec lesquels le courant est rapidement passé.

Mon travail n'aurait pas été (du tout) le même sans l'aide si précieuse de Mme et MM. les initiateurs et mainteneurs des plateformes universitaires ou professionnelles qui mettent à disposition des textes, ouvrages anciens ou bases de données, en particulier les sites *Remacle* ([www.remacle.org](http://www.remacle.org)), *Hydraulica* de Grenoble (<http://hydraulica.grenet.fr/>) et nos amis Belges de *Itinera Electronica* (<http://agoraclass.fltr.ucl.ac.be/concordances/intro.htm>) ou encore *AncientsPorts* (<http://www.ancientportsantiques.com/the-catalogue/adriatique/>). Pour l'accès direct et instantané à la bibliographie au format PDF bien entendu Academia.Edu sans lequel notre travail n'aurait pas été possible, mais aussi Persée et Revues.org, pour l'Espagne DialNet (<https://dialnet.unirioja.es/>) et pour la Grande Bretagne Ads (<http://archaeologydataservice.ac.uk/>) d'autant plus précieux que c'est si rare dans le monde anglo-saxon. A la bibliothèque de la MAE de Nanterre je remercie très sincèrement Sophie Kielwasser et son collègue pour leur disponibilité sans faille.

Mes remerciements vont également au Ministère de la Culture pour la précieuse disponibilité qu'il a su m'accorder.

Enfin je souhaite remercier très sincèrement les membres du jury qui ont accepté, en période de fêtes de Noël et de Janus post-confinementales, de lire, d'examiner et de rapporter mon travail, se promettant sans le savoir à d'intenses tortures : pensez-vous, des pieds, des doigts et tant de tableaux pour d'insignifiantes et oubliées *running stones*.

Le fait d'être cité dans ces remerciements ou cette thèse n'implique aucunement l'adhésion de la personne aux faits, interprétations ou analyses qui y sont présentés ou développés. Il traduit simplement ma lecture ou ma reconnaissance. Il va sans dire que toutes les insuffisances ou âneries que ce mémoire ne manquera pas de contenir sont entièrement à ma charge.



## résumés de la thèse (FR., IT., EN.)

**FR- Mots-clés :** meules rotatives basses, meules de style pompéien, conicité, doigt, moulin à rodet, gabarit

Cette première étude détaillée des Meules Rotatives Basses inédites fabriquées à Orvieto (Italie) dans l'Antiquité privilégie l'approche de leur géométrie génératrice. Elle précise les paramètres configurants, invariables ou soumis à usure, ainsi que ceux, plus indirects, qui en résultent. L'accent est mis sur la notion nouvelle de Hauteur Utile d'une meule, épaisseur de pierre consommable qui définit la longévité. Une attention particulière est dévolue aux dimensions de l'œil et à la conicité, notamment à travers la divisibilité de dimensions telles que le diamètre et la hauteur ou leurs rapports. Une approche métrologique montre l'utilisation de la partition en seizièmes et permet de définir le gabarit des meules même lorsque leur dimension en cm est différente. Ce travail de caractérisation conduit à rapprocher les meules d'Orvieto du foyer originel catalan au détriment de l'éventualité d'un transfert de modèle depuis les ateliers de l'Hérault (Agde). Les fabrications d'Orvieto sont systématiquement comparées avec un corpus de 2.000 MRB issues de 17 ateliers et 65 sites d'utilisation des meules. La notion de Hauteur Utile introduit au système de conception et souligne l'importance du rapport entre Diamètre et Hauteur. Les meules de l'Antiquité privilégient les diamètres valant 2 hauteurs et semblent ignorer la pression qui, faible, baisse rapidement avec l'usure. Toutefois, les modèles Quasi-Pompéiens (de type Morgantina ou Mont Faulat) ou ceux de Style Pompéien d'un gabarit de 2 à 3 pieds semblent avoir cerné, empiriquement ou par calcul, la pression constante qui sera celle des meules médiévales et modernes. Les meules de l'Antiquité ont cependant été dans l'incapacité d'atteindre le gabarit de 3 pieds (ca. 90 cm) sans doute en raison de l'augmentation vertigineuse du poids due à la conicité. L'adoption, généralisée à l'époque carolingienne, de la Meule Plate qui identifie hauteur totale et hauteur utile, va permettre la libération des diamètres. Dès lors sera pratiqué un amincissement relatif qui, diminuant la hauteur à mesure que croît l'envergure de la meule, permettra de stabiliser la pression.

**Engl- Mots-clés :** rotary querns, pompeian-style millstones, slope, *digitus*, norse-mill, gauge

This PhD dissertation deals with the unstudied small Low Rotary Querns hewn at Orvieto during Antiquity. Stress is set on the generative geometry by precisising the configuring parameters, either invariant or submitted to wear, and the indirect and derivated other ones. Usable Height is proposed as a concept refering to the erodible part of thickness i.e. the quern lifespan. Special focus is set on dimensions such as height and width of the eye, quern diameter, height and cone height after conversion into *digitus* measurement and in the key of divisibility. A metrological approach shows permanent use of the sixteenth partition and consent to define the size module of the stones even though their cm length is different. The orvietan querns are systematically compared within a corpus of nearly 2.000 items of Low Rotary Querns from 17 workshops and 65 use-sites. Closest similarity is shown with the Catalan originating area of rotary low mill, at the expense of a possible model transfert from the volcanic quern production area of Agde near Montpellier. The concept of Usable Height introduces to the designing system, highlighting the Classical preference for 2 heights wide diameters (2H module). Millstone pressure, small and quickly decreasing with use wear, seems to have been uncontrolled or ignored. However, Quasi-Pompeian models (as the Morgantina or Mt. Faulat types) or main Pompeian Style ones, large 2 or 3 ft, seem to have either empirically or through calculation, reached the stable level of millstone pressure proper to the Medieval and Modern period. Still, for querns manufacture in Classical times, the 3 ft gauge remained out of reach, probably due to the vertiginous growth in weight linked with diameter increase caused by quern angulation. Only the adoption, generalized during carolingian times, of the Flat Millstone Model which fuses Usable Height with total one will liberate the diameter for an almost infinite growth opened to

power development. Millstone fabrication will then practice a relative height-reducing rule (3 to 6 H module) in order to lower the weight and reach the fixed pressure norm.

**IT- Mots-clés :** macine rotatorie basse, macine di stile pompeiano, conicità, *digitus*, mulino a ritrecine, modulo

Questo primo studio delle Macine Rotatorie Basse, inedite, fabbricate ad Orvieto nell'Antichità, privilegia l'approccio della loro geometria generatrice, precisando i parametri configuranti, invariabili o sottoposti al consumo e quelli, indiretti, che ne derivano. Viene proposto il concetto di Altezza Utile (HU), cioè lo spessore di pietra che si consuma durante l'uso e quindi la durabilità. Un'attenzione particolare è rivolta alle dimensioni dell'occhio e alla conicità percepite attraverso la divisibilità delle dimensioni trascritte in *digiti*, quali diametro e altezza o i rapporti tra loro. Un approccio metrologico evidenzia l'uso della suddivisione in sedicesimi e consente di definire la misura delle macine anche nel caso in cui le loro dimensioni in centimetri siano differenti. Le macine di Orvieto vengono sistematicamente paragonate con un corpus di ben 2.000 MRB provenienti da 17 officine e 65 siti di utilizzo. Risultano più simili a quelle del focolare originario catalano, a scapito dell'eventualità di un transfert di modelli dalle officine dell'Hérault (Agde). Il concetto di Altezza Utile fa intravedere il sistema di concezione e sottolinea la preferenza dell'Antichità per i diametri che valevano 2 altezze. Sembra ignorata la pressione che, già debole, diminuisce rapidamente con l'usura. Tuttavia, i modelli Quasi-Pompeiani (tipo Morgantina o Mont Faulat) o quelli di Stile Pompeiano grandi 2 o 3 piedi sembrano aver colto, empiricamente o tramite calcolo, la pressione costante che risulterà essere quella delle macine medievali e moderne. Ciononostante, le macine dell'Antichità non sono riuscite a raggiungere questa misura di 3 piedi, probabilmente per il vertiginoso aumento di peso che risultava dalla conicità. L'adozione della Macina Piatta, che fonde Altezza Utile e Altezza totale, e appare generalizzata in epoca Carolingia consentirà la libera crescita del diametro. Verrà applicata una diminuzione relativa dello spessore, che diminuirà rispetto all'aumento del diametro della macina, consentendo di raggiungere il valore costante della pressione.

# TABLE des MATIÈRES

Dedicace, Remerciements  
Résumés FR., IT., EN.  
Note Technique  
Sommaire

**INTRODUCTION** p. 1

## **PARTIE I : ETAT DE LA QUESTION, PROBLÉMATIQUES, CORPUS**

<b>CHAPITRE 1. Historiographie</b>	<b>34 p.</b>
Aperçu historiographique : l'archéologie des meules et des moulins : p. 15 origines – essor des études – archéométrie – primauté de l'hydraulique – contribution italienne – fouilles et publication des meules et des ateliers –	
Thèses et Colloques : chronologie – orientations et thématiques p.26 – intensification - volume et rythmes –	
Traités anciens	p.44
<b>CHAPITRE 2. Problématiques des meules et du moulin</b>	<b>9 p.</b>
1. Problématiques attachées aux Moulins Rotatifs Bas (MRB)	p. 49
2. Problématiques attachées aux Moulins de Style Pompéien (MSP)	p. 52
3. Problématiques attachées aux Moulins Hydrauliques	p. 55
4. Problématiques orviétanes	p. 56
<b>CHAPITRE 3. Contexte technique et social de développement de la technologie du moulin rotatif</b>	<b>28 p.</b>
1. Apparition du Moulin Rotaif et mouvement de diffusion p. 58 - vers 500/400aC une nouveauté, 3 moulins pour 3 régions de la Méditerranée - la Trémie d'Olynthe – le modèle vertical pom- péien – le Moulin Rotatif Bas – ENCART : les plus anciens MRB	p. 67
2. La question de l'Origine Punique du moulin rotatif	p. 68
3. Concomitances p. 72 A- maîtrise maritime – essor des échanges – métallurgie – hiérarchisation sociale - développement des appareils u rotatifs - une partition culturelle : le domaine du moulin rotatif et celui des meules à va-et-vient B- communauté technique entre moulin rotatif et tour de potier	p. 79
Conclusion	p. 83

<b>CHAPITRE 4. ORVIETO : un centre producteur pluriel ? une large diffusion ?</b>	<b>23 p.</b>
1. Situation d'Orvieto & cadre volcanique	p. 86
2. La Ville	p. 86
3. Présentation de la production meulière	p. 89
- matériau - substrat technique et culturel - diffusion	p. 93
4. Les Meules volcaniques : des produits vraiment <i>large scale</i> ?	p. 98
- les laves, de bons traceurs	
- diffusion locale ou à long rayon : quelles productions ?	p. 103
- Orvieto : quelle échelle de diffusion ?	p. 104
5. Orvieto, une production massive ?	p. 106
<b>CHAPITRE 5. Le matériau : la Leucitite et la Province Magmatique Romaine</b>	<b>15 p.</b>
1. La Roman Magmatic Province, les Districts Volcaniques italiens et le complexe vulsinien	p. 109
2. Type de volcanisme et de dépôts, aspects du gisement	p. 111
3. Caractérisation et Provenance : pétrographie et géochimie	p. 113
	p. 118
<b>CHAPITRE 6. Corpus meulier d'Orvieto et Corpus de comparaison</b>	<b>34 p.</b>
1. Le Corpus des Meules d'Orvieto	p. 124
. Conditions d'acquisition	p. 125
. Structure du Corpus	p. 129
. Géographie globale des restes meuliers	p. 131
. Principales catégories de produits et dominances	p. 136
. Enregistrement	p. 139
. Taux de conservation à Orvieto	p. 141
. Corpus épigraphique	p. 144
. Association Pétrins / Meules de Style Pompéien	p. 145
2. Le Corpus de Comparaison	
. Conditions d'acquisition	p. 146
. Composition, géographie, chronologie, lacunes	p. 147
. Bibliographie et enregistrement de terrain	p. 148
. Corpus de comparaison des Meules de Style Pompéien	p. 149
. Corpus de comparaison des Meules Rotatives Basses	p. 151
. Exploitation du Corpus de Comparaison des MRB et création de nouvelles notions	p. 154

## PARTIE II : GÉOMÉTRIE, COMPARAISONS, USURE des MEULES ROTATIVES BASSES

<b>INTRODUCTION : sur les Meules, sur la Métrologie</b>	<b>p.159 20 p.</b>
1. sur les Meules : Notions Illustrées	
. Couple de Meules	p.160
. Axe et Rotation	p.161
. Motorisation	p.163
. Entraînement de la Meule	p.164
2. sur la Métrologie	

. Une métrologie régionale, importée ou spécifique aux meules ?	p.168
. Quelle Gamme de gabarits pour les Meules ?	p.168
. Identifier le pied d'une série meulière, entre idéal mathématique et méthodes empiriques	p.169
. Tester les dimensions par une liste de Pieds	p.172
. Amorce d'un référentiel de Métrologies régionales	p.175
. Application de la démarche empirique	p.177

## CHAPITRE 7. FAÇONNAGE des Meules, Orvieto et les Ateliers Primaires ou Secondaires 31 p.

Introduction	p.179
1. Etapes de Façonnage d'une Meule	
A. Méthodologie	p.180
B. 5 Stades	
I. Cylindres d'extraction	p.182
II. Préformes non générées	p.183
III. Angulation & Genrage des Meules	p.184
IV. Percement central	p.185
V. Finition & Emmanchements	p.186
2. Profil des Ateliers	
A. Objectifs, Méthodologie, Corpus	p.187
B. Classement des Ateliers selon leur Profil de Stades	p.188
1- Méthode	p.189
2- Profil de façonnage de 13 assemblages d'Atelier	p.190
3- 5 Types d'Ateliers	p.199
4- Ateliers Primaires & Secondaires	p.201
3. Orvieto : Atelier Primaire avec spatialisation des étapes de fabrication	p.205

## CHAPITRE 8. Le FORAGE des Meules 23 p.

Introduction	p.210
1. Le Forage sur les Meules Rotatives Basses entre Ebre & Rhin	p.211
A. Quelques témoignages du Forage meulier	
. meules du Chaudry, d'Els Vilars ou de la zone Rhénane	p.212
. meules de Bourgogne, meules du Hertfordshire	
B. Fréquence du forage des Meules	p.219
C. Indications de chronologie et de spatialité du forage	p.220
D. Diamètres : 2 modules, 2 phases de forage ?	p.222
E. Derrière le forage, un équipement en machines rotatives ?	p.224
2. Un Forage des Meules Rotatives Basses à Orvieto ?	p.225

## CHAPITRE 9. GÉOMÉTRIE et PARAMÈTRES des Meules 50 p.

Introduction	p.233
A. Les PLANS d'une Meule	p.234
- Plans fixes, Plans modile, Plans de Référence	
- Plans d'une <i>Meta</i> et questions spécifiques	p.235
B. Les 3 PARAMÈTRES fondamentaux d'une Meule	
1. Le Diamètre	p.236
2. La Hauteur	p.238
3. Dimension en carrière & Norme métrologique	p.239
4. La Conicité ou Pente	p.241
C. Le Temps paramètre caché : Hauteur Passive, Hauteur Utile & Longévité	
1. Composantes de la Hauteur des <i>Metae</i>	p.243
A- HU et HP	
B- Cas particulier des <i>Metae</i> à base évidée	p.245
ENCART : la <i>Meta</i> R.27-1 d'Orvieto	p.247
2. HU et HP des 3 types de <i>Catilli</i>	p.254
3. La notion de Rendement en Hauteur Utile d'une meule	p.258
D. Vers une Géométrie du Calcul de la Hauteur Utile : l'exemple d'un <i>Catillus</i> du Chaudry	p.262
1. Géométrie du <i>Catillus</i> du Chaudry & HU	p.264
2. Géométrie du Modèle 24 x 12 x 3 DGT & HU	p.268
A- Modèle à 14° et Emmanchement B2 médian	p.270
B- Modèle à 19° et Emmanchement B2 médian	p.274
ENCART : Trous d'Emmanchement sur les Ateliers	p.279
C- un calibrage de DOE et de dHOE pour le calcul de HU ?	p.280
Conclusion	p.282

## CHAPITRE 10. Le DIAMÈTRE

29 p.

Introduction	p.283
A. Corpus des DIAMÈTRES & Notations générales	p.284
B. L'ensemble des Diamètres : PIEDS & GABARITS	p.285
C. Les DEUX FILIÈRES de Gabarit	p.288
D. Les Diamètres à ORVIETO	p.291
1. Etendue, Moyenne et Gabarits	p.292
2. Métrologie et Gamme de Gabarits : démarche	p.293
3. Méthode Métrologique	
. Estimation du pied par 41-48 cm	p.297
. Transcription des diamètres en dgt	p.298
. Sélection des pieds	p.299
. Meilleure association de pieds	p.299
. Etablir le Profil des Gabarits	p.300
4. Métrologie des Diamètres & Gamme des Gabarits à Orvieto	p.302
E. Croissance des Diamètres & Chronologie	p.305
Conclusion	p.307
Tables	p.311

## CHAPITRE 11. La HAUTEUR 22 p.

Introduction	p.337
1. Les HAUTEURS sur les Ateliers meuliers	
A. Un standard majoritaire : 8-10 doigts	p.338
B. Des Hauteurs sans signification chronologique ni spatialité	p.340
C. Des Hauteurs relativement indifférentes à la Conicité	p.342
D. 2 ou 3 standards d'épaisseur propres à chaque Atelier	p.343
2. Les HAUTEURS sur les sites d'Utilisation des meules	p.344
A. La Hauteur Passive Incompressible	p.345
B. Le Profil spécifiques des assemblages d'Utilisation	p.346
C. Comparaison entre le Profil des Hauteurs en Atelier et sur les sites d'Utilisation correspondant	p.347
. Les Fossottes & l'Alsace	p.347
. Le Chaudry & Argentomagus	p.348
. Agde & Pech Maho, Ensérune, Peyriac, Lattes	p.349
D. Schémas comparés des hauteurs Neuves et Usées	p.352
Conclusion	p.356

## CHAPITRE 12. La CONICITÉ 11 p.

Introduction	p.359
1. La CONICITÉ des MRB	p.359
2. CONICITÉ des MRB à ORVIETO	p.361
- 2 Normes de Conicité	p.361
- production duale	p.361
- détermination géométrique des normes de Conicité ?	p.361
- réalisation approchée des normes ?	p.363
- Conicités Distantes à Orvieto	p.364
3. CONICITÉ & DIAMÈTRE	p.364
4. CONICITÉ, DIAMÈTRE & HAUTEUR du CÔNE	p.368

## CHAPITRE 13. L'ŒIL & L'ŒILLARD 27 p.

Introduction	p.370
A. L'ŒILLARD des <i>Catilli</i> : Orvieto & ATELIERS	p.373
1. Données & spectre de 4 Ateliers	p.374
2. Diamètres de l'Œillard & du <i>Catillus</i>	p.375
B. L'ŒILLARD des <i>Catilli</i> : contextes d'UTILISATION	p.378
1. Données & spectre des 13 sites d'Utilisation	p.378
2. Proportionnement de l'Œillard	p.380
3. Augmentation de l'Œillard en contexte d'Utilisation	p.381
C. Les 3 GABARITS d'ŒILLARD	p.383
1. Présentation des 3 Gabarits	p.385
2. Spécificité du Gabarit 3 ?	p.386
3. Dominance du Gabarit 1 ou 2 : une dualité géographique ?	p.390
D. Un système cohérent de rapports entre ŒILLARD &	p.391

<b>Diamètre du <i>Catillus</i></b>	
1. La moyenne du rapport DOE/D	p.392
2. Un DOE dimensionné en dgt entiers	p.393
3. Dominance des Gabarits canoniques	p.397
4. Rareté des Diamètres de Gabarit de 16 dgt	p.399
5. Œillard & Surface du <i>Catillus</i>	p.401
Conclusion	p.401
TABLES	p.404

## CHAPITRE 14. La LONGÉVITÉ : Réduction & Potentialisation 33 p.

Introduction	p.407
1. Dispositions (6) Minorant la Longévité d'une MRB	p.409
2. Dispositions (3) Majorant la Longévité d'une MRB	p.412
3. Majoration de la Longévité des <i>Catilli</i> hydrauliques	p.415
4. Proposition de Classement des MRB selon leur Type de Hauteur Utile	p.420
A- Types de <i>Catilli</i>	p.420
Tableau Typologique des <i>Catilli</i>	p.426
B- Types de <i>Metae</i>	p.427
Tableau Typologique des <i>Metae</i>	p.431
5. Incidence des EMMANCHEMENTS & Typologie de Position	
A- problématiques liées aux Mortaises d'Emmancement	p.431
B- les Mortaises d'Emmancement dans les Ateliers	p.435
C- Typologie de Position des Mortaises d'Emmancement	p.436

## CHAPITRE 15. L'ASSISE des *Metae* & la Typologie des Bases 15 p.

Introduction	p.440
1. TYPOLOGIE	p.440
présentation des types, fréquence, spatialité, chronologie	
2. Des ASSISES façonnées en ATELIER ou en dehors ?	p.450
comparaison du spectre typologique de 45 sites	

## CHAPITRE 16. L'EVIDEMENT interne des *Metae* à ORVIETO 6 p.

Introduction	p.455
1. Dimensions & Distribution de Hc	p.455
2. Etat Final & Etat Intermédiaire de Hc : la Norme Hc = ½ H	p.457
Conclusions	p.459
Table	p.460



## CHAPITRE 17. La HAUTEUR UTILE des MRB d'ORVIETO

74 p.

Introduction	p.461
1. La Hauteur Utile des <i>Metae</i> d'Orvieto :	p.461
. Hauteur Utile des <i>Metae</i> achevées	p.462
. Minoration de la Hauteur Utile par l'Evidement de la base	p.463
. Hauteur Utile hors normes de quelques <i>Metae</i>	p.466
. Hauteur Utile : Normes ou continuum ?	p.466
. Métrologie des Hauteurs Utiles observées	p.467
. Hauteur et Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.471
2. La Hauteur Utile des <i>Catilli</i> d'Orvieto	p.474
3. Simulations de Rendements en HU des <i>Catilli</i>	p.477
4. Une Différence de Hauteur Utile entre <i>Metae</i> & <i>Catilli</i> à Orvieto	p.484
3. Comparaison entre la H. UTILE d'Orvieto et d'autres Ateliers	p.486
5.A Hauteur Utile en zone Ibérique : Els Vilars	p.488
5.B Hauteur Utile en France centrale :	
Le Chaudry et le différentiel de HU entre <i>Metae</i> & <i>Catilli</i>	p.490
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.490
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.491
. simulation de Hauteur initiale	p.493
. des <i>Catilli</i> neufs ?	p.496
5.C Hauteur Utile en zone Rhénane :	
productions de Bad Nauheim	p.500
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.500
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.505
5.D Hauteur Utile en zone Rhénane :	
productions des Fossottes	p.509
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.510
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.512
4. SYNTHÈSE	p.514
. méthode par les couples HU et H	p.514
. méthode par les moyennes	p.519
. Hauteur Utile des <i>Metae</i> et des <i>Catilli</i>	p.524
. Pourquoi une réduction de la Hauteur Utile des <i>Metae</i> à Orvieto ?	p.529
Conclusions	p.532

## CHAPITRE 18. Le DEGRÉ d'USURE, l'Indice de Rectangularité & le passage au Modèle Médiéval des meules

35 p.

Introduction	p.536
1. Calcul du Degré d'Usure par la Hauteur Utile	p.537
2. Estimation du Degré d'Usure par l'IREC (Indice de Rectangularité du Profil)	p.538
3. Exemples d'IREC sur Ateliers et assemblages d'Utilisation : Orvieto, le Chaudry, La Lande	p.542
4. La question des Meules Minces dans l'Antiquité :	p.546
- Meules de Rhénanie (1828) et des Flandres (1600-1700)	p.547

- Meules Trapues	p.550
- Meules Amincies	p.550
- Meules Mincees altomédiévales : le modèle Dorestad	p.552
- L'Amincissement Relatif	p.553
5. Des meules Antiques aux meules Médiévales & Modernes :	p.555
Meules Plates, Amincissement Relatif et Pression stabilisée	
A- le standard Antique 2H et la divisibilité	p.557
B- du standard 2 H au standard 5 H et la question de la Pression	p.561
Conclusions	p.569

## CHAPITRE 19. Origine & Déploiement du MOULIN PLAT 24 p.

Introduction	p.573
1. Moulin plat : deux aires vers le III <sup>e</sup> s. aC	p.574
2. Aire Nord et Sud du Moulin Plat et question de l'origine	p.578
3. Evolution zonale du Moulin Plat en période Romaine	p.583
4. Evolution de la Fréquence du MPL en période Romaine	p.589
5. Provenance Britannique ou Continentale du Moulin Plat ?	p.590
6. Orvieto et le Moulin Plat	p.591
7. Meules Plates, Villes, Grand gabarits	p.592
Conclusions : une fabrication de rupture	p. 595

## CHAPITRE 20. Les Meules de Très GRAND FORMAT 30 p.

Introduction	p.597
1. Remarques préliminaires : définition, rareté, hydraulique, datation	p.598
2. Les Très Grands Formats à Orvieto	p.602
3. Métrologie des Très Grands Formats	p.607
4. Conicité des Très Grands Formats	p.618
5. Des meules hydrauliques ?	p.621
Conclusions : grande rareté & culture de la conicité	p.624

## CHAPITRE 21. Quelles Meules pour le Moulin de Petite Hydraulique ? 19 p.

Introduction	p.626
1. L'Œil Traversant condition de la motion hydraulique	p.630
2. Une Conicité particulière : 31-34°	p.634
3. La Conicité 31-34° et les Fortes Conicités	p.636
Conclusions	p.643

## SYNTHÈSE p.645 27 p.

ORVIETO et la production de Meules Rotatives Basses	p.646
Orientations privilégiées, Acquis et Perspectives	p.658
Meules de l'Antiquité et vraie Révolution du Moyen Age	p.662

<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>p.672</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>11 p.</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>187 p.</b>