



HAL
open science

Aspects économiques de la construction du rempart d'Augustodunum (Autun) : origine des matériaux rocheux et première approche quantitative

Vivien Barrière

► **To cite this version:**

Vivien Barrière. Aspects économiques de la construction du rempart d'Augustodunum (Autun) : origine des matériaux rocheux et première approche quantitative. Quantitative Studies and Production Cost of Roman Public Construction, UCOPress, Editorial Universidad de Córdoba, p. 264-299, 2020, 978-84-9927-545-1. hal-03154030

HAL Id: hal-03154030

<https://hal.science/hal-03154030>

Submitted on 5 May 2021

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.

Aspects économiques de la construction du rempart d'Augustodunum (Autun) : origine des matériaux rocheux et première approche quantitative

Vivien Barrière

Université de Cergy-Pontoise

Summary

Can the discourse between patron and architect be reduced to conflicting considerations between aesthetic and economic aspects without considering the crucial issue of the availability of rock resources in the vicinity of the construction site? The study of Augustodunum wall, towers and gates demonstrates how the choice of a building material results from a compromise between technical, aesthetic and economic aspects. A quantitative study of the volumes of the various building materials used to build the urban wall shows how the Aedui decided to make the best use of the resources of their territory.

Keywords

Quantitative data, materials transport, logistics, limestone, sandstone, petro-archaeology, quarries, public works, construction project

INTRODUCTION

L'étude de l'économie des chantiers peut s'entendre au double sens du terme. C'est d'abord tenter de déterminer comment le chantier de construction est réglé dans son fonctionnement par le principe d'épargne, par le souci d'économie de moyens et tout simplement par une gestion budgétaire rigoureuse. On peut également entendre l'expression dans un sens plus large, renvoyant à l'impact économique du chantier de construction à l'échelle locale et régionale, à la compréhension de son réseau d'approvisionnement en matériaux et, plus largement, à l'environnement économique dans lequel s'inscrit le chantier⁷⁴⁹.

Cette approche à deux niveaux pourrait reconstruire d'une nouvelle manière le lien parfois arbitrairement établi entre les objets archéologiques et les problématiques historiques – un lien souvent ténu, toujours délicat. Une étude technique du bâti du rempart antique d'Autun (**Fig. 1**) peut-elle par exemple apporter des réponses aux enjeux historiques soulevés par la fondation *ex nihilo* d'*Augustodunum* (Gaule Lyonnaise) et le transfert de la population éduenne venue du mont Beuvray ? Quand ce déplacement de population depuis Bibracte a-t-il eu lieu ? Quand le processus de création de la ville nouvelle a-t-il été engagé ? L'a-t-il été à l'initiative du pouvoir central dans la mesure où le nom même d'*Augustodunum* met à l'honneur le titre du *Princeps* et où aucune construction de rempart ne peut se faire sans autorisation impériale ? La création de la ville est-elle, à l'inverse, due à des élites éduennes désireuses d'établir en plaine une vaste ville à la parure romaine ? Bien sûr, l'étude stylistique du décor sculpté des portes urbaines ou la fouille de tronçons de courtine et de tours ont d'ores et déjà apporté des éléments de datation permettant de cerner la durée approximative du chantier de l'enceinte urbaine des années 15 av. J.-C. au milieu du I^{er} s. ap. J.-C.⁷⁵⁰. Mais, en réduisant le rempart à son seul bâti, en se limitant à une étude technique de l'appareil mis en œuvre, à une étude typologique des tours ou à la seule mise en série architecturale des portes urbaines, on risque probablement de se couper des questionnements historiques.

A contrario, si l'on envisage non pas seulement le bâti conservé mais l'ensemble du processus de construction qui a abouti à sa production, on en vient immédiatement à restituer le fonctionnement d'un chantier, son organisation interne, sa hiérarchie, l'organisation d'une succession d'opérations accomplies par des corps de métier distincts, la logistique que suppose la mise en place d'un approvisionnement continu et maîtrisé en matériaux de construction. En s'interrogeant sur la nature des choix budgétaires opérés dans le choix des matériaux de construction, on espère reconstituer les réflexions de l'architecte face aux instructions du commanditaire : tel est l'objectif des présentes pages, chercher à reposer les termes de l'équation qu'ont jadis dû résoudre ceux qui conçurent et financèrent l'enceinte urbaine d'*Augustodunum*.

⁷⁴⁹ Camporeale *et alii* 2012: 9-10.

⁷⁵⁰ Bet *et alii* 2004 ; Olivier 2010.

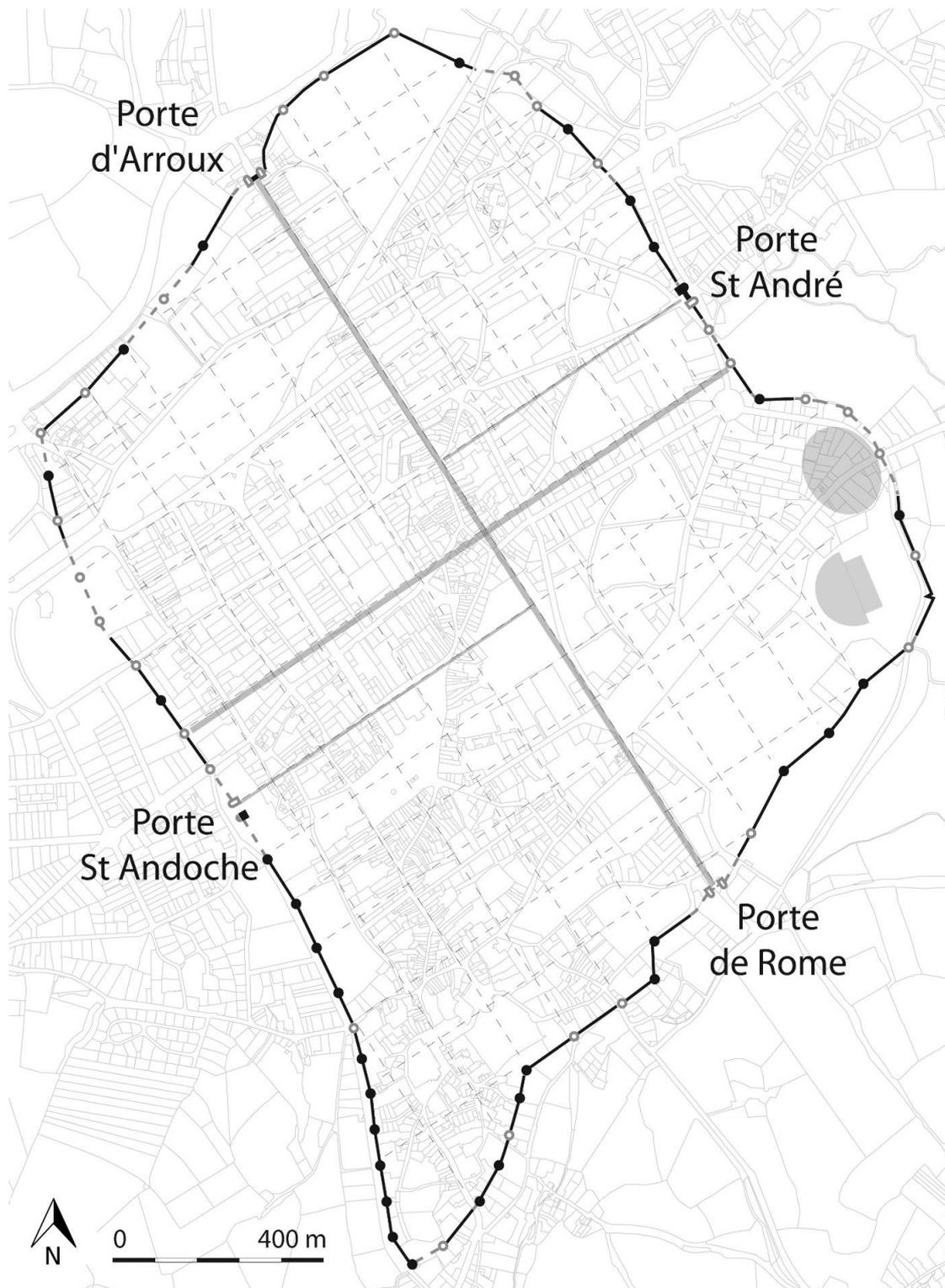


Fig. 1. *Augustodunum*. Plan de l'enceinte et des axes desservant les portes urbaines (d'après Fort 2007).

ETUDIER LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION POUR RECONSTITUER LA DISCUSSION ENTRE LE COMMANDITAIRE ET L'ARCHITECTE

Les réflexions que l'architecte et le commanditaire ont menées pour arrêter le choix d'un matériau de construction au détriment de tel autre s'articulent autour de trois logiques : celle des choix budgétaires, celle des contraintes techniques et celle des partis-pris esthétiques.

L'organisation de tout chantier de construction, qu'il s'agisse d'une commande publique ou du projet d'un particulier, est conditionnée par les moyens financiers que le commanditaire accepte d'y consacrer : d'une part, le coût de la main d'œuvre qui dépend du nombre de travailleurs, du degré de spécialisation des ouvriers, du temps de travail et, d'autre part, le coût des matériaux de construction, qui prend également en compte le coût de leur production, de leur transformation éventuelle, de leur acheminement sur le lieu du chantier, le temps de ce transport et les frais qu'il occasionne. Dans une optique d'économie des moyens, le choix le plus attendu consiste à préférer les ressources rocheuses locales afin de diminuer le temps et le coût de transport depuis la carrière jusqu'au chantier. De ce fait, la disponibilité ou non de ressources rocheuses proches du chantier apparaît comme une donnée des plus cruciales au moment de l'élaboration du projet architectural⁷⁵¹.

Ce point nous permet d'envisager la deuxième logique évoquée plus haut, celle des contraintes techniques qui, à l'inverse de la précédente, relève moins du commanditaire que de l'architecte. Il appartient en effet à ce dernier de formuler une proposition technique résolvant les contraintes structurelles et statiques, ce qui suppose de connaître les propriétés intrinsèques des différents matériaux disponibles, ce que Vitruve appelle les *virtutes* des matériaux. Cette connaissance permet l'emploi du matériau rocheux le plus adapté à sa fonction architecturale : en effet, les caractéristiques d'un élément porteur, d'un bloc en position d'angle ou de sommier amené à recevoir de fortes sollicitations n'ont que peu à voir avec les qualités recherchées pour un bloc de corniche destiné à être saillant et à recevoir un décor sculpté⁷⁵². Les constructeurs romains sont parfaitement conscients de la diversité des matériaux et savent pertinemment les utiliser en fonction de leurs propriétés respectives : "*hae autem inveniuntur esse disparibus et dissimilibus virtutibus*"⁷⁵³.

⁷⁵¹ La question de la disponibilité des matériaux « pour le chantier de construction, en particulier la présence ou l'absence de diverses qualités de pierres à leur proximité » est, d'après l'expression de J.-C. Bessac (2004 : 16), « la première des préoccupations des constructeurs antiques et traditionnels ».

⁷⁵² Dessales 2011: 49-51.

⁷⁵³ « Il se trouve que tous les matériaux rocheux sont loin de posséder les mêmes qualités » (Vitr. 2.7.1, ed. Callebaut 1999, traduction personnelle). Vitruve évoque ensuite la diversité de la réaction des matériaux rocheux face à la taille, à l'érosion, à l'eau, au gel, au feu.

Enfin, lors de l'élaboration du projet architectural, entre en ligne de compte la logique esthétique dont le rôle a longtemps été surévalué au détriment des deux facteurs précédents quand elle ne les a pas tout simplement éclipsés, comme le déplore avec raison Jean-Claude Bessac⁷⁵⁴. Pour autant, rares sont les commanditaires qui investissent dans une entreprise de construction sans se soucier de l'aspect esthétique final – du moins pour les seuls matériaux destinés à être visibles, qu'il s'agisse de roches décoratives en placage, d'enduits peints ou de blocs de grand appareil de pierre de taille dont le parement régulier confère un aspect monumental immédiat. L'aspect ostentatoire, dont l'importance ne saurait raisonnablement être niée, demeure en effet dépendant des choix budgétaires dans la mesure où, sauf exception, l'investissement financier se concentre sur les parties visibles de l'édifice qui ont l'apanage des matériaux recherchés et des techniques décoratives onéreuses. Les choix esthétiques dont témoignent les vestiges architecturaux nous renseignent ainsi sur l'importance accordée par le commanditaire à telle ou telle partie de l'édifice au moment de la conception du projet architectural.

Si l'on entend reconstituer l'économie du chantier de construction du rempart d'*Augustodunum*, il faut tout d'abord déterminer la nature des matériaux de construction employés afin d'identifier les carrières dont ils sont extraits. Ensuite, il s'agit de comprendre quels critères ont présidé au choix de tel ou tel matériau en fonction de l'emploi qui en est fait (critères techniques et esthétiques), de la fréquence ou de la rareté de son emploi (critère économique). Pour chaque composante de l'enceinte, murs, portes et tours, on cherchera à établir quel équilibre a été trouvé entre ces trois facteurs « en étroite interaction »⁷⁵⁵.

La compréhension des modalités du choix des matériaux permet en effet de déterminer quelle fut la politique d'approvisionnement, de production et de transport des matériaux sur le chantier. A titre de comparaison, il a été calculé que la production et le transport des matériaux de construction représentaient un tiers du coût total du chantier des thermes de Caracalla à Rome⁷⁵⁶. Bien qu'il ne s'agisse pas de la même période chronologique, ni du même type de construction, ni des mêmes techniques de construction, ce chiffre nous interdit absolument de considérer la gestion des matériaux comme une simple phase préliminaire et, pour ainsi dire, étrangère au chantier de construction proprement dit. Au contraire, ce choix déterminant dans l'ensemble du processus de construction permet de cerner les solutions retenues et écartées lors de la conception du projet architectural et de dessiner ainsi les contours du dialogue qu'ont eu le commanditaire et son architecte.

⁷⁵⁴ Bessac 2014: 15-16.

⁷⁵⁵ Bessac 2014: 16.

⁷⁵⁶ DeLaine 1997: 103-130, 211-220.

LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DE L'ENCEINTE URBAINE D'AUGUSTODUNUM

L'ensemble des matériaux employés lors du chantier de construction de l'enceinte d'*Augustodunum* provient des environs d'Autun, comme l'ont établi les travaux d'une équipe de géologues constituée autour d'Annie et Philippe Blanc⁷⁵⁷ : "Autun est située sur la marge méridionale d'un bassin sédimentaire permo-carbonifère (300 à 250 Ma). A l'ouest, dans les monts du Morvan, affleurent des roches endogènes (granites et tufs volcaniques) ; au sud, le massif d'Antully est constitué de granites, de gneiss et est recouvert, comme le bassin d'Autun, de dépôts du Trias (200 Ma), arkoses et grès"⁷⁵⁸. Si l'on raisonne à partir des deux portes les mieux conservées de l'enceinte, la porte d'Arroux et la porte Saint-André, on n'observe pas une grande variété de matériaux. La porte d'Arroux (**Fig. 2, Fig.3**) est pour l'essentiel constituée d'une seule et même roche, du calcaire oolithique blanc, même si elle possède quelques blocs de grès en partie basse. Quant à la porte Saint-André (**Fig. 2**), ses constructeurs avaient eu recours aux deux mêmes matériaux, quoique dans des proportions différentes.

Le calcaire oolithique de Fontaines

Pour ce qui est de la totalité des élévations conservées de la porte d'Arroux (à l'exclusion de son soubassement (**Fig. 3**) et du premier niveau de la porte Saint-André (entablement intermédiaire compris), la pierre utilisée est un calcaire oolithique blanc provenant des terrains du Jurassique supérieur de Bourgogne (Oxfordien supérieur – Kimméridgien inférieur, 140-150 Ma) : ce type de calcaire constitué d'oolithes et de débris de fossiles marins se caractérise par sa blancheur et sa résistance. Lors de l'élaboration du projet architectural, les qualités esthétiques et mécaniques de ce matériau lui ont valu d'être retenu pour constituer les éléments structurels de l'édifice qui retiennent l'attention : les piédroits, les voûtes du premier niveau et les arcades du deuxième niveau, en somme la quasi-totalité du corps central situé entre les deux tours de flanquement de la porte urbaine, là où convergeaient tous les regards. Plusieurs de ces parties revêtent d'ailleurs un décor sculpté : des impostes au sommet des piédroits, des archivoltes extradossées sur les façades des baies, des entablements couronnant chacun des deux niveaux, une galerie d'arcades ornées de pilastres. Il s'agit d'impressionner les passants à la fois par le recours au grand appareil de pierre de taille, par la blancheur du matériau et par la beauté du décor.

⁷⁵⁷ Ces recherches sur les matériaux de construction d'*Augustodunum* (étude de la carte géologique de la région, prospections et analyses pétrographiques en carrières) ont permis la localisation de leur carrière de provenance. Commencées dans les années 1980 (avec Annie Blanc, Philippe Blanc, Claude Lorenz, Jacqueline Lorenz et Jacques de La Combe), ces études connurent une nouvelle impulsion à partir de 2001, dans le cadre du PCR « Pierre, Technique et Décor architectonique à *Augustodunum* : de la carrière au monument », dirigé par V. Brunet-Gaston (avec A. Blanc, P. Blanc, J. Lorenz, Jean-Pierre Gely et Didier Lamotte).

⁷⁵⁸ Blanc, Blanc 2006: 38 ; Brunet-Gaston *et alii* 2009: 409.

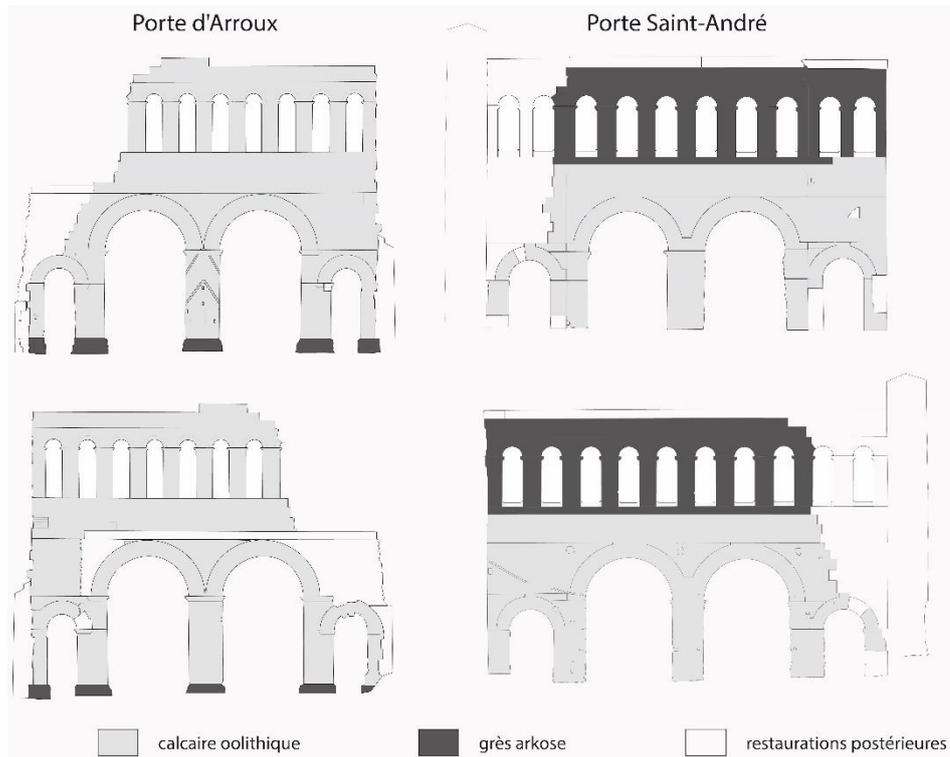


Fig. 2. Répartition des matériaux de construction dans les corps centraux de la porte d'Arroux et de la porte Saint-André.



Fig. 3. Façade côté campagne de la porte d'Arroux.

Ce calcaire oolithique aurait été exploité jusqu'en 1963 sur la commune de Fontaines, aux Carrières Blanches, à quelques kilomètres au nord de Givry, soit à 35 km à vol d'oiseau d'*Augustodunum*⁷⁵⁹. Pour les calcaires qui composent la quasi-totalité de la porte d'Arroux et la partie inférieure de la porte Saint-André, les constructeurs sont donc allés chercher leurs matériaux trois fois plus loin que le grès arkose, également employé lors de la construction des deux portes mais disponible à une douzaine de kilomètres seulement de la ville. Toutefois, ces carrières de calcaire étaient situées non loin de la voie romaine reliant Autun à Chalon, axe qui a facilité l'acheminement de ces matériaux de construction.

Au-delà des portes urbaines, le calcaire blanc de la côte chalonnaise a également été utilisé à *Augustodunum* pour sculpter des entablements monumentaux et divers autres éléments décoratifs : cette pierre demi-ferme se prête bien en effet à la sculpture ornementale fine. À partir de la seconde moitié du I^{er} siècle et surtout à l'époque sévérienne, on tend à lui préférer un calcaire issu du Tonnerrois et un marbre type Carrare pour réaliser les chapiteaux.

Le grès arkose du bois des Cros

Les deux portes urbaines les mieux conservées d'Autun contiennent également des blocs d'arkose originaires des bordures du plateau d'Antully, situé à une douzaine de kilomètres au sud-est d'Autun : Antully, Saint-Emiland, le bois des Cros, Prodhun et l'étang de la Noue sont les principales carrières d'arkose. Ces arkoses sont des roches sédimentaires constituées de quartz, de feldspaths et de micas, qui résultent de la désagrégation des roches cristallines des massifs environnants ; elles appartiennent à des terrains du Trias (datés de 220 Ma environ). Des prospections dans les anciennes carrières ont révélé la présence de bancs dont l'épaisseur est comprise entre 1,50 m et un peu plus de 2 m⁷⁶⁰. Ce matériau, facile d'accès, a été particulièrement utilisé dans la construction d'Autun au cours du I^{er} siècle de notre ère selon les études dirigées par V. Brunet-Gaston, en particulier pour des moulurations simples dans des entablements, des chapiteaux toscans, ioniques ou corinthiens, des colonnes et des bases⁷⁶¹. Très peu fréquent dans le cas de modénatures élaborées, le grès arkose est un matériau bien adapté aux moulurations linéaires.

⁷⁵⁹ La carrière de Fontaines se situe sur le flanc oriental de la Montagne Saint-Hilaire. Avant la réalisation de ces analyses pétrographiques, on considérait que le calcaire blanc de la porte d'Arroux était un calcaire coquiller du Mont-Saint-Jean, dans le canton de Pouilly-en-Auxois, à un peu moins de 40 km au nord d'Autun, et non un calcaire blanc oolithique de la côte chalonnaise (par exemple Fontenay 1878: 79).

⁷⁶⁰ Brunet-Gaston *et alii* 2009: 409.

⁷⁶¹ Brunet-Gaston *et alii* 2006: 20-14, 53, 87.

Ce matériau a été employé au niveau du soubassement des piédroits des portes urbaines. À la porte d'Arroux, les deux assises de grès arkose sont encore visibles au pied de chacun des cinq piédroits du corps central de l'édifice, même si l'assise inférieure ne fait qu'affleurer par rapport au niveau de circulation actuel. En ce qui concerne la porte Saint-André (**Fig. 4**), bien que la partie inférieure des cinq piédroits de la porte soit aujourd'hui dissimulée aux regards par un remblai d'environ 75 cm d'épaisseur, le dispositif était similaire. Deux clichés pris en 1851 par Edouard Baldus⁷⁶² permettent de distinguer le sommet d'un soubassement en arkose analogue à celui de la porte d'Arroux.

Outre les soubassements des piédroits du corps central des portes urbaines, on retrouve l'emploi du grès arkose du bois des Cros en soubassement des tours de flanquement des portes. Seule la tour de flanquement nord de la porte Saint-André (**Fig. 5**) permet aujourd'hui d'observer cette assise de grand appareil mais il est évident que la tour de flanquement sud présentait le même dispositif.

Quant aux tours de flanquement des autres portes urbaines, elles ne sont pas conservées en élévation (porte d'Arroux, porte de Rome) ou alors sont partiellement recouvertes par des niveaux de remblais (porte Saint-Andoche). Cela dit, il est très probable qu'elles aient possédé elles aussi une assise de grand appareil de grès arkose. On en trouve une confirmation dans les relevés de Jean Roidot-Deléage, architecte-voyer de la ville d'Autun qui conduisit des fouilles en 1850 au niveau de la tour Saint-Andoche.

L'utilisation de l'arkose comme transition entre les fondations enterrées et l'élévation en calcaire oolithique découle de la connaissance des propriétés intrinsèques des matériaux. Ce même matériau a également été employé pour établir le soubassement de la pyramide de Couhard, monument funéraire qui domine la nécropole du Champ des Urnes, à 700 m environ au sud-est de la porte de Rome. Pourquoi ne pas avoir utilisé le calcaire oolithique pour les assises de soubassement ? Si le calcaire oolithique se révèle très résistant utilisé en élévation, il se dégrade en revanche rapidement au contact d'une humidité prolongée. La porosité du calcaire favorise les remontées salines et leur cycle de cristallisation / dissolution qui créent des fissures dans le matériau jusqu'à son éclatement : les blocs composant les piédroits en calcaire de la porte Saint-André qui, avec l'exhaussement du niveau de circulation, se sont trouvés ensevelis (comme c'est toujours le cas partiellement aujourd'hui) se sont révélés trop abîmés pour être conservés lorsque des travaux de nivellement ont eu lieu autour de la porte au milieu des années 1840. L'arkose en revanche s'altère beaucoup moins au contact de l'humidité du sol. Le caractère argileux du liant constitutif de l'arkose pourrait limiter les remontées capillaires

⁷⁶² En 1851, à la demande de la Commission des Monuments Historiques, le photographe Edouard Baldus réalisa deux clichés des portes d'Arroux et de Saint-André : les négatifs originaux sont conservés au musée d'Orsay (DO 1982 478 ; DO 1982 479). Ce sont les plus anciens témoignages photographiques conservés des portes d'Autun, et très probablement les premiers qui aient existé. Réalisés deux ans après la fin des travaux de restauration de la porte romaine confiés à Eugène Viollet-le-Duc et avant l'exhaussement du sol, ces documents apportent la preuve photographique de l'existence de soubassements en arkose au niveau du piédroit central et du piédroit voisin (entre la baie centrale nord et la baie latérale contiguë).



Fig. 4. Façade côté campagne de la porte Saint-André. On distingue le soubassement en grès arkose des piédroits qui affleure. (cl. E. Baldus, 1851, Musée d'Orsay).

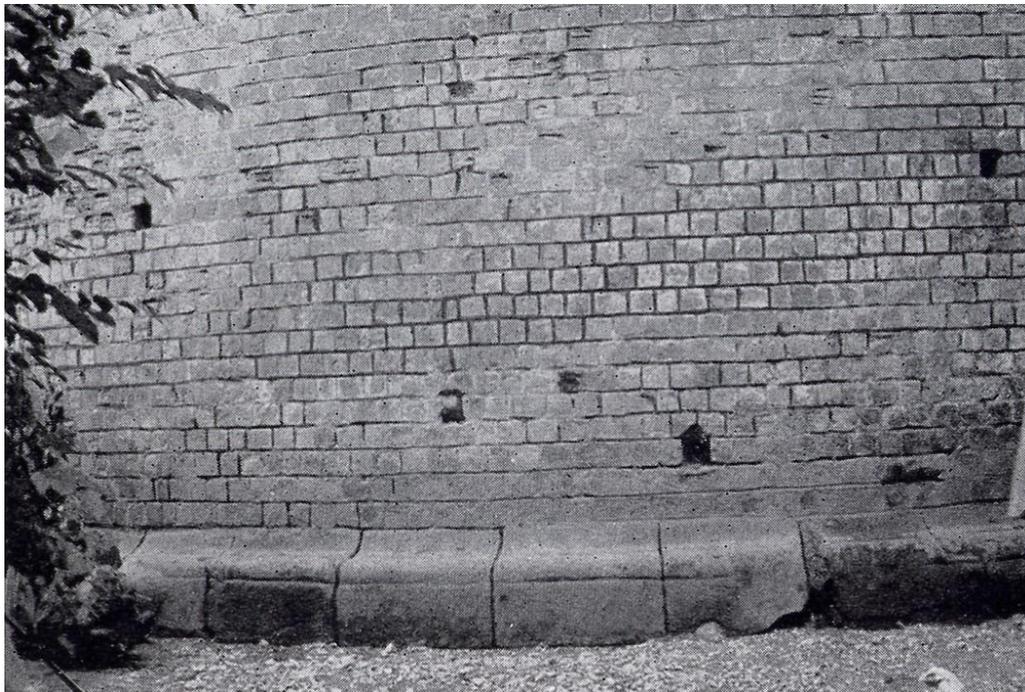


Fig. 5. Tour de flanquement nord de la porte Saint-André : soubassement mouluré en grès arkose et élévation en petit appareil de grès fin du Rhétien (cl. Duval y Quoniam 1963: 169).

de l'eau au sein du bâti. Quoi qu'il en soit, l'emploi spécifique de l'arkose en soubassement montre que les constructeurs gallo-romains avaient une connaissance empirique de la résistance à l'humidité de ce matériau.

Se pose aussi la question de savoir pour quelle raison on a recouru à l'arkose pour construire la galerie supérieure de la porte Saint-André alors qu'à la porte d'Arroux, les constructeurs avaient fait le choix d'utiliser le calcaire oolithique de la côte chalonaise comme pour l'ensemble de la partie inférieure de la porte. S'agit-il d'un parti-pris esthétique de l'architecte désireux de créer un contraste entre le blanc en partie basse et le gris foncé en partie haute ? Cela résulte-t-il d'une logique du moindre coût puisque les carrières d'arkose sont situées à une douzaine de kilomètres d'Autun ? S'agit-il d'un choix lié aux propriétés du matériau ? Cette dernière hypothèse semble pouvoir être écartée, étant donné qu'un choix différent a été fait à la porte d'Arroux pour une structure en étage du même type. S'il s'agit d'une volonté de limiter les coûts de transport, il serait logique qu'on ait alors affaire à une phase de réfection ultérieure plutôt qu'à la phase de construction initiale au cours de laquelle les carrières de calcaire de la côte chalonaise avaient été sollicitées (comme l'illustre la porte d'Arroux). L'analyse architecturale des élévations conservées confirme l'hypothèse de deux phases séparées dans le temps, et non de deux simples étapes de chantier : l'assise comprise entre la corniche médiane de la porte Saint-André et la base des piédroits de la galerie d'arcades a conservé, à son extrémité nord, deux blocs de calcaire oolithique alors que le reste de l'assise est en grès arkose (**Fig. 6**). La présence de ces blocs de calcaire oolithique indique que l'ensemble du deuxième niveau de la porte Saint-André avait été initialement construit dans ce matériau.

Quand et pourquoi la réfection de la galerie d'arcades fut-elle décidée ? Nous l'ignorons exactement et constatons seulement qu'elle fut reconstruite à l'identique en plan mais dans un matériau distinct du matériau originel. Le calcaire oolithique a-t-il alors été jugé trop peu fiable (raisons techniques) ou trop onéreux (raisons financières) ? Ce n'est en tout cas pas pour des raisons esthétiques que le choix de l'arkose s'imposa : non seulement ce matériau se prête peu à la réalisation d'un décor sculpté élaboré mais on ne comprend pas pourquoi les deux blocs de calcaire oolithique restants auraient été maintenus en place si c'était une logique esthétique qui avait prévalu.

Le granite à deux micras de Couhard

Il s'agit d'un granite particulier qui se distingue par la présence de deux lits de mica blanc et noir séparant des cristaux de feldspath rose et jaune. Le granite à deux micras qui a été massivement employé pour produire les moellons de l'enceinte provient du hameau de Couhard, une zone située immédiatement au sud-est d'Autun. Le front de taille de la carrière, située au sud de Couhard, à proximité de la cascade de Brisecou, présente encore



Fig. 6. Façade côté campagne de la porte Saint-André : au-dessus de la corniche médiane, deux blocs de calcaire oolithique de Fontaines (construction initiale) et blocs de grès arkose (réfection ultérieure).



Fig. 7. Tronçon de mur de courtine au sud de la porte Saint-André : blocage composé de mortier de chaux et de nombreux moellons de granite à deux micas

aujourd'hui une hauteur supérieure à 20 m⁷⁶³. Son emploi dans le cadre de la construction des portes urbaines semble ponctuel : pourtant, ce granite fait partie des matériaux mis à contribution lors de la construction de la porte d'Arroux, non pas en élévation mais au niveau des fondations. Des observations archéologiques réalisées en décembre 2000⁷⁶⁴ ont permis d'observer sa présence dans les fondations des piédroits de la porte, dans celles des tours de flanquement, ainsi que dans celles des deux murs parallèles appartenant au système de cour intérieure. Dans ces trois fondations, ce granite n'est pas employé seul mais en même temps qu'un grès fin jaune-roux du Rhétien⁷⁶⁵.

C'est surtout au sein des maçonneries qu'il est largement employé, c'est-à-dire au sein des 8 tours de flanquement, des 57 tours de courtine et de la totalité du pourtour des murs de courtine (**Fig. 7**). A l'époque antique, les moellons, plus ou moins grossièrement taillés, de granite à deux micras sont fréquemment utilisés comme *caementa* au sein du blocage interne. Ils ont également servi de matériau de parement pour édifier le parement côté ville de l'enceinte (beaucoup moins visible que le parement extérieur en grès fin du Rhétien du fait du rôle de mur de soutènement joué par l'enceinte urbaine). C'est donc le matériau rocheux qui fut le plus sollicité par les constructeurs, bien loin devant les blocs de grand appareil qui attirent l'œil.

Quant au mortier associé au granite au sein du blocage interne des murs de courtine, des tours ou des fondations, il contient des débris non calcinés d'une chaux produite à partir de calcaire à gryphées du Sinémurien. Ce matériau, assez rare dans la région d'Autun, peut provenir au plus près de Curgy, 7 km à l'est d'Autun, ou de Guenand, à 6 km au sud-ouest de la ville⁷⁶⁶. Quant au sable nécessaire pour la fabrication du mortier de chaux, H. de Fontenay suggère l'utilisation du sable de l'Arroux⁷⁶⁷.

Autre preuve de la logique d'épargne qui anime les chantiers de construction romains : l'utilisation du matériau le plus proche quand c'est possible (parties dissimulées au regard) et un approvisionnement plus lointain, lorsque c'est nécessaire (parties visibles). Dans ce choix, les trois critères, techniques, esthétiques et économiques, semblent avoir trouvé un parfait équilibre : le granite de Couhard se prêtant moins que le grès fin du Rhétien à une taille sous forme de moellons quadrangulaires bien réguliers, il est relégué au niveau du parement le moins visible et au sein du noyau du mur. Par

⁷⁶³ Brunet-Gaston *et alii* 2006: 40.

⁷⁶⁴ Labaune 2002: 17-19, 21-22.

⁷⁶⁵ A noter que le granite à deux micras de Couhard a servi en 1902, sous forme de moellons grossièrement taillés mais régulièrement assisés, pour la construction du massif protégeant le blocage de la porte d'Arroux et supportant les deux flancs de la plateforme qui recouvre les trois passages conservés. On le trouve logiquement au niveau de la couverture de l'intrados de la voûte latérale orientale. Ces moellons très grossièrement taillés sont toutefois mis en œuvre en assises régulières. Il s'agit de la restauration la plus importante qu'ait connue la porte d'Arroux lorsque la Commission des monuments historiques a souhaité régler de manière pérenne le problème de l'écoulement des eaux à travers les blocs des voûtes de la porte urbaine.

⁷⁶⁶ Blanc *et alii* 1985: 25.

⁷⁶⁷ Fontenay 1878: 78.

ailleurs, ce matériau économique que l'on extrait à 1,5 km au sud d'Autun, plus dur que le matériau retenu pour le parement extérieur du rempart, offre de meilleures qualités de résistance à l'humidité des terres contenues par le rempart, côté ville, que le grès fin. Techniquement, le granite présente en effet les défauts de ses qualités : sa résistance au temps et aux intempéries le rend cassant quand il est travaillé par un tailleur de pierre. Du point de vue logistique, enfin, l'avantage est évident : l'exploitation d'une carrière aussi proche du chantier réduit considérablement les délais et les coûts de transport.

Le grès fin du Rhétien

Ce grès de couleur gris jaune, à grain fin, a fréquemment été utilisé à *Augustodunum* pour réaliser un petit appareil de moellons quadrangulaires appelés localement "pâturaux" et employés pour construire en *opus vittatum*. Les gisements les plus proches d'*Augustodunum* se situent environ 7 km à l'est d'Autun, sur la commune actuelle d'Auxy, à 5 km au nord d'Antully et des carrières de grès arkose. H. de Fontenay disait avoir vu plusieurs de ces pâturaux abandonnés au sol aux environs d'Auxy⁷⁶⁸. Appartenant aux terrains du Rhétien, ce grès est constitué « uniquement de grains de quartz de petite taille, (0,2 à 0,5 mm) très serrés, liés entre eux par un nourrissage de silice avec, en plus, des minéraux ferrugineux lui donnant sa coloration »⁷⁶⁹.

L'intérêt de ce matériau, au-delà de sa proximité par rapport aux chantiers de construction d'*Augustodunum*, réside dans sa facilité d'extraction : en effet, le grès rhétien est constitué d'une succession de bancs décimétriques qu'il est aisé de débiter en carrière de manière modulaire pour obtenir immédiatement des moellons parallélépipédiques à la hauteur standardisée : de ce fait, il est parfaitement adapté à un emploi sous forme d'*opus vittatum*, un appareillage de moellons quadrangulaires formant des assises horizontales de même hauteur (10,5 cm de hauteur en moyenne) (**Fig. 8**).

Ceci explique pourquoi l'usage des pâturaux de grès fin du Rhétien est très fréquent à Autun : on les retrouve par exemple employés dans le théâtre situé non loin de la porte Saint-André. A proximité immédiate de la porte de Rome, le bastion de la Jambe-de-bois, construit au début du XVII^{ème} siècle, comporte lui aussi de nombreux moellons de grès fin, qu'il s'agisse d'une récupération de matériaux antiques (les tours de flanquement de la porte de Rome auraient sans doute pu en fournir) ou de matériaux taillés dans le cadre du chantier de construction du bastion moderne.

Ce matériau présente un double intérêt technique et esthétique : contrairement au granite à deux micas qui supporte difficilement le fer des outils du tailleur de pierre, le grès fin se prête bien à la production de moellons quadrangulaires aux angles légèrement

⁷⁶⁸ Fontenay 1878: 78-80.

⁷⁶⁹ Brunet-Gaston *et alii* 2006: 49.



Fig. 8. Mur nord de la tour de flanquement sud de la porte Saint-Andoche : parement extérieur composé de moellons de grès fin du Rhétien.

arrondis et au parement bien lisse. Les parements constitués de ces moellons offre ainsi une belle régularité – raison pour laquelle les constructeurs du rempart l’ont choisi non seulement pour édifier le parement des murs de courtine côté campagne mais aussi les parements extérieurs et intérieurs des tours, les simples tours de courtine comme les tours de flanquement des portes. On peut notamment observer ces "pâtureaux" dans plusieurs assises antiques du parement extérieur de la tour Saint-André ⁷⁷⁰ et, en beaucoup plus grand nombre sur les deux parements de la tour Saint-Andoche.

La question du marbre

Pourquoi mentionner le marbre parmi les matériaux rocheux employés dans la construction du rempart d’*Augustodunum* alors qu’aucune des trois portes conservées d’Autun n’en porte la moindre trace⁷⁷¹ ? Aucune trace de placage de marbre au niveau des portes d’Arroux, de Saint-André ou de Saint-Andoche, à la différence, par exemple, de la porta Praetoria d’Aoste dont le parement en *opus quadratum* de poudingue était recouvert d’un placage en marbre blanc (au niveau des corniches) et en bardiglio (pour le reste de la façade). Les parements des portes d’Arroux et de Saint-André sont suffisamment conservés pour que l’on soit assuré de l’absence de tout placage qui n’aurait pas manqué de laisser de multiples et régulières traces de fixation sur les façades. C’est bien le calcaire blanc de Fontaines qui jouait à la fois le rôle structurel de parement et esthétique de façade.

Seule la porte de Rome dont nous ne connaissons aucun vestige matériel est donc susceptible d’avoir été concernée par l’utilisation de marbre. La tradition autunoise attribue en effet, dès le début du XIV^{ème} siècle, un toponyme lié à ce matériau luxueux à l’emplacement de la porte sud-est de l’enceinte romaine désignée comme "porte des Marbres". Outre les témoignages d’Edme Thomas et de Jacques Léauté sur lesquels nous allons revenir, le manuscrit rédigé par Anfert en 1610 (perdu à la fin du XIX^e s.) est souvent convoqué pour étayer cette tradition ancienne alors même que les seuls extraits que nous en connaissons ne mentionnent en aucune manière le marbre : lors de l’édification du bastion moderne de la Jambe de Bois, à l’emplacement de la porte de

⁷⁷⁰ Blanc *et alii* 1985: 12 ; Brunet-Gaston *et alii* 2006: 42. C’est ce même matériau qui a été employé à la fin des années 1840 dans le cadre des travaux de restauration de la porte Saint-André engagés sous la conduite d’E. Viollet-le-Duc : on le retrouve dans les quatre passages voûtés, soit pour assurer la couverture, soit en parement interne.

⁷⁷¹ Qu’en est-il de l’emploi du marbre à Autun en général ? S’il s’agit d’imiter l’aspect blanc du marbre, le calcaire de Fontaines peut le remplacer à moindre coût, de même que le calcaire du Tonnerrois. S’il s’agit de jouer sur la polychromie des roches décoratives, les carrières où l’on exploite le calcaire dit de Pouillenay fournissent un calcaire rouge, le calcaire des rives de la Loire de Gilly (Saône-et-Loire) – Diou (Allier) fournit des teintes gris-bleu, le calcaire de Premeaux est rose. Dès la période julio-claudienne, le marbre de Carrare est employé à Autun mais son usage ne devient courant que dans la seconde moitié du 1^{er} siècle (des Flaviens au règne d’Hadrien). On trouve à *Augustodunum* non seulement des marbres venus de l’autre côté de l’Empire comme le marbre jaune de Chemtou ou le marbre rose de Chio mais aussi un marbre d’origine régionale, issu de la zone Châtel-Perron / Saint-Léon, dans l’Allier (Brunet-Gaston *et alii* 2009: 410-413).

Rome, furent mis au jour « des colonnes, des chapiteaux et bases de l'ordre corinthien et composite »⁷⁷².

Mais est-on bien sûr que ces éléments aient appartenu à la porte urbaine ? Ce serait la seule porte d'Autun à être dotée de colonnes et à posséder à la fois des chapiteaux corinthiens et composites. Sans doute ne faut-il toutefois pas être trop pointilleux sur l'emploi du lexique architectural avec un antiquaire de la Renaissance qui adopte un lexique encore très influencé par le latin lorsqu'il évoque les "fondements" au lieu des fondations, les "simulacres" au lieu des reliefs sculptés, les "pierres" au lieu des blocs, les "murailles" au lieu des murs. Peut-être que le terme de colonne est pour lui équivalent à celui de pilastre qu'à notre connaissance il n'emploie jamais. L'étude attentive de l'ensemble des extraits connus du manuscrit d'Anfert (qui sont cités par H. de Fontenay, dernier propriétaire connu du manuscrit) révèle toutefois un homme attentif aux techniques de construction, avec des notions indéniables d'architecture : par conséquent, lorsqu'il mentionne des chapiteaux corinthiens et composites, l'information me semble digne de foi. Pour autant, si l'on se réfère précisément au passage de ce manuscrit que cite H. de Fontenay, il n'est fait nulle mention du lieu de cette découverte et l'on doit pour cela croire sur parole H. de Fontenay ? Surtout, il n'est fait là nulle mention de marbre, c'est H. de Fontenay qui mentionne ce matériau juste avant d'introduire sa citation. Or, je pense que, si le nom du matériau avait figuré dans le manuscrit d'Anfert, H. de Fontenay n'aurait pas manqué de le citer. Quoi qu'il en soit, le témoignage d'Anfert ne suffit pas à étayer l'idée d'une porte de Rome recouverte de marbre. En outre, étant donné que le lieu précis de ces découvertes n'est à notre connaissance pas stipulé par Anfert, pourquoi les attribuer au décor de la porte plutôt qu'à un portique en bordure du *cardo maximus* ou bien à un monument funéraire qui aurait été érigé à proximité de la porte urbaine, comme c'est le cas avec le pseudo-temple de Pluton à 150 m de la porte d'Arroux ou encore avec le mausolée de plan carré qui se dresse à 10 m de la porte monumentale sud-est de l'enceinte d'*Aquae Sestiae* ?

Le témoignage d'Edme Thomas n'est guère plus probant que celui d'Anfert : cet historien autunois établit clairement quant à lui le lien entre l'appellation de porte des Marbres qui a été attribuée à la porte gallo-romaine et la mise au jour d'éléments architectoniques en marbre dans la première décennie du XVII^{ème} siècle mais rien n'indique en réalité que ces éléments de marbre proviennent de la porte urbaine⁷⁷³. Le

⁷⁷² Cité dans Fontenay 1889: 46. L'équipe en charge du PCR "Pierre, Technique et Décor architectonique à Augustodunum" estime d'ailleurs que certains des placages de marbre de la porte de Rome pourraient être conservés au Musée Rolin (Brunet-Gaston *et alii* 2006: 40).

⁷⁷³ «La quantité de Pilliers, Colomnes, Corniches, & autres embelissements de Marbre, qui y ont esté deterrés, & transportés dans les Maisons de Monsieur l'Abbé Ieânin en sont vne conjecture pressante, qui est secondée par la traditiue des anciens Autunois, continuée iusques à nous, que les ruines de ce Portique ontourny les materiaux, dont on a basti le paruis de l'Eglise de S. Lazare, qui en est encore appellé les Marbres» (Thomas 1660: 20). A propos des éléments architectoniques (dont seul E. Thomas prétend qu'ils sont en marbre alors même qu'il n'est pas contemporain des faits) mis au jour à l'emplacement de la porte antique lors de l'aménagement du bastion de la Jambe-de-Bois (jusqu'en 1608) et transportés dans le domaine de Montjeu, H. de Fontenay indique que ces vestiges ont disparu depuis (Fontenay 1889: 45).

paragraphe qu'E. Thomas consacre à la porte de Rome s'achève avec l'évocation d'une porte moderne du même nom, construite à quelques centaines de mètres de là et dans laquelle des reliefs antiques furent réemployés : « De quelques fragmens ramassez on a basti vne nouvelle Porte des Marbres, dont i'ay crû deuoir donner le crayon, par ce qu'il y a quelques antiquités enchassées »⁷⁷⁴. Le dessin en question représente la nouvelle porte des Marbres qui a été érigée à environ 300 m au nord-ouest de la porte antique sur le *cardo maximus* : d'après le dessin donné par E. Thomas, onze reliefs antiques ont été réemployés en façade de la nouvelle porte (six personnages masculins et féminins, certains revêtus de toges ou de cuirasses, l'un avec la tête ceinte d'une couronne, une tête de taureau, une tête de cheval, une grappe de raisin et autres motifs végétaux). Or, si l'on en croit le même Edme Thomas, les éléments antiques qui ont servi à la construction de la nouvelle porte des Marbres ont été mis au jour près de la "tour du capitole", ce qui permet de rejeter l'hypothèse selon laquelle ces reliefs auraient été mis au jour à l'emplacement de la porte de Rome⁷⁷⁵.

Autre témoignage, le *De Bibracte antiquis monumentis libellus*, publié en 1650 mais vraisemblablement rédigé à la fin du XVI^e s., désigne déjà la porte sud-est de l'enceinte romaine sous le nom de *porta marmorea*, ce qui fait supposer à son auteur que celle-ci devait comporter de nombreuses statues de marbre⁷⁷⁶. En revanche, il ne mentionne pas la mise au jour d'éléments architectoniques en 1608 dont il n'a probablement pas pu avoir connaissance (si l'auteur de l'ouvrage est bien le médecin Jacques Léauté, on sait que sa date de décès se situe sans doute en 1596 ou un peu après) – ceci confirme l'absence totale de lien entre la mention du marbre dans l'appellation de la porte antique et la mise au jour de vestiges en marbre (au niveau de la porte antique ou ailleurs).

Une autre tradition locale ancienne, distincte de la mise au jour d'éléments en marbre, associe ce matériau à la porte antique : le *De Bibracte antiquis monumentis libellus*⁷⁷⁷ puis *Histoire de l'antique cité d'Autun*⁷⁷⁸ mentionnent la tradition selon laquelle les blocs de la porte de Rome auraient été remployés à partir de 1178 lors de la construction du parvis de l'église cathédrale Saint-Lazare, espace que les Autunois appellent "Les Marbres" : « Fama est (...) ex ejus ruinis conflata fuisse rarae ac inusitatae proceritatis Decumani Templi pyramidi »⁷⁷⁹. Les analyses pétrographiques réalisées sur plusieurs blocs du parvis de la cathédrale ont prouvé que cette tradition était sans fondement. Cette tradition locale qu'E. Thomas décrit comme ancienne est probablement

⁷⁷⁴ Thomas 1660: 20.

⁷⁷⁵ «Proche ce lieu on a trouvé des simulacres en pierre d'un cheval, d'un bœuf et d'un bouc ; des statues de Mars, de Vénus et d'un Cupidon ailé ; deux effigies d'hommes ayant le pallium ; et les degrés mêmes du capitole ont été déterrés en ce lieu. De tous lesquels fragments la nouvelle porte des Marbres a été construite à ce qu'on dit» (Thomas 1846: 56 = Thomas 1660: 34). Cet édifice circulaire situé dans les jardins de l'hôpital, le long du *cardo maximus*, très tôt désigné comme un Capitole, A. Rebourg propose de l'interpréter comme faisant partie des grands thermes du forum (Rebourg 1998: 198).

⁷⁷⁶ Léauté 1650: 27.

⁷⁷⁷ Léauté 1650.

⁷⁷⁸ Thomas 1660.

⁷⁷⁹ Léauté 1650: 27.

née du rapprochement entre deux toponymes : la "porte des Marbres", d'une part, autre appellation de la porte sud-est de l'enceinte romaine et "les Marbres", d'autre part, toponyme qui renvoie au porche nord de la cathédrale. Cette appellation est probablement une référence au fait que le porche de la cathédrale comportait au sein de son dallage plusieurs monuments funéraires. La porte moderne des Marbres tient quant à elle son nom du quartier dans lequel elle se situe : le quartier du Pas des Marbres qui tire sans doute lui-même son nom de la découverte de multiples éléments antiques en marbre.

En somme, vu la faiblesse des témoignages associant le marbre à la porte de Rome, il est hasardeux de considérer le marbre comme l'un des matériaux de construction employés lors de la construction des portes urbaines.

UN APPROVISIONNEMENT EN MATÉRIAUX AUX SEIN DU TERRITOIRE EDUEN

De l'étude des matériaux rocheux employés pour la construction du rempart d'*Augustodunum*, on peut tirer deux enseignements principaux. Premièrement, les choix de matériaux opérés par les constructeurs et la manière différentielle dont ils sont employés selon les parties de l'édifice révèlent une connaissance fine, théorique et appliquée, de leurs qualités respectives, du point de vue technique et mécanique. Ensuite, on constate que la capacité du commanditaire et de l'architecte à s'appuyer sur une excellente connaissance régionale des diverses carrières à disposition leur a permis d'éviter de recourir à l'importation de ressources rocheuses plus lointaines et plus onéreuses.

Le choix d'un matériau de construction est un choix au moins autant économique qu'architectural dans lequel l'éloignement du lieu d'extraction par rapport au chantier et le coût de transport qui en découle sont pris en compte par l'entrepreneur (voire, dès le départ, par le commanditaire) et mis en balance avec les propriétés physiques (*virtutes*) dont a besoin l'architecte. Vitruve ne dit pas autre chose lorsqu'il vante la qualité des matériaux de construction employés à *Ferentinum* et déplore que ces carrières soient trop éloignées de Rome pour que leur exploitation soit rentable pour les constructeurs de la capitale : « Quae si prope Urbem essent, dignum esset, ut ex his officinis omnia opera perficerentur. Quum ergo propter propinquitatem necessitas cogat ex Rubris lapidicinis, et Pallensibus, et quae sunt Urbi proximae, copiis uti »⁷⁸⁰. Le paramètre économique est explicitement envisagé comme une *necessitas* par l'auteur du *De architectura* qui souligne l'importance dans tout chantier de construction de la recherche de l'optimisation des coûts : « Distributio autem est copiarum locique commoda dispensatio, parcaque in operibus sumptus cum ratione temperatio. Haec ita observabitur, si primum architectus

⁷⁸⁰ «Si ces carrières étaient proches de Rome, il conviendrait que tous les ouvrages soient exécutés avec les pierres de ce site. La réalité étant que la proximité des carrières de Rubra, de Palla et de celles qui sont très près de Rome amène nécessairement à utiliser leurs matériaux» (Vitr. 2.7.4-5, ed. Callebaut 1999).

ea non quaeret, quae non poterunt inveniri, aut parari, nisi magno. Namque non omnibus locis arenae fossitiae, nec caementorum, nec abietis, nec sapinorum, nec marmoris copia est, sed aliud alio loco nascitur, quorum comportationes difficiles sunt et sumptuosae. Utendum autem est, ubi non est arena fossitia, fluviatica aut marina lota. Inopiae quoque abietis aut sapinorum vitabuntur utendo cupressu, populo, ulmo, pinu»⁷⁸¹.

Ce n'est donc pas l'architecte qui choisit dans l'absolu les matériaux de construction à employer pour la réalisation effective de son projet puisque la disponibilité en ressources rocheuses de l'environnement régional du chantier de construction n'est pas une contrainte de second ordre :

« Quibus autem copiarum generibus oporteat uti, non est architecti potestas, ideo quod non in omnibus locis omnia genera copiarum nascuntur, uti in primo volumine est expositum ; praetera in domini est potestate utrum latericio an caementicio an saxo quadrato velit aedificare »⁷⁸². Selon Vitruve, le choix des matériaux de construction n'est pas laissé à l'appréciation de l'architecte mais résulte d'une décision du commanditaire. Le propos est à nuancer dans la mesure où l'exploitation raisonnée des *virtutes* de tel ou tel matériau est bien une compétence de l'architecte. Il est donc vraisemblable que le dialogue entre le commanditaire et l'architecte porte à la fois sur la nature des matériaux, leur emploi et leur proportion respective.

Ainsi, en ce qui concerne la construction des portes urbaines, quand on le peut, ce sont logiquement les ressources les plus locales qui sont privilégiées. C'est le granite à deux micras de Couhard, à 1,5 km de la porte de Rome, qui est utilisé pour produire une très grande quantité de moellons pour des zones où le matériau n'est pas ou peu visible, telles que les fondations, le blocage interne des maçonneries ou encore le parement côté ville du mur de courtine qui est largement occulté du fait de son rôle de mur de terrasse. C'est dans un second cercle à moins de 20 km du centre d'*Augustodunum* (environ 13 km à vol d'oiseau) que les constructeurs se procurent un matériau susceptible d'être débité en blocs de pierre de taille, le grès arkose du bois des Cros en bordure du plateau d'Antully. Mais la recherche d'un matériau plus fin, d'aspect plus luxueux, le calcaire oolithique de Fontaines, pour les parements en grand appareil du corps central des portes urbaines, les corniches moulurées ou autres chapiteaux se fait dans un troisième cercle d'approvisionnement au niveau de la côte chalonnaise, à 40 km de la ville (35 km à vol

⁷⁸¹ «La distribution est la répartition convenable des ressources et du terrain et, dans les ouvrages, un sage équilibre des dépenses grâce au calcul. On l'observera si d'abord l'architecte ne cherche pas ce qu'on ne pourra trouver ou préparer qu'à grands frais. En effet, il n'y a pas en tous lieux abondance de sable de carrière, de moellons, de planches de sapin ni de marbre, mais un matériau existe dans un lieu, un autre, ailleurs, et leur transport est difficile et coûteux. Lorsqu'il n'y a pas de sable de carrière, il faut se servir de sable de rivière ou de sable de mer lavé ; on contournera aussi l'absence de sapin ou de planches de sapin en utilisant le cyprès, le peuplier, l'orme ou le pin» (Vitr. 1.2.8, ed. Fleury 1990).

⁷⁸² «Le choix cependant des matériaux qu'il convient d'utiliser n'appartient pas à l'architecte, pour la raison qu'on ne trouve pas en tous lieux toute espèce de matériaux, ainsi que cela a été exposé dans le premier livre ; c'est, en outre, au propriétaire qu'il appartient de décider s'il veut construire en brique crue, en moellons ou en pierre de taille» (Vitr. 6.8.9, ed. Callebaut 2004).

d'oiseau). Si la porte de Rome avait réellement contenu des éléments décoratifs de marbre, comme les sources anciennes le répètent à l'envi mais sans doute à tort, on restituerait alors un quatrième cercle beaucoup plus éloigné pour l'approvisionnement en marbre mais cela reste du domaine de la pure hypothèse tant qu'aucun élément matériel ne permet d'étayer cette ancienne tradition locale (**Fig. 9**).

Les constructeurs sont donc allés chercher les matériaux des portes d'Autun dans leur second cercle d'approvisionnement (petit appareil des tours de flanquement, soubassements en grand appareil des piédroits et des tours) et dans le troisième cercle (grand appareil de calcaire pour les corps centraux des portes). Ceci est à la fois révélateur des qualités qu'ils recherchaient dans tel ou tel matériau mais aussi de l'importance qu'ils accordaient à telle ou telle composante de la porte urbaine. La recherche du meilleur ratio entre l'éloignement de la carrière et les qualités du matériau de construction, qui n'est pas autre chose que la recherche du meilleur rapport besoin / qualité / prix, n'est pas une interrogation qui reçoit une réponse unique en début de chantier mais une réflexion qui s'adapte au gré des critères retenus par telle ou telle phase du chantier de construction selon les besoins mécaniques et les arbitrages esthétiques : à *Augustodunum*, la priorité a été donnée au seul corps central des portes urbaines tandis qu'à Arles, les tours de flanquement sont elles aussi construites en grand appareil, comme on le voit au niveau de la porte de la Redoute.

Par ailleurs, nul doute que les Eduens n'ont pas attendu la création de la ville nouvelle d'*Augustodunum* et la réflexion architecturale autour du projet de rempart pour se préoccuper de la localisation des ressources en matériaux rocheux sur leur territoire, phénomène qui contribue à expliquer la rapidité avec laquelle la construction en dur remplace à *Augustodunum* l'architecture de bois et de terre dont les niveaux proto-augustéens ont livré des témoignages : on trouve d'ailleurs à Bibracte les mêmes matériaux que ceux qui sont employés dans la construction des portes romaines d'Autun (calcaire oolithique de la côte chalonnaise et arkose notamment).

Il reste à évaluer dans quelle proportion chacun des cercles d'approvisionnement a été sollicité par les constructeurs du rempart d'*Augustodunum* : pour jeter les bases d'une approche quantitative du chantier de construction du rempart autunois, il faut commencer par estimer le volume des matériaux employés. L'idée de départ est plutôt simple : partir des vestiges conservés en plan et en élévation pour restituer le volume des matériaux nécessaires à la construction. Dès lors, on peut estimer le coût de la production de ces matériaux, de leur transport et de leur mise en œuvre, ce qui suppose de prendre en compte à la fois le coût des matériaux et de la main d'œuvre nécessaire à chaque étape du chantier. C'est cela qu'on appelle l'approche quantitative mais, si l'idée initiale est

simple, la complexité de sa mise en œuvre réside dans les détails et suppose une réflexion en profondeur sur nombre d'enjeux⁷⁸³.

La mise en place d'une approche quantitative globale du chantier de construction implique d'identifier l'ensemble des opérations depuis l'élaboration du projet qui s'est faite conjointement entre le commanditaire et l'architecte en amont des travaux jusqu'aux finitions, à la réalisation du décor sculpté et du ravalement final en œuvre. Entre ces deux bornes, il a fallu préparer le terrain, effectuer le terrassement, réaliser des travaux préliminaires, mettre en place l'approvisionnement logistique en matériaux de construction, construire les échafaudages et les machines de levage, produire le mortier de chaux et mettre en œuvre les matériaux⁷⁸⁴. Janet Delaine souligne avec pertinence la difficulté d'estimer le temps de main d'œuvre lorsqu'un certain nombre de tâches demeurent difficiles à cerner et à estimer⁷⁸⁵ : qui, en carrière, charge les matériaux extraits du banc sur des chariots ? Qui les décharge sur le chantier ? Où les décharge-t-on ? Ce tas de matériaux est-il déplacé une seconde fois avant la mise en œuvre proprement dite ? Pour cela, nous avons fait un choix de raison pour une première approche quantitative de la construction du rempart d'Autun en nous concentrant sur la question des matériaux rocheux, de leur nature, de leur volume et de leur provenance – et en laissant temporairement de côté les questions de durée, de main d'œuvre et de coût des travaux. Il est de toute façon illusoire d'espérer aller au-delà du coût technique de la construction et de proposer une estimation du prix réel des travaux qui intégrerait le prix de revient.

Les lacunes actuelles de nos connaissances sur le rempart d'Autun n'ont pas permis d'intégrer certains éléments qui l'auraient pourtant mérité : nous ignorons quelle est la profondeur des fondations des différentes composantes du rempart, quelle était la proportion entre le mortier et les *caementa* dans le noyau interne des murs, quelle était la hauteur du parapet protégeant le chemin de ronde et en quel matériau il était bâti. N'ont pas non plus été prises en compte des ouvertures jugées incertaines telles que les poternes⁷⁸⁶ ou mineures telles que les diverses baies, portes et fenêtres, qui percent les murs des tours⁷⁸⁷.

⁷⁸³ Les travaux fondateurs que Janet DeLaine mena pour quantifier le coût de la construction d'un vaste projet immobilier dans la Rome d'époque sévérienne, les thermes de Caracalla, ont suscité l'engouement de plusieurs spécialistes de construction romaine pour ces problématiques économiques (DeLaine 1997, plusieurs études citées dans DeLaine 2017: 13).

⁷⁸⁴ DeLaine 2008: 324-325.

⁷⁸⁵ «The problem of dealing with steps in the construction process which are largely invisible except for the indisputable fact of the materials having arrived on the site and being put in place» (DeLaine 2017: 16).

⁷⁸⁶ On envisage, avec prudence, l'existence de trois poternes : l'une au nord-ouest, qui aurait desservi le quartier péri-urbain de la Genetoye, l'une à l'est de la ville haute, à l'emplacement de la porte médiévale du Breuil, et la dernière à l'est du théâtre antique (Fort 2007: 107-108).

⁷⁸⁷ La présence de baies au sein d'un mur linéaire diminue d'autant le volume de matériaux de construction nécessaire mais, en termes de temps de main d'œuvre et donc de durée de chantier, on a tendance à considérer que la réalisation d'un vide coûte deux fois plus cher que la construction d'un mur plein. L'économie en matériaux est donc compensée par l'augmentation du temps de travail que requiert l'aménagement d'un dispositif permettant d'installer la baie.

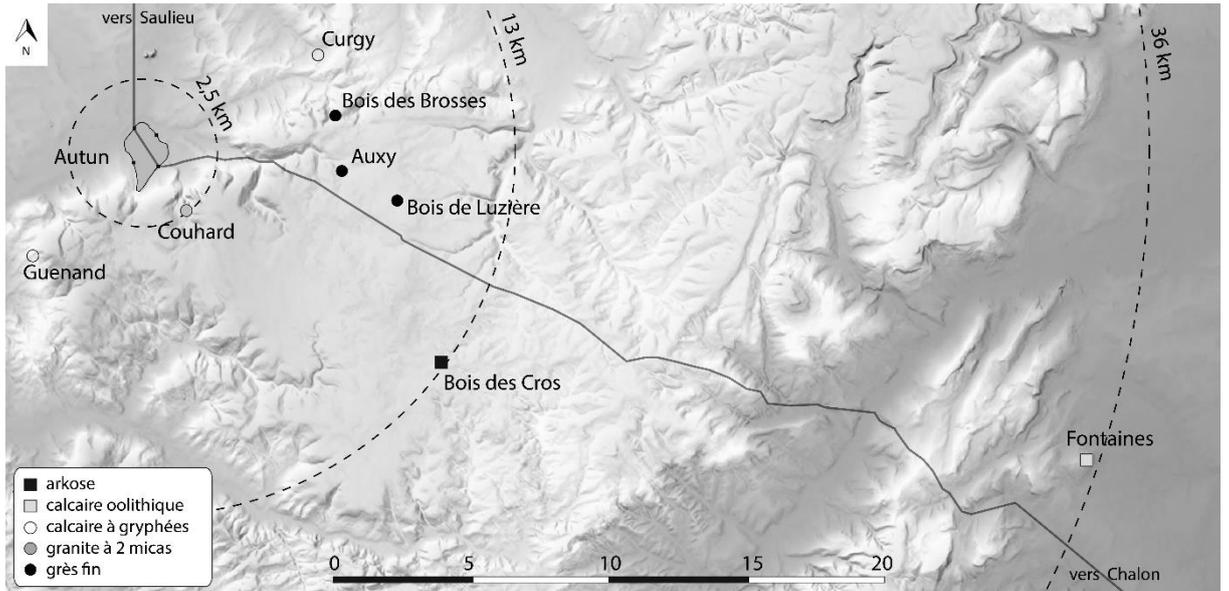


Fig. 9. Localisation des principales carrières ayant fourni des matériaux au chantier de construction du rempart d'*Augustodunum*.

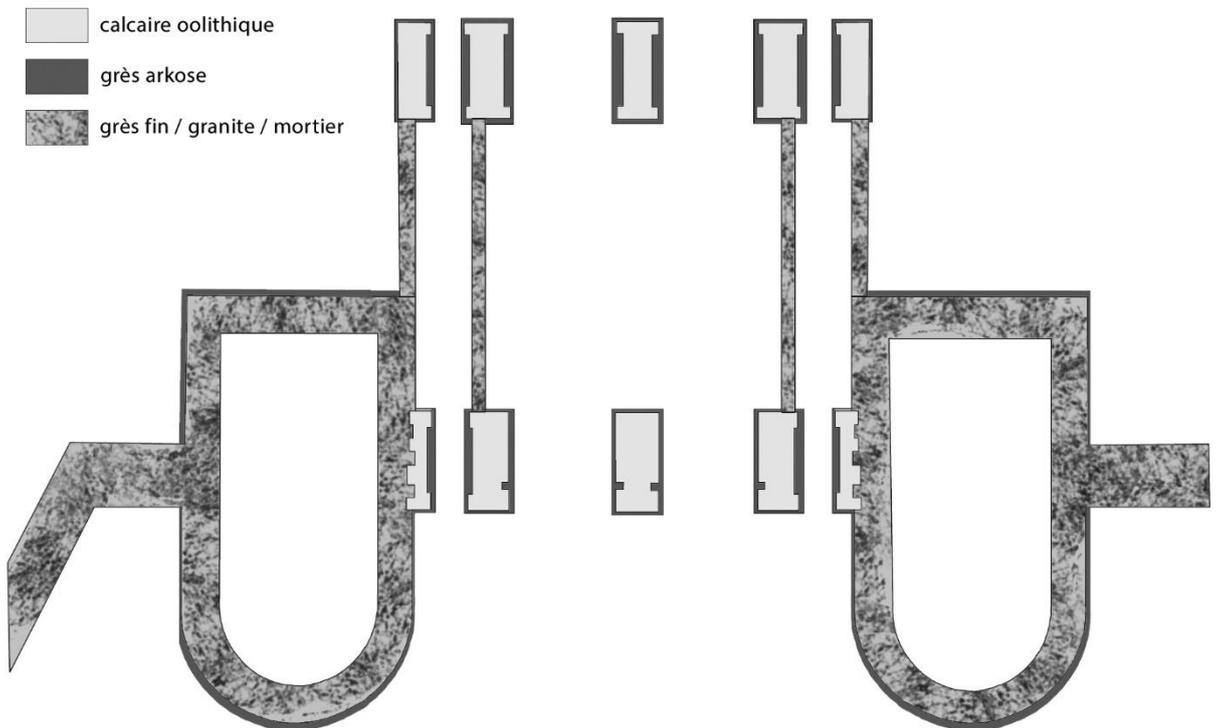


Fig. 10. Plan restitué de la porte d'Arroux (avec dispositif de cour intérieure) : répartition des matériaux de construction.

Tout comme la restitution architecturale, l'approche quantitative n'est qu'une estimation raisonnée fondée sur de multiples hypothèses. Le caractère chiffré et absolu de cette approche ne lui confère pas une scientificité ou une précision supérieure : il est crucial d'être conscient d'au moins deux biais accompagnant l'élaboration d'une estimation du volume des matériaux.

Premièrement, les calculs de volume des matériaux se fondent sur des mesures prises sur les élévations conservées, c'est-à-dire sur l'état final de transformation de matériaux qui ont été retaillés sur le chantier avant, pendant et après leur mise en œuvre. Pour les maçonneries, on peut considérer qu'une part importante des déchets produits sur le chantier par la taille des moellons de parement a été immédiatement réutilisée au sein du blocage interne. En revanche, les blocs de grand appareil n'ont été que dégrossis en carrière : leur ravalement final a eu lieu en œuvre. *Stricto sensu*, ce n'est donc pas le volume des matériaux extraits de la carrière que nous avons estimé et, pour restituer cela, il faudrait idéalement appliquer un pourcentage correspondant au volume de matière qui est ôtée sur le chantier⁷⁸⁸.

Deuxième biais : puisque c'est le dialogue initial du commanditaire et de l'architecte qui nous intéresse, il nous faut estimer le volume des matériaux correspondant à la réalisation du projet architectural, en restituant les parties disparues de l'édifice et sans prendre en compte les réfections ayant ultérieurement affecté le bâti. La question se pose notamment avec la galerie de la porte Saint-André qui fut reconstruite en grès arkose alors que deux blocs encore en place indiquent qu'elle était à l'origine entièrement composée de calcaire oolithique, tout comme les assises inférieures.

Quant aux deux portes urbaines d'Autun dont le corps central a été conservé, leur étude révèle la présence d'un dispositif de cour intérieure au niveau de la porte d'Arroux⁷⁸⁹ (**Fig. 10**) et son absence au niveau de la porte Saint-André. Par conséquent, une hypothèse raisonnable consiste à considérer que la porte de Rome, elle aussi placée sur le *cardo maximus*, pouvait présenter un dispositif de cour semblable à celui de la porte d'Arroux tandis que la porte Saint-Andoche ne disposait quant à elle que d'une seule ligne de fermeture (à quatre baies) comme la porte Saint-André. Les conséquences de ce choix sur le calcul du volume global des matériaux utilisés doivent être toutefois relativisées dans la mesure où la proportion que représentent les matériaux de construction des corps centraux des portes reste minime par rapport à l'ensemble des moellons de petit appareil nécessaires à la construction des murs d'enceinte et des tours.

⁷⁸⁸ Selon Jean-Luc Prisset (2008: 135), on peut compter que les déchets de taille produits *in situ* au moment de la mise en œuvre pour ajuster les moellons représentent 20 % du volume total des matériaux extraits en carrière. L'estimation du volume des moellons de parement que nous avons proposée est un volume final après retaillage sur le chantier auquel il conviendrait donc d'ajouter 20 %.

⁷⁸⁹ Barrière 2016: 60-61.

Bien que la prudence reste de mise au vu de ces biais inhérents à l'approche quantitative des matériaux de construction (**Fig. 11**), il est toutefois intéressant de retenir comme un ordre de grandeur le volume total de 202 860 m³ et surtout de considérer les rapports de proportion entre les différents matériaux. A l'échelle globale du chantier de construction de l'enceinte, le grand appareil représente moins de 2 % des matériaux rocheux. On considère souvent, et à raison, que l'architecture romaine est habituée à concentrer ses efforts financiers et esthétiques sur la surface de l'édifice, sur sa seule partie visible, sur son épiderme en quelque sorte. Mais quelle part du volume global des matériaux l'épiderme du rempart d'*Augustodunum* représente-t-il précisément et de quels matériaux s'agit-il ? Ce sont les blocs de grand appareil, certes, mais aussi les moellons de parement de grès fin du Rhétien, utilisés comme parement côté campagne des murs de courtine (11 713,9 m³), comme parement extérieur des tours de courtine (5 383,08 m³) et comme parement extérieur des tours de flanquement (1 960,6 m³) : ils représentent un volume minimal⁷⁹⁰ de 19 057,58 m³, c'est-à-dire 9,39 % du volume total des matériaux. La partie visible du rempart correspond donc seulement à 11,18 % du volume total des matériaux employés – l'essentiel d'entre eux demeurant invisibles ou peu visibles des voyageurs. Le matériau le moins employé pour les parties visibles est aussi le matériau le plus employé au niveau global et le plus accessible, le granite à deux micras de Couhard. En effet, ce granite constitue le premier matériau sollicité pour la construction des murs de courtine mais, employé en parement côté ville, il est largement dissimulé du fait du rôle de mur de terrasse que joue la muraille tandis qu'employé en tant que *caementa* dans le noyau interne, il n'est pas davantage visible qu'à l'intérieur des tours de courtine dont il constitue le parement intérieur et le blocage interne⁷⁹¹.

En revanche, à l'échelle des portes urbaines (**Fig. 12**), points de passage obligés pour qui rejoint ou quitte la ville, la proportion de grand appareil devient plus de dix fois supérieure qu'à ce qu'on observe à l'échelle globale du chantier et monte même à 21,35 % pour les portes les plus monumentales, dotées d'une cour intérieure. La logique globale d'économie des moyens et de recherche du moindre coût s'accompagne d'une concentration ponctuelle des efforts financiers sur certains secteurs privilégiés de l'enceinte.

Nul besoin de se pencher sur l'hypothèse d'un transport des matériaux par l'Arroux : le transport des matériaux de construction utilisés pour les portes urbaines d'*Augustodunum* n'a pu qu'emprunter la voie terrestre, tout simplement parce que les carrières d'approvisionnement ne sont pas desservies par cette rivière. L'existence d'une route importante entre les carrières et le chantier de construction, la voie reliant Chalon à Autun, a favorisé l'approvisionnement en matériaux des chantiers de construction.

⁷⁹⁰ Il s'agit d'un volume minimal car on ignore exactement dans quelle proportion le grès fin était employé dans les murs de cour intérieure des portes, ainsi que dans le parement interne des tours de flanquement.

⁷⁹¹ Si nous avons pris en compte dans les présentes pages les fondations dans l'estimation du volume des matériaux, le double constat de la primauté du granite à deux micras par rapport aux autres matériaux rocheux et de son emploi privilégié dans les parties coupées des regards.

Quantitative Studies and Production Cost of Roman Public Construction

	Murs de courtine	Tours de courtine	Corps centraux des portes	Tours de flanquement des portes	Dispositif de cour intérieure	TOTAL	
	6 km	57	4	8	2		
Volume total m³	146 423,75	37 941,71	2 706,47	14 865,63	926,85	202 864,41	100 %
Elévation en grand appareil							
Calcaire oolithique	-	-	2 495,66	-	-	2 495,66	1,23
Grès arkose	-	143,49	210,83	775,6	-	1129,92	0,56
Total grand appareil	-	143,49	2 706,49	775,6	-	3 625,58	1,79
Elévation en petit appareil							
Moellons de parement	23 427,8	8 683,23	-	3 522,53	494,32	36 127,88	17,81
Blocage et mortier de chaux	122 995,95	29 114,99	-	10 567,5	432,53	163 110,97	80,4
Total petit appareil	146 423,75	37 798,22	-	14 090	926,85	199 238,85	98,21

Fig. 11. Estimation du volume des principaux matériaux rocheux utilisés lors de la construction du rempart d'Autun

	4 portes urbaines		1 porte à cour		1 porte sans cour	
Volume total m³	18 498,95	100 %	5 067,79	100 %	4 181,68	100 %
Elévation en grand appareil						
Calcaire oolithique	2 495,66	13,49	817,69	16,14	430,14	10,29
Grès arkose	986,44	5,33	264,18	5,21	229,04	5,48
Total grand appareil	3 482,10	18,82	1 081,87	21,35	659,18	15,76
Elévation en petit appareil						
Moellons de parement	4 016,85	21,71	1 127,79	22,25	880,63	21,06
Blocage et mortier de chaux	11 000,03	59,46	2 858,15	56,4	2 641,88	63,18
Total petit appareil	15 016,85	81,18	3 985,93	78,65	3 522,5	84,23

Fig. 12. Estimation du volume des principaux matériaux rocheux utilisés lors de la construction des portes urbaines d'Autun

On ignore si la construction de ce tronçon routier en territoire éduen est antérieure ou postérieure à celle des portes urbaines situées sur le *cardo maximus* d'*Augustodunum*. D'une part, on observe que de Chalon à Saulieu, le parcours de la voie dite d'Agrippa en direction de Boulogne présente une forte anomalie par rapport au trajet direct qu'elle pourrait emprunter. L'angle de cette anomalie se situe à Autun, au sud-est de la porte de Rome. Il est clair que le tracé de la voie a été déterminé pour desservir la capitale éduenne. D'autre part, la voie opère un net changement d'angle juste avant d'arriver au niveau des ponts qui mènent ensuite en ligne droite aux portes urbaines (porte d'Arroux ou porte de Rome). Ce ne sont pas les ponts qui sont antérieurs et qui déterminent le tracé de la voie puisque les deux ponts sur l'Arroux et sur l'Accoron sont tous deux situés sur le même axe alors même qu'ils sont distants l'un de l'autre de 1,78 km. S'ils partagent exactement le même alignement, c'est parce qu'ils ont été chacun construits sur le prolongement du *cardo maximus*⁷⁹². Quoi qu'il en soit, les convois de matériaux de construction ont parfaitement pu emprunter la voie antérieure à la conquête qui reliait l'*oppidum* du Beuvray à son port sur la Saône en passant par le site d'Autun selon un tracé quasi direct que la voie dite d'Agrippa n'a fait que reprendre.

En mettant en relation le volume de matériaux provenant de chaque carrière avec la distance séparant ces différentes carrières du chantier de construction, on peut estimer le nombre de trajets qui serait nécessaire pour un char à bœufs. Pour évaluer le temps d'acheminement des blocs de grand appareil (calcaire / grès arkose), on a cherché des parallèles du côté de la construction pré-industrielle. Il existe en effet des manuels permettant aux architectes du XIX^e s. d'estimer le temps et le coût technique de travaux, comme celui de Giovanni Pegoretti (1843)⁷⁹³.

Le trajet des carrières de Fontaines (240 m d'altitude) jusqu'à la porte de Rome (320 m d'altitude) d'*Augustodunum* en empruntant la voie Chalon-Autun compte 41 km avec 665 m de dénivelé négatif cumulé et 740 m de dénivelé positif cumulé. Si le dénivelé global (+ 80 m) reste très modéré, la pente moyenne se situe quant à elle à + 4 % mais certains tronçons présentent des pourcentages de pente autour de 10 %. Dans de telles conditions, on peut donc estimer à 2 250 kg le poids maximal du chargement d'un chariot (Pegoretti 1843 : 9-10). Pour le transport de matériaux rocheux, on utilise en effet des chariots assez bas dotés de quatre roues et tirés par une paire de bœufs. Dans la limite d'une dizaine d'heures par jour, ceux-ci avancent à 2 km/h quand ils sont chargés et sur une pente ascendante mais peuvent revenir, à vide, à une vitesse de 3,5 km/h. Dans la mesure où la masse volumique du calcaire de Fontaines est de 2,65 t./m³ et qu'il a fallu en transporter 2 495,66 m³, cela correspond à 6 613,5 t., c'est-à-dire à 2 940 chargements. Un chariot à bœufs met 20 h pour effectuer le trajet vers Autun et 11h25 pour le trajet

⁷⁹² Pour autant, le moment de l'implantation au sol de ces axes viaries ne coïncide pas nécessairement avec celui de la construction proprement dite du tronçon de 50 km qui traverse le territoire éduen pour relier de manière plutôt rectiligne Autun à Chalon.

⁷⁹³ Sur l'évaluation de la fiabilité des données liées à la construction en pierre de taille dans le manuel de G. Pegoretti, cf Barker y Russel 2012.

retour en direction des carrières de Fontaines. Ce sont donc 92 404,2 h qui furent nécessaires et, à raison de 10 h de travail maximum par jour pour une paire de bœufs, le transport du calcaire oolithique sur le chantier représente 9 240 journées de travail. Cela représenterait plus de 25 années de travail ininterrompu pour une seule paire de bœufs mais il ne suffit pas de multiplier les attelages pour augmenter mécaniquement la quantité de matériaux fournis au chantier : encore faut-il que la production des carriers puisse suivre la cadence. Sans même envisager la question de la saturation de l'axe routier et du chantier lui-même, si on imagine 100 paires de bœufs acheminant simultanément le calcaire de Fontaines à Autun, il ne leur faudrait que 3 mois pour apporter la quantité totale requise pour la construction des portes urbaines mais cela supposerait que dans le même temps les carriers aient pu fournir 71,5 t. de calcaire oolithique par jour. Avec un chiffre plus réaliste de 15 paires de bœufs travaillant simultanément, ce qui représente déjà un cheptel de 30 têtes de bétail à entretenir quotidiennement, le temps d'acheminement des matériaux s'étalerait sur 1 an 8 mois et 1 semaine d'activité ininterrompue, toutes saisons confondues, ce qui impliquerait que les carriers puissent fournir en moyenne 10,7 t. de calcaire par jour, c'est-à-dire une production tout à fait raisonnable de 4 m³ par jour (emportés par 5 attelages).

Pour ce qui est du grand appareil de grès arkose, les carrières du bois des Cros (491 m d'altitude) sont à moins de 20 km de la porte de Rome. Si l'on emprunte la voie Autun-Chalon, le trajet de 19,80 km présente un dénivelé global négatif de 172 m et une pente moyenne de - 2 % tandis que si l'on emprunte un itinéraire plus direct, la distance se réduit à 17,4 km pour un dénivelé global négatif de 171 m et une pente moyenne de - 2,1 % en descente⁷⁹⁴. Une paire de bœufs peut transporter jusqu'à 3 t. par trajet à une vitesse de 3 km/h à l'aller et de 3,25 km/h pour le retour à vide, soit une durée aller-retour comprise entre 11h10 et 12h40. Vu que l'on a estimé le volume total d'arkose à 1 129,92 m³ (masse volumique de 2,6 t./m³), il faut donc 980 trajets pour acheminer les 2 937,8 t. de grès arkose, ce qui représente entre 10 907 h et 12 436 h., c'est-à-dire entre 1 091 et 1 244 journées de travail. En moyenne, un transport aller-retour d'1 t. de grès arkose prend entre 3h45 et 4h20 là où 1 t. de calcaire oolithique de Fontaines met 14h à être apportée, c'est à peu près 3,5 fois plus long. Par conséquent, si le coût technique du seul acheminement de calcaire oolithique se trouve 250 % supérieur à celui du transport de grès arkose, on peut comprendre pourquoi les Eduens d'*Augustodunum* ont préféré reconstruire la galerie supérieure de la porte Saint-André en arkose plutôt qu'en calcaire de Fontaines.

La totalité des matériaux mis en œuvre au sein du rempart d'Autun provient du territoire éduen : c'est certainement un indice de l'implication des élites locales au moment de la conception du projet, c'est peut-être également un indice de la précocité de sa construction dans la mesure où c'est seulement à partir de l'époque julio-claudienne,

⁷⁹⁴ A titre de comparaison, le grès fin du Rhétien est extrait à proximité d'Auxy, dans le secteur du bois des Brosses et de la forêt domaniale de Luzière : le trajet entre ces carrières et Autun s'étire entre 10,5 et 13 km avec une pente moyenne de - 2,5 %.

et surtout dans la seconde moitié du I^{er} s., que des matériaux bien plus éloignés comme le marbre de Carrare sont utilisés dans des constructions à *Augustodunum*. L'emploi conjoint mais dans proportions différentes de ces quatre matériaux rocheux principaux (granite à deux micas, grès fin, calcaire oolithique et grès arkose) souligne à la fois ce que furent les priorités du commanditaire dans le cadre d'un budget aux moyens, par définition, limités et ce que furent les solutions retenues par l'architecte pour trouver un équilibre entre les impératifs esthétiques, techniques et économiques. Le cadre budgétaire étant nécessairement contraint, la disponibilité de tels ou tels matériaux de construction dans un rayon proche du chantier conditionne lourdement les choix architecturaux proposés lors de l'élaboration du projet. On comprend dès lors le statut particulier des portes urbaines au sein du chantier du rempart : quatorze voies distinctes se regroupent en quatre voies en amont des quatre portes de la ville, points de passage obligés, précédés par un pont qui accentue leur mise en valeur. C'est là que le commanditaire et l'architecte décident de recourir au grand appareil de pierre de taille plutôt qu'à la maçonnerie et de sélectionner un matériau de construction plus éloigné du chantier que les autres. Par ailleurs, le commanditaire d'un chantier de construction publique de l'ampleur d'une enceinte urbaine appelé à s'étendre sur plusieurs décennies ne sera-t-il pas enclin à exiger que les portes urbaines soient construites en priorité afin d'obtenir au plus tôt un premier retour sur investissement ?

Il nous reste à poursuivre et à approfondir la mise en œuvre de l'approche quantitative appliquée au rempart d'*Augustodunum*. Pour ce faire, il est fondamental d'avoir une connaissance fine de la succession des phases de chantier si l'on entend estimer la main d'œuvre, à la fois d'un point de vue qualitatif (main d'œuvre qualifiée ou non) et quantitatif (effectifs), voire la saisonnalité de sa présence sur le chantier. Le grand mérite de cette approche quantitative ne réside pas dans les données absolues qu'elle fournit (quoiqu'elles ouvrent la voie à d'éclairantes comparaisons d'édifice à édifice) mais dans l'approfondissement des questionnements qu'elle suscite sur l'organisation logistique et le déroulement des chantiers de construction.

DONNÉES QUANTITATIVES

Murs de courtine

Volume total des maçonneries : longueur du rempart x hauteur x épaisseur =
 $5\,324,5 \times 11^{795} \times 2,5^{796} = 146\,423,75 \text{ m}^3$

Longueur totale des murs de courtine = périmètre total de l'enceinte – emprise des tours de courtine – emprise des portes urbaines = $5\,997 - 513 - 159,42 = 5\,324,5 \text{ m}$

⁷⁹⁵ Fontenay 1889: 14-15.

⁷⁹⁶ Fort 2009: 89.

Emprise des tours = diamètre extérieur des tours x nombre de tours = 9 m x 57 = 513 m

Emprise des portes urbaines = longueur du corps central de la porte d'Arroux + longueur de ses deux tours de flanquement + corps central de la porte Saint-André + ses deux tours de flanquement + corps central de la porte Saint-Andoche + ses deux tours de flanquement + corps central de la porte de Rome⁷⁹⁷ + ses deux tours de flanquement = 18,45 + 20 + 19,02 + 21,9 + 20 + 21,6 + 18,45 + 20 = 159,42 m.

Volume des parements (*opus vittatum*) : surface des parements x profondeur des moellons de parement = 5 324,5 m x 2 x 11 m x 0,2⁷⁹⁸ = 23 427,8 m³

Dont grès fin (parement côté campagne) : 11 713,9 m³

Dont granite à deux micas (parement côté ville) : 11 713,9 m³

Volume du noyau interne (mortier de chaux + moellons et déchets de taille de granite à deux micas) : 146 423,75 - 23427,8 = 122 995,95 m³

Tours de courtine

Volume total des tours = (volume du cylindre correspondant au diamètre extérieur - volume du cylindre correspondant au diamètre intérieur) x nombre de tours = 665,65 m³ x 57 = **37 941,71 m³**

Volume d'un cylindre = $\pi \times \text{rayon}^2 \times \text{hauteur}$

Hauteur des tours : 16,7 m⁷⁹⁹

Diamètre extérieur : 9 m⁸⁰⁰

Epaisseur des murs : 1,75 m⁸⁰¹

Nombre de tours : 57⁸⁰²

⁷⁹⁷ Hypothèse que la porte de Rome est bâtie sur le modèle de la porte d'Arroux.

⁷⁹⁸ Estimation de l'auteur.

⁷⁹⁹ Hypothèse que la hauteur des tours de courtine correspond à la hauteur du corps central de la porte d'Arroux.

⁸⁰⁰ Fort 2009: 90-91.

⁸⁰¹ Moyenne réalisée à partir de Fort 2009: 89-90.

⁸⁰² Fort 2009: 83.

Volume des parements (*opus vittatum*) = longueur des parements x hauteur x profondeur des moellons de parement x nombre de tours = $45,61 \times 16,7 \times 0,2 \times 57$ tours = 8 683,23 m³

Dont grès fin (parement extérieur)⁸⁰³ : périmètre du parement extérieur x hauteur x profondeur des moellons de parement x nombre de tours = $2\pi \times 4,5 \times 16,7 \times 0,2 \times 57 = 94,44 \times 57 = 5 383,08$ m³

Dont granite à deux micras (parement intérieur) : périmètre du parement intérieur x hauteur x profondeur des moellons de parement x nombre de tours = $2\pi \times 2,75 \times 16,7 \times 0,2 \times 57 = 57,71 \times 57 = 3 289,47$ m³

Volume du noyau interne (mortier de chaux + moellons et déchets de taille de granite à deux micras) = volume total des maçonneries - volume des parements = $37 941,71 - 143,49 - 8 683,23 = 29 114,99$ m³

Nombre de tours présentant un soubassement en arkose : 6⁸⁰⁴

Hauteur de l'assise en arkose : 0,6 m⁸⁰⁵

Volume des soubassements en arkose : $23,92 \text{ m}^3 \times 6$ tours = 143,49 m³

Corps central de la porte d'Arroux (porte à cour intérieure)⁸⁰⁶

Volume total de l'édifice = corps central côté campagne + murs de la cour reliant les deux corps centraux + corps central côté ville = $443,98 + 463,43 + 443,98 = 1351,39$ m³

Volume des soubassements en arkose : 70,28 m³

Volume de l'élévation en blocs de calcaire : 817,69 m³

Volume de l'élévation en petit appareil liée à la cour : 463,43 m³

⁸⁰³ Le parement extérieur des tours de courtine est composé de moellons de grès fin, leur parement intérieur, de moellons de granite à deux micras (Fort 2007 : 73-74).

⁸⁰⁴ Sur les 30 tours de courtine conservées et visibles aujourd'hui, seules 6 présentent une assise de grès arkose en soubassement. Elles sont toutes situées sur le boulevard Mac Mahon. Plutôt que de considérer qu'il s'agissait d'une solution technique généralisée à toutes les tours, on propose de manière prudente et raisonnable d'y voir une volonté de monumentaliser un tronçon important (Fort 2009: 88).

⁸⁰⁵ Estimation de l'auteur.

⁸⁰⁶ Calculs fondés sur les mesures prises par l'auteur sur les structures visibles en élévation, par les mesures données par la documentation archéologique pour les parties réenfouies et par des estimations de l'auteur sur les parties restituées.

Corps central d'une porte dépourvue de cour intérieure⁸⁰⁷

Volume total du corps central = volume du soubassement en arkose des 5 piédroits + volume des piédroits de calcaire jusqu'aux impostes des grandes baies + volume du double parement jusqu'au niveau de sol de la galerie + volume des blocs composant les deux voûtes centrales + volume des deux pans d'arcades et de leur entablement sommital = $35,14 + 156,93 + 91,99 + 65,77 + 115,46 = 465,28 \text{ m}^3$

Volume des soubassements en arkose : $35,14 \text{ m}^3$

Volume de l'élévation en blocs de calcaire : $430,14 \text{ m}^3$

Tours de flanquement de porte urbaine

Volume total des maçonneries = (volume correspondant au parement extérieur - volume correspondant au parement intérieur) x nombre de tours = $1 858,2 \text{ m}^3 \times 8 = 14 865, 63 \text{ m}^3$

Largeur extérieure / diamètre extérieur : 10 m. Largeur intérieure / diamètre intérieur : $6,8 \text{ m}^{808}$

Longueur du corps rectangulaire : $15,25 \text{ m}^{809}$

Hauteur de la tour : 23 m^{810} , dont 1,20 m en blocs d'arkose et 21,8 m en petit appareil⁸¹¹

Volume des soubassements en arkose = $96,95 \text{ m}^3 \times 8 \text{ tours} = 775,6 \text{ m}^3$

Volume des élévations en petit appareil = $1761,25 \text{ m}^3 \times 8 \text{ tours} = 14 090 \text{ m}^3$

⁸⁰⁷ Estimation de l'auteur inspirée des dimensions de la porte d'Arroux. On suppose une porte urbaine générique composée de cinq piédroits avec un soubassement en grès arkose, percée de quatre baies surmontées par un entablement médian, par une galerie supérieure (elle-même composée de deux pans de dix arcades) et par un entablement sommital – le tout en grand appareil de calcaire oolithique. Sur le modèle de la porte d'Arroux, on suppose qu'il s'agit de grand appareil massif du soubassement jusqu'au niveau des impostes des deux grandes baies centrales mais que la zone située entre ces impostes et le niveau de circulation de la galerie supérieure comporte quant à elle un noyau interne de blocage.

⁸⁰⁸ Mesure de J. Roidot-Deléage au niveau de la porte d'Arroux (J. Roidot-Deléage et Roidot-Errard, *Autun ancien et moderne*, album conservé à la bibliothèque de la Société Eduenne, Autun).

⁸⁰⁹ Estimation de l'auteur.

⁸¹⁰ Estimation de la hauteur de la tour Saint-Andoche.

⁸¹¹ Estimation de l'auteur.

Volume des parements (*opus vittatum*) = longueur des parements x hauteur x profondeur des moellons de parement x nombre de tours = $100,99 \times 21,8 \times 0,2 \times 8 = 3\,522,53 \text{ m}^3$

Dont parement extérieur (grès fin) : longueur du parement extérieur x hauteur x profondeur des moellons de parement x nombre de tours = $56,21 \times 21,8 \times 0,2 \times 8 = 1\,960,6 \text{ m}^3$

Dont parement intérieur (granite à 2 micras + grès fin ?) : $1\,561,93 \text{ m}^3$

Volume total de la porte d'Arroux (restituée dans son état initial de porte urbaine à cour intérieure avec ses tours de flanquement) = volume des soubassements en arkose + volume des élévations en calcaire + volume des élévations en petit appareil liée à la cour + volume des soubassements en arkose des 2 tours + volume des maçonneries des 2 tours = $70,28 + 817,69 + 463,43 + 193,9 + 3522,5 = 5\,067,79 \text{ m}^3$

Volume d'une porte urbaine à cour (type porte d'Arroux) = corps central côté campagne + murs de la cour reliant les deux corps centraux + corps central côté ville + murs extérieurs de la cour + deux tours de flanquement = $443,98 + 300,6 + 443,98 + 162,83 + 3\,716,4 = 5\,067,79 \text{ m}^3$

Volume d'une porte urbaine sans dispositif de cour = corps central + deux tours de flanquement = $465,28 + 3\,716,4 = 4\,181,68 \text{ m}^3$

Total (murs + tours + portes)

Volume total des différentes composantes de l'enceinte urbaine d'*Augustodunum* = murs de courtine + 57 tours de courtines + deux portes urbaines à cour + deux portes urbaines sans cour = $146\,423,75 + 37\,941,71 + 10\,135,58 + 8363,36 = \mathbf{202\,864,4 \text{ m}^3}$

Dont arkose : soubassement des piédroits des portes urbaines + soubassement des tours de flanquement + soubassement de 6 tours de courtine = $281,11 + 775,6 + 143,49 = 1\,200,2 \text{ m}^3$

Dont calcaire oolithique = deux portes urbaines à corps central unique + deux portes urbaines à cour intérieure = $2 \times 430,14 + 2 \times 817,7 = 2\,495,68 \text{ m}^3$

Dont petit appareil (grès fin + granite à deux micras + blocage) = murs de courtine + tours de courtine + tours de flanquement + murs de deux cours intérieures = $146\,423,75 + 37\,798,22 + 14\,090 + 926,86 = 199\,238,83 \text{ m}^3$

BIBLIOGRAPHIE

Barker, S. y Russel, B. 2012: «Labour Figures for Roman stone-working: pitfalls and potential», in Camporeale, S., Dessales, H., Pizzo, A. (eds), *Arqueología de la construcción, III. Los procesos constructivos en el mundo romano: la economía de las obras*, Anejos del Archivo Español de arqueología 64, Madrid-Mérida, pp.83-94.

Barrière, V. 2016: «Un sas entre ville et campagne : les portes à cour intérieure en Gaule (Cisalpine comprise)», in Besson, C., Blin, O., Triboulot, B. (eds), *Franges urbaines, confins territoriaux. La Gaule dans l'Empire*, Versailles, pp.47-62.

Bessac, J.-C. 2014: «Les ressources minérales face aux impératifs de la construction et de la décoration antique en pierre», in Bonetto, J., Camporeale, S., Pizzo, A. (eds.), *Arqueología de la construcción, IV. Las canteras en el mundo antiguo : sistemas de explotación y procesos productivos*, Anejos del Archivo Español de arqueología 69, Mérida, pp.15-32.

Bet, P., Bleu, S., Belay, E. Delor, A., Dubuc, C. 2004: *Le site gallo-romain du nouvel hôpital d'Autun (Saône-et-Loire)*, document final de synthèse, SRA Bourgogne, Dijon.

Blanc, A., Blanc, P., La Comble, J. de, Lorenz, C., Lorenz, J. 1985: «Caractérisation et origine des matériaux utilisés dans les monuments gallo-romains d'Autun (Saône-et-Loire)», *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Autun* 113, pp.3-28.

Blanc, A., Blanc, P. 2006: «Augustodunum – Les roches de construction et les roches décoratives», *Dossiers d'Archéologie* 316, pp.38-43.

Brogiolo, G. P., Camporeale, S., Chavarria Arnau, A. (eds) 2017: *Costi, tempi e metri cubi. Quantificare in architettura*, Archeologia dell'Architettura XXII, Sesto Fiorentino.

Brunet-Gaston, V., Bedon, R., Blanc, A., Blanc, P., Chardron-Picault, P., Gély, J.-P., Lamotte, D., Lorenz, J., Maurice-Chabard, B., Tardy, D. 2006: *Le lapidaire architectonique & décoratif d'Augustodunum (Autun)*, document final de synthèse du PCR "Pierre, Technique et Décor architectonique à Augustodunum : de la carrière au monument" (2001-2006), SRA Bourgogne, Dijon.

Brunet-Gaston, V., Blanc, A., Blanc, P., Chardron-Picault, P., Gaston, C., Lamotte, D., Lorenz, J. 2009: «Les pierres de décoration et de construction à Augustodunum (Autun, France)», in Jockey, P. (dir), *Λευκός λίθος. Marbres et autres roches de la Méditerranée antique : études interdisciplinaires*, Paris, pp.409-420.

Camporeale, S., Dessales, H., Pizzo, A. (eds) 2008: *Arqueología de la construcción, I. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias occidentales*, Anejos del Archivo Español de arqueología 50, Mérida.

Camporeale, S., Dessales, H., Pizzo, A. (eds) 2012: *Arqueología de la construcción, III. Los procesos constructivos en el mundo romano: la economía de las obras*, Anejos del Archivo Español de arqueología 64, Madrid-Mérida.

DeLaine, J. 1997: *The Baths of Caracalla. A study in the design, construction, and economics of large-scale building projects in imperial Rome*, JRA suppl. 25, Portsmouth.

DeLaine, J. 2008: «Conclusions», in Camporeale S., Dessales, H., Pizzo, A., *Arqueología de la construcción, I. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias occidentales*, Anejos del Archivo Español de arqueología 50, Mérida, pp.321-328.

DeLaine, J. 2017: «Quantifying manpower and the cost of construction in Roman building projects: research perspectives», *Archeologia dell'Architettura* XXII, pp.13-19.

Dessales, H. 2011: «Les savoir-faire des maçons romains, entre connaissance technique et disponibilité des matériaux. Le cas pompéien», in Monteix, N., Tran, N. (eds.), *Les savoirs professionnels des gens de métier. Etudes sur le monde du travail dans les sociétés urbaines de l'empire romain*, Collection du Centre Jean Bérard 37, Napoli, pp.41-63.

Duval, P.-M. y Quoniam, P. 1963: «Relevés inédits des monuments antiques d'Autun (Saône-et-Loire)», *Gallia* XXI, pp.155-189.

Fontenay, H. de 1878: «Les carrières antiques qui ont fourni des matériaux aux murs d'Autun (17^{ème} question)», *Congrès Scientifique de France, 42^{ème} session tenue à Autun* (Autun, 4-13/9/1876), t. II, pp.78-80.

Fontenay, H. de 1889: *Autun et ses monuments avec un précis historique*, Autun.

Fort, A. 2007: *L'enceinte antique d'Augustodunum (Autun, Saône-et-Loire)*, mémoire de Master, université de Franche-Comté, Besançon.

Fort, A. 2009: «L'enceinte romaine d'Autun. Plan et données métrologiques à la lumière des observations récentes», *Bulletin archéologique Antiquité Archéologie classique* 35, pp.81-95.

Labaune, Y. 2002: *Autun intra et extra muros – Travaux d'illumination de la porte d'Arroux*, rapport de surveillance archéologique, SRA Bourgogne, Autun.

Léauté, J. 1650: *De antiquis Bibracte seu Augustoduni monumentis libellus*, Lyon.

Olivier, A. 2010: «La porte d'Arroux à Autun : observations sur l'architecture et le décor d'une porte d'enceinte gallo-romaine du Haut-Empire et sa parenté avec l'arc honorifique de Langres», *Revue archéologique de l'Est* 59-1, pp.265-286.

Pegoretti, G. 1843: *Manuale pratico par l'estimazione dei lavori architetonici, stradali, idraulici e di fortificazione per uso degli ingegneri ed architetti*, vol. I, Milano.

Prisset, J.-L. 2008: «Les besoins en matériaux, les contraintes d'approvisionnement et la durée d'un chantier de construction. Réflexions à partir du Portique Nord de Saint-Romain-en-Gal (France)», S. Camporeale, Dessales, H., Pizzo, A., *Arqueología de la construcción, I. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias occidentales*, Anejos del Archivo Español de arqueología 50, Mérida, pp.125-139.

Rebourg, A. 1998: «L'urbanisme d'Augustodunum (Autun, Saône-et-Loire)», *Gallia* LV, 141-236.

Thomas, E. 1660: *Histoire de l'antique cité d'Autun*, Lyon.

Thomas, E. 1846: *Histoire de l'antique cité d'Autun*, Autun.