



Etude systématique de l'origine des fûts de granite en Narbonnaise et comparaison avec d'autres régions de la Méditerranée occidentale

Pierre Rochette, J. P. Ambrosi, Touatia Amraoui, V Andrieu, Alain Badie,
Philippe Borgard, Jérôme Gattacceca, Andreas Hartmann-Virnich, J.
Planchon, Marc Panneau

► To cite this version:

Pierre Rochette, J. P. Ambrosi, Touatia Amraoui, V Andrieu, Alain Badie, et al.. Etude systématique de l'origine des fûts de granite en Narbonnaise et comparaison avec d'autres régions de la Méditerranée occidentale. 2022. hal-03585735v1

HAL Id: hal-03585735

<https://cnrs.hal.science/hal-03585735v1>

Preprint submitted on 15 Feb 2022 (v1), last revised 23 Feb 2022 (v2)

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.

Etude systématique de l'origine des fûts de granite en Narbonnaise et comparaison avec d'autres régions de la Méditerranée occidentale

(version française d'un article publié dans Journal of Archeological Sciences : Reports en 2022)

P. Rochette^{*1}, J.P. Ambrosi¹, T. Amraoui², V. Andrieu^{1,3}, A. Badie⁴, Ph. Borgard², J. Gattacceca¹, A. Hartmann-Virnich⁵, M. Panneau⁴, J. Planchon^{6,7}

*: corresponding author (rochette@cerege.fr)

1: Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, CEREGE Aix-en-Provence, France.

2: Aix Marseille Univ, CNRS, Centre Camille Jullian, Aix-en-Provence, France.

3: Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, IMBE Aix-en-Provence, France.

4: Aix-Marseille Université, CNRS, IRAA, Aix-en-Provence, France.

5: Aix-Marseille Université, CNRS, LA3M Aix-en-Provence, France.

6: Musée de Die et du Diois, Die, France.

7: ArAr UMR 5138, CNRS, Lyon, France.

Résumé

Déterminer la carrière d'origine des granites utilisés comme fûts depuis l'antiquité fait partie de la compréhension des anciennes routes commerciales des matériaux de prestige. Nous passons brièvement en revue l'état actuel des connaissances sur cette problématique archéométrique en utilisant des techniques non invasives. Le protocole établi utilisant la susceptibilité magnétique peut être mis en œuvre par l'analyse chimique dans des cas spécifiques comme démontré ici. Un inventaire systématique et une recherche de fûts de granite d'origine présumée antique ont été réalisés sur l'ancien territoire de la Narbonnaise. 276 fûts complets ou fragmentaires ont été identifiés et utilisés pour déduire un nombre minimum de 174 fûts complets initiaux, provenant de 21 localités. Seules 4 localités (Aix, Arles, Die, Riez) contribuent à 54% de l'ensemble du corpus. Le sourçage a été effectué en utilisant une combinaison d'assignation visuelle, de susceptibilité magnétique et chimique, en comparaison avec les carrières antiques connues d'Egypte, de Turquie, d'Elbe, de Corse et de Sardaigne. Les sources turques dominant fortement (75%), suivies par l'Elbe (20,5%). Les sources mineures sont les granites roses d'Assouan et de Sardaigne, ainsi que le granite gris égyptien de Mons Claudianus a été résolue par la détermination des teneurs en Sr et Rb par fluorescence X portable. Comme la majeure partie du corpus est constituée de fûts présents dans un contexte médiéval à moderne, l'interprétation de nos résultats en termes de choix architecturaux et économiques de l'époque romaine doit être faite avec prudence. Le transport sur de longues distances de spoliae ou de fûts nouvellement exploités peut avoir eu lieu après l'époque romaine.

Mots clés : susceptibilité magnétique, fluorescence X portable, approvisionnement en fûts de granite, Narbonnaise, Corse.

1. Introduction

Les fûts en granite sont devenus un élément décoratif et structurel majeur de l'architecture monumentale au cours de l'Empire romain (DeLaine, 1997), probablement en raison du goût et de l'influence des traditions de construction égyptiennes et d'autres traditions orientales dans le monde romain, précédemment influencées par la préférence hellénique pour les marbres blanc-gris (Russel, 2013). Le granite présente également certains avantages techniques et esthétiques : son extrême dureté et sa résistance mécanique permettent de tailler de longs fûts monolithiques, facilitent leur transport en toute sécurité sans casse et permettent leur utilisation comme support de grandes charges superposées que d'autres types de roches ne supporteraient pas (par exemple, le portique du Panthéon à Rome). De plus, le granite peut prendre un poli miroir durable, mettant en valeur son aspect coloré et tacheté, à l'opposé du marbre blanc-gris plus uniforme, dont le poli s'estompe rapidement lorsqu'il est exposé à la pluie et à l'humidité. La préférence impériale pour les fûts colorés est également mise en évidence par la diffusion des marbres polychromes et veinés (Russel, 2013). Notons que nous utilisons ici le terme de carrière " granite " dans un sens géologique large c'est-à-dire incluant tous les types de granitoïdes.

Seules quelques carrières sources ont été identifiées pour les fûts de granite et le commerce des fûts était établi dans tout le bassin méditerranéen (Fig.1; Lazzarini, 1992 ; Russel, 2013 ; Williams-Thorpe, 2008), avec des sources majeures en Egypte (Assouan et Claudianus), en Turquie (Troade et Mysie) et dans les îles Toscanes (Elbe et Giglio). D'autres carrières de granit antique produisant des fûts sont connues en Corse, en Sardaigne et en Espagne notamment, mais ces sources montrent une circulation à longue distance plus limitée (Williams-Thorpe, 2008 ; Clerbois et al., 2021). Cette rareté des sources, malgré la présence assez courante de granite, a été interprétée sur la base de différents facteurs : les affleurements granitiques permettant d'extraire des blocs non fracturés jusqu'à 8 m de long sont rares ; le transport longue distance par bateau favorise les carrières proches de la Méditerranée ou de grands fleuves comme le Nil, afin de minimiser le transport coûteux par la route ; les compétences spécifiques requises pour la taille de fûts géométriquement parfaits sont beaucoup plus exigeantes que celles pour la taille de blocs parallélépipédiques ; les grandes carrières étaient souvent la propriété personnelle de l'empereur et le contrôle du commerce des fûts était une question politique.

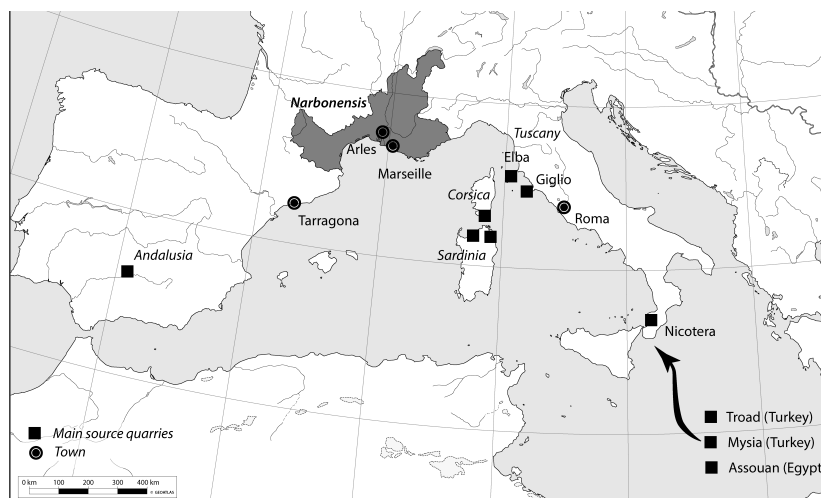


Figure 1 : carte de la Méditerranée avec les limites de Narbonnaise en gras, les principales carrières sources et les autres provinces ou villes discutées ici.

La détermination de la carrière d'origine des fûts de granit trouvés dans les monuments romains, ainsi que de ceux réutilisés à des périodes ultérieures, est donc intéressante pour la documentation des routes commerciales pendant la période impériale, car elle documente les spécificités temporelles, régionales et locales dans le choix des sources, et permet de relier les fûts à leur monument d'origine spécifique dans un site donné. En effet, nos enquêtes dans les villes romaines bien préservées, comme en Turquie, suggèrent souvent l'utilisation d'une source unique pour un monument donné. L'identification des fûts en granit a donc été développée au cours des dernières décennies, sur la base d'une comparaison visuelle et pétrographique avec le matériau des carrières d'origine (par exemple, Lazzarini, 1992 ; Peacock et al. 1994 ; Antonelli et al. 2010a). L'identification visuelle est parfois ambiguë, en particulier lorsque l'on observe différents stades d'altération et de conservation des vestiges, et repose également sur les compétences et les préjugés personnels. La détermination pétrographique, par la détermination de la géochimie et de la composition minérale en laboratoire est un processus fastidieux et destructif. Il est donc préférable de développer des techniques non destructives in situ. L'intérêt de l'utilisation de la susceptibilité magnétique pour la recherche de fûts romains en granit a été promu dans diverses publications par Williams-Thorpe et ses co-auteurs, ce qui a conduit à un document de synthèse sur plus d'un millier de fûts, couvrant de nombreuses régions de toute la zone méditerranéenne, du Levant à

l'Espagne (revue dans Williams-Thorpe, 2008). La méthodologie correspondante sera utilisée ici et décrite dans le chapitre méthodes. La synthèse de Williams-Thorpe (2008) manque de données cohérentes pour des régions importantes de l'empire comme la Gaule, l'Afrique (sans compter quelques fûts transportés de Leptis Magna vers l'Angleterre à l'époque moderne) et la Turquie (hormis Chypre). La seule tentative de déterminer les sources de fûts en granite en Gaule, en dehors d'études locales limitées, a été présentée par Mazeran (2004), mais sans approche systématique et quantitative. Nous avons entrepris une telle étude systématique en utilisant principalement la susceptibilité magnétique et cet article présente nos premiers résultats limités à la province de Narbonnaise (fig.1). Cette étude sera utilisée pour comparer la Narbonnaise aux autres provinces, ainsi que pour faire des inférences spécifiques à certains sites. Le problème de la réutilisation post-impériale des fûts et les biais qui peuvent en résulter seront examinés car il apparaîtra que notre corpus est constitué d'une majorité de fûts réutilisés, qui ne sont pas facilement liés à des vestiges romains traçables.

2. Etat de l'art du sourçage non destructif de fûts de granite

La méthode de sourçage dérivée de Williams-Thorpe (2008) procède par la classification des fûts en granites gris ou roses, à grain grossier ou fin, suivie de la comparaison de leur susceptibilité magnétique moyenne corrigée à des valeurs de référence (tableau 1).

	after Williams-Thorpe (2008)				this study			
granite	mean K	s.d.	range	N	mean K	s.d.	range	N
<i>Olbia*</i>	9.1	1.0	6.6-14.7	56	9.75	-	9.6-9.9	2
<i>Assouan</i>	6.6	0.9	3.0-8.5	162	5.8	1.1	4.9-7.1	3
<i>Capo Testa</i>	2.8	0.9	1.8-4.3	17	3.1	-	3.1	1
Troade	33.1	5.4	15.4-47.2	345	33.8	4.7	24-48.5	77
Mysie	23.5	2.9	16.6-31.8	165	22.8	3.2	13.4-27	46
Corse	7.6	0.9	5.8-8.9	23	7.4	2.1	5.0-10.1	5
Claudianus	5.2	2.2	2.1-10.4	104	-	-	-	-
Elbe/Giglio	0.17	0.02	0.12-0.24	165	0.16	0.02	0.12-0.22	33

Tableau 1 : susceptibilité magnétique K des différentes sources de fûts de granite mentionnées dans cet article, soit rose (en italique), soit grise, classées selon la décroissance de K dans la base de données Williams-Thorpe (2008). N est le nombre de fûts utilisés pour calculer la moyenne K (en 10⁻³ SI) et son écart-type (s.d.). Les valeurs obtenues dans cette étude après l'attribution des sources sont listées pour comparaison. *Notez que quelques fûts roses signalés par Williams-Thorpe (2008) comme pouvant provenir d'Olbia ont des valeurs de K allant de 0,23 à 1,1.

La susceptibilité magnétique (le rapport entre l'aimantation induite et le faible champ magnétique induit) est une propriété physique sans dimension qui dépend principalement de la quantité de fer (généralement de 1 à 5 % en poids de FeO) dans le matériau et de la forme minéralogique du fer (Rochette, 1987). S'il est présent dilué dans des silicates, comme la biotite ou l'amphibole, le fer présente un comportement paramagnétique caractérisé par une faible susceptibilité, de l'ordre de 10⁻⁴ SI. S'il est concentré dans des oxydes, principalement la magnétite, K peut être beaucoup plus élevé, c'est-à-dire que 2 % en poids de magnétite correspondent à 30 10⁻³ SI.

Parmi les granites roses plus rares, les trois sources connues couramment distribuées sont Assouan en Égypte, Capo Testa et Olbia en Sardaigne. Leurs gammes de susceptibilité magnétique se chevauchent, mais une inspection visuelle permet de distinguer facilement les sources d'Assouan et de Sardaigne. En effet, le granite d'Assouan est foliacé, uniformément à très gros grains, avec d'abondants gros feldspaths rose vif enfermés dans une matrice sombre, alors que les sources sardes ont une couleur générale beaucoup plus pâle, avec de moins nombreux gros feldspaths rose clair enfermés dans une matrice gris-rose clair à grains fins (Fig.2). K peut permettre de distinguer les deux sources sardes bien qu'il existe un certain chevauchement (Williams-Thorpe et Rigby, 2006).

Parmi les granites gris les plus abondants, deux d'entre eux sont à grain fin avec pas ou peu de gros feldspaths : Elbe et Giglio (par exemple, Williams-Thorpe et Rigby, 2007 ; notez qu'aucune tentative n'a été faite pour distinguer ces deux sources proches nommées ci-après simplement "Elbe") et Mysie (ou Kozak Dağ selon Williams-Thorpe, 2008 ; Marmor Misium de De Vecchi et al. 2000). Alors que leur distinction est faite par De Vecchi et al. (2000) en utilisant l'identification d'un minéral spécifique (hornblende) ainsi que la chimie des éléments traces, K permet une distinction beaucoup plus facile, avec une différence de deux ordres de grandeur (tableau 1). Notons qu'une caractéristique distinctive de la source Elbe, pas toujours visible, est la présence de rares grands feldspaths avec des coronas noires (exemple dans la Fig.2). La source Troade la plus abondante (Marmor Troadense, Pensabene et al. 2018) est assez facilement reconnaissable sur des surfaces propres par l'abondance de feldspaths allongés gris-violet dans une matrice à grain fin, confirmée par le K le plus élevé

trouvé dans les sources de granite antique. Cependant, nous avons rencontré des surfaces altérées ou recouvertes de peinture où l'inspection visuelle est ambiguë, rendant la valeur K décisive pour confirmer l'identification du Troade. Dans de tels cas, que l'on rencontre souvent sur les gardes routiers et à l'intérieur de certaines églises, la distinction entre Troade et Mysie peut ne pas être évidente en raison d'un chevauchement de susceptibilité. Nous avons choisi l'option la plus probable sur la base d'une inspection magnétique et visuelle, il est donc possible que nous ayons quelques erreurs d'attribution entre les deux. Le critère du feldspath violet n'est pas toujours utilisable sur les fûts altérés, car l'exposition aux UV à long terme transforme la teinte violette en gris.



Figure 2 : Exemples de terrain de l'aspect visuel typique des différentes sources identifiées dans Narbonnaise : a) Assouan (Vienne), b) Olbia (Aix), c) Troade (Aix), d) Mysie (Riez), e) Elbe (Orange), f) Corse (Die). Échelle indiquée par un mètre SM30 ou une barre jaune (10 cm de long)

Enfin, plusieurs sources homogènes de granite gris à gros grains sont signalées. La plus connue est Mons Claudianus (abrégé ci-après en Claudianus) en raison de son abondance à Rome, en particulier dans le Forum (d'où son synonyme de "granite du Forum" ; Peacock et al., 1994). En raison de sa texture spécifique grossière noire et blanche, ainsi que de sa valeur K, il se distingue facilement des sources susmentionnées, mais pas du granite corse moins connu (des îles de Cavallo-San Bainzo ; Wilson, 1988, Clerbois et al. 2021 ; Triantafyllou et al. 2021). Il est à noter que Thorpe et Rigby (2007) ont étudié un granite gris dans le nord de la Sardaigne (carrière de Muncica) qui serait indiscernable des carrières de Corse du Sud (seulement 12 km au nord de Muncica). Pour distinguer Claudianus des sources corses, Peacock et al. (1994) et Williams-Thorpe (2008) ont proposé d'utiliser une foliation minérale distincte rencontrée uniquement dans Claudianus, et une couleur noire et blanche pure pour Claudianus, alors que la source corse a une palette de couleurs plus variable avec des zones grises et parfois jaunâtres mélangées aux cristaux noirs et blancs. Ces critères sont d'application délicate car la preuve de la foliation dépend de l'orientation relative de la surface d'observation, alors que les deux critères sont subjectifs et dépendent de la qualité de cette surface. Potts et West (2008) ont proposé une discrimination chimique en utilisant la fluorescence X portable (pXRF) basée sur la forte différence de composition des éléments traces Rb et Sr. Par conséquent, nous avons également utilisé cette technique sur les quelques fûts suspectés d'être corses dans notre étude.

Nous n'avons pas considéré comme pertinentes pour notre étude d'autres sources rapportées dans la littérature, soit parce qu'elles sont réputées être utilisées principalement localement dans le sud de l'Espagne (Williams-Thorpe 2008) ou en Calabre (Antonelli et al. 2010a), soit parce qu'il s'agit de granites de couleur

égyptienne très rares et très prisés, disponibles uniquement sous forme de petits fûts et trouvés principalement dans quelques exemplaires à Rome (Williams-Thorpe, 2008). D'autre part, malgré l'absence de rapports antérieurs sur de telles sources, nous avons gardé l'esprit ouvert à la découverte éventuelle de sources inconnues en France (par exemple dans le Massif Central). Pour cela, nous avons utilisé notre expérience visuelle et magnétique passée sur les granites français (e.g. Rochette, 1987 ; Jover et al. 1989 ; Gattacceca et al. 2004a). Tous les affleurements granitiques étudiés en Gallia ont une valeur $K < 0,5$, à l'exception de rares cas dans les Hautes-Alpes, la Bretagne et les Vosges, très peu susceptibles d'avoir alimenté les cités de Narbonnaise en raison de leur éloignement. En fait, nous avons pu, dans notre inventaire en cours des fûts de Gallia hors de la province de Narbonnaise, identifier plusieurs sources de faible susceptibilité très probablement issues du Massif Central (publication à venir). Enfin, nous devons également mentionner une ancienne carrière connue produisant des fûts d'une roche intrusive nommée esterellite, en Narbonnaise, près de Fréjus. Cependant, cette roche n'est pas un granite mais une microdiorite gris bleuté, avec un aspect porphyrique ("porfiro bigio"), qui a été exportée comme opus sectile avec seulement quelques fûts signalés à Narbonnaise et à Rome (Mazera, 2004 ; Gebara et Morhange, 2010). Par conséquent, nous ne mentionnerons que brièvement les quelques fûts d'esterellite trouvés au cours de cette étude.

3. Méthodes

L'inventaire systématique des fûts existants dans les musées, les ruines romaines, ou réutilisés dans des bâtiments et monuments publics ultérieurs, a été réalisé par une recherche bibliographique (à partir de Mazera, 2004), des enquêtes auprès des musées, des services archéologiques locaux et des collègues universitaires travaillant sur des sites spécifiques. L'exploration systématique des sites favorables a permis de détecter un certain nombre de fragments de fûts non décrits auparavant, en particulier dans les rues des villes (par exemple, comme pierres de garde), dans les maisons privées (comme piliers ou linteaux), comme points de repère dans les parcs privés ou le long des routes, dans les églises ainsi que dans les dépôts lapidaires. On a également pris soin d'enquêter sur les sites où l'on connaît des villes romaines mais où l'on n'a pas signalé de fûts de granite, afin de vérifier si ce manque était dû à la documentation ou à la préservation, ainsi qu'à un manque originel de fûts de granite.

Chaque pièce de fûts a été documentée par sa localisation, son diamètre (D) et sa longueur (L) avec une précision d'un cm, son irrégularité et sa susceptibilité magnétique (voir détails ci-dessous), la présence d'un tore supérieur ou inférieur d'origine, la fracturation, la couleur et l'aspect visuel, y compris des photos détaillées pour référence. Les hypothèses d'approvisionnement ont été faites in situ en combinant des critères visuels et magnétiques, selon la procédure décrite ci-dessous. Les fûts ont été attribués à un "site" spécifique correspondant à une ville ou une localité actuelle, dans un périmètre maximum de 15 km. Aucune tentative de nommer ces sites en fonction d'une localité antique n'a été faite en raison de la dominance des fûts réutilisés mentionnée ci-dessus. La seule exception est la villa maritime de Tauroentum, avec un fût découvert lors des fouilles.

La susceptibilité magnétique volumique (K) a été déterminée à l'aide de l'instrument portable SM30, plus moderne et plus sensible mais de conception géométrique globalement identique au KT5 utilisé par Williams-Thorpe dans ses publications. Le diamètre du capteur est d'environ 5 cm et sonde le matériau jusqu'à quelques centimètres de profondeur ; cependant, le premier centimètre fournit déjà 69% du signal total (Lecoanet et al. 1999 ; Jordanova et al., 2003 ; Gattacceca et al., 2004b). Au moins trois mesures de K ont été obtenues en appliquant le capteur sur plusieurs surfaces cylindriques, aussi lisses que possible. Les mesures prennent environ une minute. La variabilité relative entre les mesures répétées d'un même fût ne dépasse généralement pas 20%. L'instrument étant calibré pour une surface parfaitement plane, un facteur de correction F est nécessaire pour tenir compte de la courbure du fût (c'est-à-dire le diamètre D) et de l'irrégularité de la surface (U), estimée visuellement en mm. F augmente avec l'augmentation de U et la diminution de D. Les valeurs de F sont fournies dans Williams-Thorpe et Thorpe (1993) ainsi que dans le manuel de l'utilisateur de SM30 et KT5. Par exemple, F d'un fût de 40 cm de diamètre avec une inégalité de 0, 1, 2 mm est de 1,10, 1,17, 1,24, respectivement. Le K moyen corrigé pour un fût donné est donc la moyenne de la mesure du K brut multiplié par F, et est tabulé en 10⁻³ unité SI. Pour trois fûts, nous n'avons pas pu utiliser le SM30 mais nous avons obtenu des échantillons de quelques dizaines de grammes, mesurés en laboratoire à l'aide du kappabridge MFK1. La valeur K a été dérivée de la susceptibilité massique en utilisant une densité fixe de 2,65, typique pour le granite. Ces trois fûts se trouvaient à Arles (deux immergés dans le lit du Rhône et échantillonnés sous l'eau à 10 m de profondeur) et à Aix (grand fût posé sur un piédestal de 3 mètres de haut, qui a été échantillonné pendant sa restauration).

Pour le pXRF nous avons utilisé le Bruker tracer IV, en mode élément traces avec un temps de comptage de 90 s. Il montre une sensibilité sur les teneurs en Rb et Sr de l'ordre de 5 ppm et une taille de spot d'analyse de l'ordre de 1 cm. La méthodologie de ces mesures a été récemment détaillée dans Triantafyllou et al.

(2021). Pour le granite à gros grains, il faut savoir qu'il est nécessaire de faire la moyenne d'un grand nombre de mesures individuelles (16 est proposé dans Triantafyllou et al. 2021) pour surmonter la variabilité minéralogique à l'échelle cm. L'étalonnage du fabricant a été utilisé. Pour vérifier la validité de cet étalonnage, nous avons comparé les données moyennes obtenues sur les fûts avec les données moyennes obtenues sur les surfaces sciées des échantillons de roche obtenus dans différentes carrières (île de Cavallo en Corse, San Piero à Elbe, Okzular à Mysie). Nous avons également comparé nos résultats avec les résultats géochimiques publiés.

Comme un grand nombre de nos observations ont été faites sur des fragments plutôt que sur des fûts complets, nous avons tenté de générer des fûts composites à partir de fragments de caractéristiques similaires afin d'obtenir une signification statistique concernant leur contexte architectural d'origine. Nous avons basé ces reconstitutions sur des fragments de même provenance et de diamètre similaire (à 5 cm près), en utilisant un rapport de forme maximal ($S=L/D$) discuté dans la section des résultats, et un maximum de deux tores observés. Dans la mesure du possible, la similitude de la valeur K et de la texture, l'ajustement des surfaces brisées ainsi que la preuve des surfaces supérieures et inférieures ont été utilisés. Enfin, afin de considérer l'impact de la réutilisation des spoliae et les effets de la réutilisation, chaque entrée de notre catalogue (annexe) est caractérisée par une référence à la datation du contexte archéologique, soit impérial, antique tardif (période chrétienne principalement 5-6ème siècle), médiéval ou moderne.

4. Résultats

a) Résultats généraux basés sur la susceptibilité magnétique

276 vestiges de fûts en granite (complets ou sous forme de fragments) ont été identifiés dans 21 sites de Narbonnaise, sans compter les découvertes isolées en campagne dans les environs d'Aix et de Die (Fig.3 et Tableau 2). On note que deux regroupements de sites ont été effectués dans le tableau 2 : Saint-Romain en Gal (avec un fût) est regroupé avec Vienne, de l'autre côté du Rhône, tandis que l'Abbaye de l'île de Lérins (deux fûts) est regroupée avec Antibes, à une distance de 9 km. Afin d'obtenir une signification statistique en termes d'importation initiale, nous avons tenté de générer des fûts composites en suivant les méthodes présentées ci-dessus, ce qui a conduit à un corpus d'au moins 174 fûts complets. Il s'agit d'un nombre minimum car nos hypothèses d'appariement ont pu regrouper des fragments provenant de différents fûts d'origine. Le graphique du rapport axial (longueur sur diamètre) pour les fûts dont une seule pièce a été mesurée est présenté dans la fig.4. Il montre que tous les fûts ont un rapport inférieur à 8,7, à l'exception d'un seul fût de petit diamètre qui sera discuté plus tard. Par conséquent, nous avons fixé la limite supérieure du rapport axial des fûts composites à 8,7.

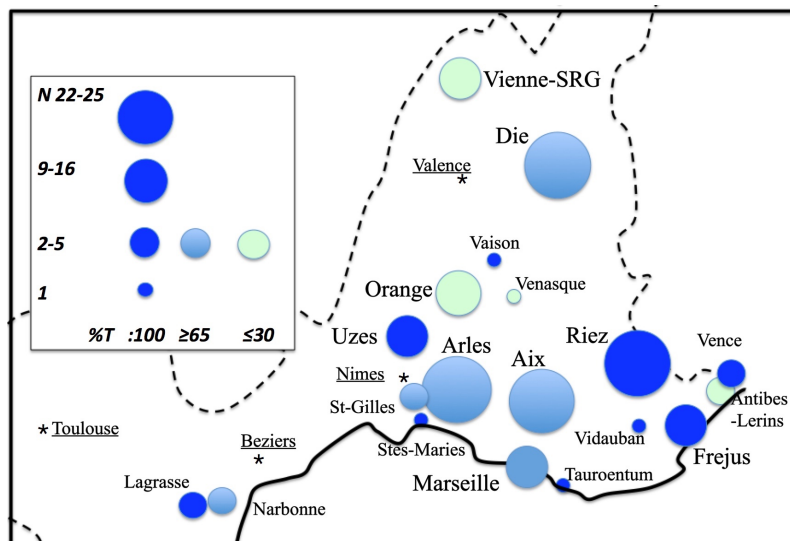


Figure 3 : carte des sites étudiés avec les limites des Narbonnaise (bord de mer en trait plein, frontière politique en pointillé) et le nombre de fûts en granite représenté par la dimension du cercle. Le code couleur correspond au % d'origine turque. Le nom des sites avec des grandes (petites) polices correspond au numéro de fûts ≥ 9 (≤ 5), tandis que les villes principales sans fûts détectés sont soulignées.

Les sites majeurs (avec >15 fûts) sont par ordre d'importance Riez, Arles, Die, Aix et Orange. Les quatre premières localités contribuent à 54% de l'ensemble du corpus. Cinq sites ne donnent qu'un seul fût et cinq autres de 2 à 5. Les sources turques dominent fortement (73%, dont 2/3 en provenance de Troade), l'île d'Elbe arrivant en deuxième position (19%, voir tableau 2). Outre la prédominance globale de la Troade, certaines spécificités de sites apparaissent avec une prédominance de l'Elbe à Orange, Antibes-Lérins et Vienne, de Mysie à Marseille et Riez. Les sources mineures sont les granites roses d'Assouan (3 fûts à Vienne et Marseille) et de Sardaigne (3 fûts d'Olbia et Capo Testa, à Narbonne, Aix et Antibes), ainsi que le granite gris

vraisemblablement de Corse en raison de l'absence de foliation et de la couleur noire et blanche non pure (5 fûts à Die). Aucune source locale de granite de Gaule n'est identifiée, à l'exception du porphyre de l'Estérel (4 fûts à Fréjus, Lérins, Venasque, avec des valeurs de K de $27,3 \pm 3,7$, voir fichier complémentaire). Le tableau 1 illustre la bonne concordance des valeurs de K (moyenne ou gamme) que nous avons obtenues avec les valeurs de Williams-Thorpe (2008).

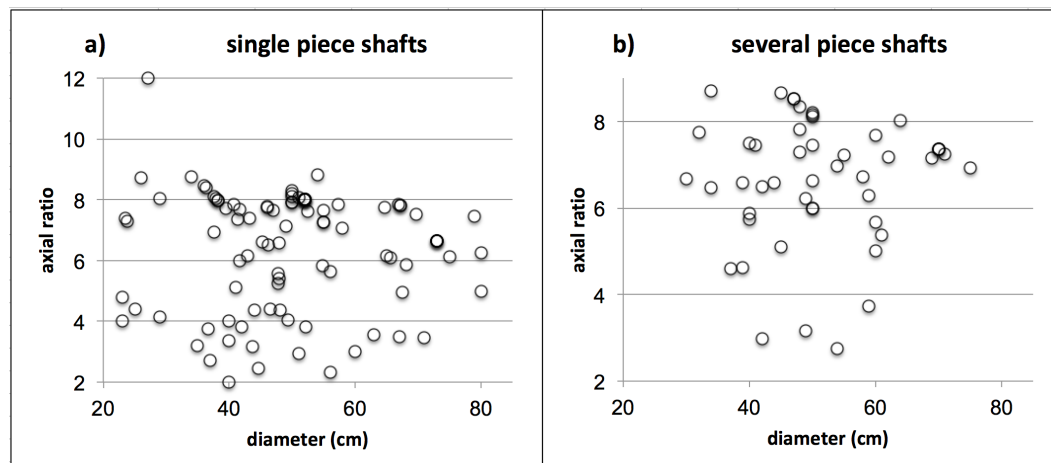


Figure 4 : rapport axial (longueur/diamètre) en fonction du diamètre des fûts mesurés comme pièces uniques (à gauche) ou multiples (à droite) dans notre base de données.

site	Troade	Mysie	Corse	Assouan	Elbe	Sardinia	N shafts	% Turkish	n frag.
Riez	2	23					25	100	26
Arles	14	5			5		24	79	46
Die	12	3	5		3		23	65	39
Aix	13	5			3	1	22	82	26
Orange	2				14		16	13	43
Marseille	4	8		1			13	92	18
Vienne-SRG	2	1		2	5		10	30	28
Frejus	9						9	100	9
Uzes	8	1					9	100	13
Antibes-Lérins	1				3	1	5	20	7
Narbonne	3					1	4	75	4
Lagrasse	4						4	100	6
Saint Gilles	2				1		3	67	4
Vence	2						2		2
Stes Maries de la Mer	1						1		1
Tauroentum		1					1		1
Vaison la Romaine	1						1		1
Venasque					1		1		1
Vidauban	1						1		1
Total (N or n)	81	47	5	3	35	3	176		279
Total %	47.4	27.5	2.9	1.8	20.5	1.8			

Tableau 2 : nombre de fûts en granite provenant des différentes sources identifiées par site ou groupes de sites (classés par nombre décroissant de fûts composites). Le pourcentage de sources turques et le nombre de fragments (n) sont également indiqués.

b) Identification du granite corse par pXRF

Pour confirmer l'identification de la Corse du Sud et exclure Claudianus comme source des fûts composites à gros grains (5 composés de 13 fragments à Die, tous très similaires), nous avons déterminé la teneur en Sr et Rb en utilisant des mesures pXRF sur 5 fragments provenant de 4 endroits différents à Die, avec 27 analyses au total. Nous avons comparé la moyenne obtenue avec nos mesures pXRF sur des carottes de roche échantillonnées dans l'île de Cavallo (Gattacceca et al., 2004a), avec les mesures pXRF effectuées par Triantafyllou et al. (2021) à Cavallo et dans diverses îles proches ainsi que dans une colonne à Bonifacio, ainsi qu'avec les données de Corse et de Claudianus compilées par Potts et West (2008) et rapportées par Abdel-Rahman (2019). La figure 5 (basée sur les données résumées dans le tableau 3) montre que malgré un écart-type (s.d.) important dû à la nature à gros grains de ce faciès, des moyennes cohérentes sont observées entre les différentes références corses et la moyenne pour les fûts de Die, loin des valeurs Sr rapportées pour Claudianus. Les valeurs de Rb se chevauchent mais sont plus élevées pour les fûts de Die. Les résultats de Potts et West (2008) ainsi que notre expérience des mesures pXRF sur des fûts en granite montrent que Rb peut être systématiquement sous-estimé (en raison de l'altération ou des effets géométriques de la surface irrégulière), alors que Sr est estimé de manière plus robuste.

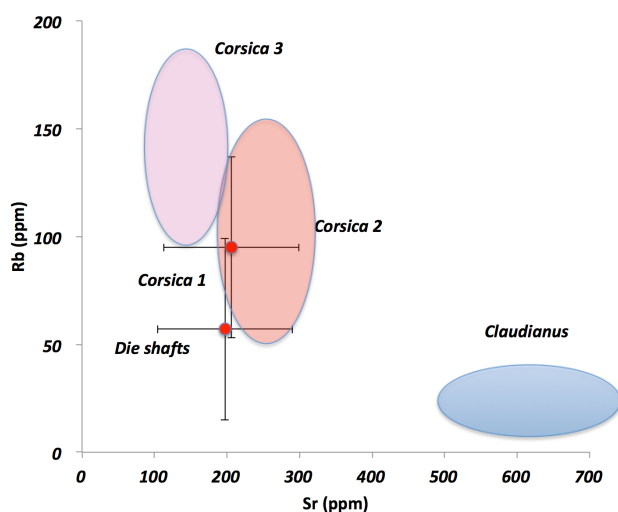


Figure 5 : Teneurs moyennes en Rb et Sr avec leur s.d. mesurées par pXRF dans des fûts de Die suspectés de provenir de Corse, comparées aux mesures pXRF sur des échantillons de roche de Corse faites par nous (Corsica1) ou Triantafyllou et al. (2021 ; Corsica2), ainsi qu'aux données bibliographiques de Potts et West (2008) sur la Corse-Sardaigne (Corsica3), et de Potts et West (2008) et Abdel Rahman (2019) sur le granite de Mons Claudianus.

data	average $\pm$ s.d. or range (ppm)		reference
	Rb	Sr	
Die shafts (N=27)	57 $\pm$ 41	197 $\pm$ 93	This study
Corsica1 (N=13)	95 $\pm$ 42	206 $\pm$ 75	This study
Corsica2 (pXRF)	60-150	180-290	Triantafyllou et al. (2021)
Corsica3 (ICPMS and XRF)	90-170	120-200	Potts and West (2008)
Claudianus (ICPMS and XRF)	20-45	490-720	Potts and West (2008), Abdel Rahman (2019)
Elbe San Piero quarry (N=12)	246 $\pm$ 30	214 $\pm$ 26	This study
Elbe San Piero quarry (ICPMS)	255-276	218-227	Gagnevin et al. (2004)
Mysie Okzular quarry (N=12)	112 $\pm$ 32	709 $\pm$ 15	This study
Mysie quarries (ICPMS)	105-133	419-712	De Vecchi et al. (2000)

Tableau 3 : Teneurs en Sr et Rb en ppm pour divers granites gris ; données moyennes avec écart-type pour nos mesures pXRF (fûts de Die et échantillons de carrière ; N est le nombre d'analyses) ; gamme de valeurs d'après la littérature.

Un autre test de la validité des résultats pXRF peut être trouvé dans nos résultats sur les échantillons des carrières Elbe et Mysie (une surface d'environ 10 x 10 cm a été mesurée avec le même protocole que pour les fûts). En raison de la granulométrie plus fine de ces granites, l'écart-type des moyennes XRF est plus faible que pour le granite corse (tableau 3). Les moyennes correspondent très bien aux gammes rapportées par ICPMS par de Vecchi et al. (2000) et Gagnevin et al. (2004). Nous concluons donc que nos résultats pXRF sont robustes et qu'une origine égyptienne des fûts de Die est définitivement exclue.

5. Discussion

L'identification robuste de fûts provenant de Corse à Die, résolvant l'ambiguïté avec la source de Claudianus basée sur le pXRF, peut aider à documenter l'exportation de cette source hors de la Corse-Sardaigne, jusqu'ici négligée (mais voir Clerbois et al. 2021). Alors que Williams-Thorpe (2008) n'a signalé cette source qu'à Rome, et un seul fût à Arezzo, notre découverte de fûts corses à Die, ainsi qu'à Lyon et Pise dans une autre étude (Rochette et al., 2021), suggère que cette source a pu être exportée plus largement qu'on ne le pensait.

La comparaison avec d'autres régions de la Méditerranée occidentale met en évidence les spécificités du commerce du granite (Fig.6), sur la base des données de Williams-Thorpe (2008), Roda et al. (2012), ainsi que de nos observations préliminaires rapportées brièvement ici. À Tarragone, nos observations confirment la prédominance écrasante des fûts de Troade (Roda et al., 2012), bien qu'un fût de Mysie ait été observé, ainsi que deux de provenance inconnue. En Corse, nous avons observé à Mariana 12 fûts, tous en provenance d'Elbe, ce qui peut être considéré comme une source locale. Au Maghreb, nos observations rapides dans le nord de la Tunisie ainsi que les données publiées à Djemila en Algérie (Antonelli et al. 2010b) indiquent une forte prédominance des sources turques. Les granits égyptiens ne sont abondants qu'à Rome (les sources turques venant en second), signant leur valeur plus prestigieuse. En dehors de Rome, les sources locales sont dominantes en Andalousie, en Toscane ainsi qu'en Sardaigne et en Corse, tandis que la prédominance des sources turques n'est observée qu'en Narbonnaise, à Tarragone et au Maghreb.

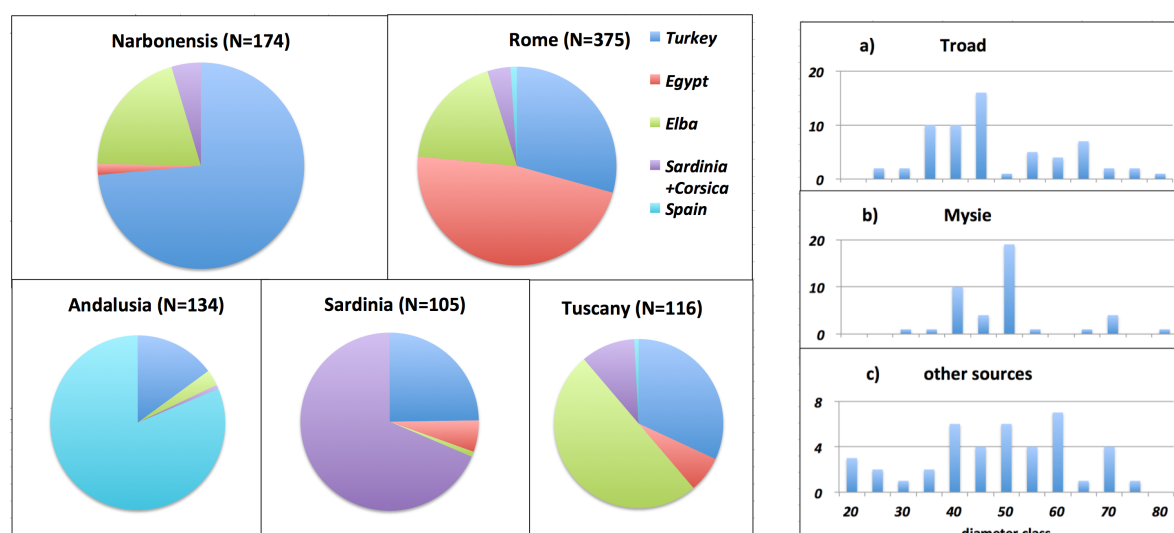


Figure 6 : diagrammes circulaires des sources de fûts en granite en Narbonnaise par rapport à l'Andalousie, Rome, la Sardaigne, la Toscane d'après Williams-Thorpe (2008).

Figure 7 : histogrammes des diamètres des fûts pour les différentes sources de notre étude : a) Troade, b) Mysie, c) autres (principalement Elbe).

Les histogrammes du diamètre des fûts pour les sources Troade, Mysie et autres sont présentés dans la Fig.7. La plupart des fûts ont un diamètre compris entre >30 et <70 cm. Comparé à ces histogrammes présentés dans Williams-Thorpe (2008 ; leur Fig.6), les mêmes modes majeurs apparaissent autour de 40 et 60 cm. Les histogrammes sont assez différents pour les différentes sources : la comparaison des Fig.7 a et b) suggère une spécialisation des carrières de Mysie par rapport à celles de Troade, Mysie produisant plus de fûts de 50 et 70 cm de diamètre, alors que Troade a produit plus de fûts de 40 et 60 cm. Ceci peut expliquer en partie le choix de Mysie par rapport à Troade pour un projet architectural donné : commander un fût de 50 cm de diamètre au lieu de 40 cm peut avoir imposé de s'appuyer sur la carrière de Mysie au lieu de celle de Troade.

L'abondance des fûts par site montre des résultats inattendus : parmi nos quatre premiers sites avec plus de 20 fûts, outre les grandes villes d'Arles et d'Aix, Riez et Die n'étaient pas attendus à un tel rang en raison de leur importance historique et géographique présumée plutôt limitée. Cela peut être dû au fait que dans ces villes relativement éloignées et au développement moderne limité, la perte de fûts à travers les âges a été moins grave que dans les grandes villes le long du Rhône ou de la côte méditerranéenne. Néanmoins, le fait que Die et Riez soient parmi les 4 localités avec des fûts de plus de 70 cm de diamètre, avec Arles et Orange, indique une monumentalité spécifique. En revanche, certains sites historiques majeurs ne livrent aucun fût de granite, comme Nîmes, Béziers, Toulouse et Glanum, ou très peu, comme Narbonne et Vaison-la-Romaine. Ces villes peuvent

avoir subi une spoliation particulièrement intense avec l'exportation des fûts dans d'autres sites (par exemple, le fût de l'abbaye de Lagrasse peut provenir de Narbonne), ou ne pas avoir utilisé de fût en granit dès le début. Cela peut être lié au rang secondaire de la ville (cas de Glanum et Vaison), ou à des particularités culturelles, comme l'accent mis sur les cultures locales ou hellénistiques.

La majorité des fûts de Narbonnaise sont réutilisés dans l'Antiquité tardive (12,3%), médiévale (32,7%) et moderne (21,1%). La réutilisation a commencé à l'époque impériale (2 bornes gravées trouvées à Lérins et Vidauban ; un fragment de fût partiellement coupé pour générer des dalles de 2 cm d'épaisseur, par ex. pour l'opus sectile près de Die, bien que l'attribution à l'antiquité puisse être discutée), puis dans les baptistères chrétiens de l'Antiquité tardive (Aix, Riez, Fréjus, Venasque, voir Guyon, 2005), mais surtout à l'époque médiévale comme insertion dans des églises et abbayes de style roman (Arles, Die, Lagrasse, Lérins, Riez, St Gilles, Stes Maries de la Mer, Vaison). La réutilisation médiévale s'est faite en partie à des fins structurales (par exemple, les piliers soutenant le clocher de la cathédrale de Die), mais surtout à des fins décoratives, dans les chœurs ou les porches des églises (Hartmann-Virnich, 2000), comme pilier de vasques, etc. Un cas intéressant est celui du fût Troade de 27 cm de diamètre du porche de l'église Saint-Trophime à Arles : il ne porte pas de tore terminal, a un diamètre constant et un allongement exceptionnel (Fig.4). Ceci implique qu'il a été aminci à partir d'un fût antique de plus grand diamètre, probablement dans le but de suivre le style de l'époque (Vergniolle, 1998), avec des fûts plus fins que la norme romaine. La réutilisation moderne a été observée dans des châteaux et des propriétés privées (Aix, Die, Uzès), des monuments de rue (Aix, Antibes, Marseille, Vence), des gardiens de route (Arles et Riez) et même des installations artistiques (Musée Picasso à Antibes).

Il est possible de remettre en question l'hypothèse implicite des auteurs précédents (par exemple Williams-Thorpe, 2008) selon laquelle le corpus actuel n'a pas été biaisé par l'importation post-romaine de spoliae. L'utilisation de spoliae pour être inclus dans de nouveaux bâtiments a conduit à un transport qui n'était pas toujours de courte distance. Déjà à l'époque impériale, les deux fûts identiques de Vence semblent avoir été un réemploi, transporté depuis Marseille à 150 km de là, d'après les inscriptions observées sur les fûts. En France médiévale, les deux colonnes de porphyre rouge observées dans la cathédrale du Puy ont probablement été rapportées de Rome par un pape -peut-être Callixte II- au XII^e siècle (Malgouyres, 2005). Il faut également mentionner le transport de nombreux fûts de Ravenne et de Rome à Aix-la-Chapelle commandé par Charlemagne au IX^e siècle (Peacock, 1997). À l'époque moderne, on trouve d'autres exemples de ce type de transport longue distance : les fûts de Leptis Magna en Libye ont été exportés à plusieurs reprises au XVII^e siècle pour le compte des rois d'Angleterre et de France (Laronde, 1995 ; Williams-Thorpe, 2008). La révolution française a spolié les colonnes médiévales d'Aix-la-Chapelle, et Napoléon les a utilisées pour décorer le palais du Louvre à Paris (Peacock, 1997). Plus tard, le goût aristocratique pour les antiquités et la Rome antique, conduit à des importations documentées (dans le nord de la France, notre travail en préparation) d'Italie, d'Égypte et du Maghreb. Ces importations d'outre-mer expliquent vraisemblablement la présence dans les collections du musée d'histoire de Marseille, d'un cylindre parfait de granit d'Assouan, de taille moderne évidente et de dimensions adaptées à un piédestal de statue. Aucune documentation n'accompagne cet objet, mais il faisait partie du décor d'un château meublé pour Louis Borely qui faisait du commerce en Égypte, fin du XIX^e siècle. Comme dernier point de prudence pour interpréter notre corpus en termes d'architecture romaine à Narbonnaise, il y a la possibilité que les fûts utilisés dans les programmes monumentaux médiévaux n'étaient pas des spoliae mais des extractions contemporaines d'une carrière de granit. La production médiévale de fûts en granit est démontrée à Elbe (Zecchini, 2018 ; Clerbois et al., 2021), et les nombreux fûts de plus de 1 m de diamètre provenant d'Elbe et observés à Pise ont été estimés " probablement " pisans par Williams-Thorpe (2008 ; voir aussi Rochette et al. 2021).

La Fig.7c montre pour les sources non turques (principalement Elbe, puis Corse-Sardaigne avec quelques Assouan) une distribution différente des diamètres, avec significativement plus de petits (≤ 35 cm) et grands (≥ 60 cm) diamètres, par rapport aux sources turques. Une répartition similaire est observée en Toscane, où les fûts d'Elbe et de Corse-Sardaigne abondent (Fig.6 de Williams-Thorpe, 2008). Cela peut indiquer une proportion significative de fûts produits à l'époque médiévale (en particulier dans la gamme des petits diamètres, comme l'illustre le cas de St Trophime à Arles) à la fois en Narbonnaise et en Toscane. La plupart des diamètres < 30 cm dans notre corpus se trouvent dans un contexte médiéval.

6. Conclusions

Un inventaire systématique des fûts en granit d'origine présumée antique et leur sourçage ont été réalisés sur l'ancien territoire de la Narbonnaise. 276 fûts complets ou fragmentaires ont été identifiés et utilisés pour déduire un nombre minimum de 174 fûts complets initiaux, provenant de 21 localités. Seules 4 localités (Aix, Arles, Die, Riez) contribuent à 54% de l'ensemble du corpus. L'identification des sources a été effectuée par une combinaison de méthodes visuelles, de susceptibilité magnétique et d'attribution d'éléments traces, par rapport aux carrières antiques connues d'Égypte, de Turquie, d'Elbe, de Corse et de Sardaigne. Les sources turques (Troade et Mysie) dominent fortement (75%), suivies par l'Elbe (20,5%). Les sources mineures sont les granits roses d'Assouan et de Sardaigne, ainsi que le granit gris de Corse, que l'on ne trouve qu'à Die. Aucune source locale (par exemple des granites du Massif Central) n'a été identifiée, à l'exception de la microdiorite esterellite ("porfiro bigio"). L'ambiguïté entre la source corse et le granite gris égyptien de Mons Claudianus a été résolue en déterminant les teneurs en Sr et Rb par fluorescence X portable. Le granite corse pourrait avoir été plus largement exporté qu'on ne le pensait.

Comparée aux autres provinces de la Méditerranée occidentale - à l'exception de Rome où les granits égyptiens dominent - la Narbonnaise, avec sa dominance de sources turques et son manque de sources locales, présente des similitudes avec Tarragone et le Maghreb. En revanche, la dominance des sources locales caractérise la province d'Andalousie, la Toscane, la Corse et la Sardaigne. Notre étude permettra aux archéologues locaux d'émettre des hypothèses sur les monuments d'origine des fûts signalés, et sur les spécificités de chaque site en termes de sources granitiques utilisées.

Comme la majeure partie du corpus est constituée de fûts présents dans un contexte médiéval à moderne, l'interprétation de nos résultats en termes de choix architecturaux et économiques de l'époque romaine doit être faite avec prudence. Le transport sur de longues distances de spoliae ou de fûts nouvellement exploités peut avoir eu lieu après l'époque romaine. Cette question mérite d'autres études spécifiques, notamment sur les fûts utilisés ou réutilisés dans la construction médiévale, comme cela a été rapporté dans le cas des églises romanes de Pise et de Lyon (Rochette et al. 2021). Une autre perspective suite à la présente étude systématique est son extension vers le reste de la Gaule, ainsi que vers l'ensemble de la Méditerranée occidentale où le corpus de fûts en granite actuellement publié est plutôt incomplet.

Remerciements : ce projet a été soutenu par l'institut Arkaia de la fondation AM*Idex (<https://www.univ-amu.fr/fr/public/fcgm>). Nous remercions les critiques constructives d'E. Petrovski et d'un réviseur anonyme. Nous remercions chaleureusement les nombreuses personnes qui nous ont aidés dans notre recherche systématique des fûts granitiques de Narbonnaise, en particulier J.M. Bernard (Arles), E. Delaval (Antibes), V. Eggert (St-Gilles), P. Excoffon (Fréjus), D. Moulis (Narbonne), B. Vigié (Marseille), M. Zannettacci (Vienne), ainsi que L. Long qui a demandé au premier auteur de déterminer l'origine des fûts immergés à Arles et a autorisé le prélèvement. Ce fut le point de départ du présent projet.

Annexe : catalogue des fûts en granite de Narbonnaise produit dans cette étude (à demander à rochette@cerege.fr)

Références

- Abdel-Rahman, A.M., 2019. Geochemistry, age and origin of the Mons Claudianus TTG batholith (Egypt): insight into the role of Pan-African magmatism in uniting plates of Gondwana. *Geological Magazine* 156, 969–988. <https://doi.org/10.1017/S0016756818000304>
- Antonelli, F., Lazzarini, L., Cancelliere, S., 2010a. ‘Granito del Foro’ and ‘granito di Nicotera’: petrographic features and archaeometric problems owing to similar appearance. *Archeometry* 52, 919-936.
- Antonelli, F., Lazzarini, L., Cancelliere, S., 2010b. On the white and coloured marbles of the Roman town of Cuicul (Djemila, Algeria). *Archeometry* 52, 575-596.
- Clerbois, S. et al., 2021. The Roman Granite Quarries in the Tyrrhenian Sea during the Imperial Period: a Technological Study. *Marmora*, (in press).
- DeLaine, J., 1997. The baths of Caracalla. A study in the designs, construction and economics of large-scale building projects in imperial Rome. *JAT, Suppl.* 25. Portsmouth, Rhode Island.
- De Vecchi, G., Lazzarini, L., Lünel, T., Mignucci, A., Vison, D., 2000. The genesis and characterisation of ‘Marmor Misium’ from Kozak (Turkey), a granite used in antiquity. *Journal of Cultural Heritage* 1, 145-153.
- Gagnevin, D., Daly, J.S., Poli, G., 2004. Petrographic, geochemical and isotopic constraints on magma dynamics and mixing in the Miocene Monte Capanne monzogranite (Elba Island, Italy). *Lithos* 78, 157-195.
- Gattacceca, J., Orsini, J.-B., Henry, B., Rochette, P., Rossi, P., Cherchi, G., 2004a. Late-Hercynian tectonic environment revealed by anisotropy of magnetic susceptibility of Hercynian granitoids from Southern Corsica and Northern Sardinia. *Geol. Soc. London* 161, 277-289.
- Gattacceca, J., Eisenlohr, P., Rochette, P., 2004b. Calibration of in situ magnetic susceptibility measurements. *Geophys. J. Int.* 158, 42-49.
- Gébara, C., Morhange, C., 2010. Fréjus (Forum Julii): Le Port Antique / The Ancient Harbour *Journal of Roman Archaeology Suppl.* 77, 152 pp, Portsmouth Rhode Island.
- Guyon, J., 2005. Les premiers édifices de culte chrétiens. In : 15 ans d’archéologie en Provence-Alpes-Côte d’Azur, pp. 118-199.
- Hartmann Virnich, A., 2000. Le rôle des matériaux antiques en réemploi dans la sculpture monumentale antiquisante en Provence romane: l'exemple d'Arles et de Saint-Gilles-du-Gard. *Revue archéologique de Narbonnaise* 33, 288-292.
- Jordanova D., Veneva L., Hoffmann, V., 2003. *Stud. Geophys. Geod.* 47, 403-418. DOI 10.1023/A:1023736111156.
- Jover, O., Rochette, P., Lorand, J.P., Maeder, M., Bouchez, J.L. 1989. Magnetic mineralogy of some granites from the French Massif Central: origin of their low field susceptibility. *Phys. Earth Planet. Inter.* 55, 79-92.
- Laronde, A., 1995. Claude Le Maire et l'exportation des marbres de Lepcis Magna. *Bulletin de la Société nationale des Antiquaires de France*, année 1993, 242-255.
- Lazzarini L., 1992. Des pierres pour l'éternité, les granits utilisés dans l'antiquité classique. in: *Le Marbre dans l'Antiquité*, Les Dossiers d'Archéologie 173, 58–67.
- Lecoanet, H., Leveque, F., Segura S., 1999. Magnetic susceptibility in environmental application: comparison of field probes. *Phys. Earth Planet. Inter.* 115, 191-204.
- Malgouyres, P., 2011. Dévotion mariale et faveur pontificale. A propos des colonnes de porphyre du portail occidental de la cathédrale du Puy. *Bulletin de la Société Nationale des Antiquaires de France*, Années 2004-2005, 335-338
- Mazeran, R., 2004. Les granitoïdes employés en décoration dans les monuments romains et paléochrétiens du sud-est de la France. In : Lorenz J. et Gely J.-P. Gely (dir.) *Carrières et constructions en France et dans les pays limitrophes CTHS* 2001, p. 219-230.
- Peacock, D. P. S., Williams-Thorpe, O., Thorpe, R. S. Tindle, A.G., 1994. Mons Claudianus and the problem of the ‘granito del foro’: a geological and geochemical approach. *Antiquity* 68, 209-230
- Peacock, D. P. S., 1997. Charlemagne's black stones: the re-use of Roman columns in early medieval Europe. *Antiquity* 71, 709-715.
- Pensabene, P., Domingo, J. Á., Rodà, I., 2018, The distribution of Troad Granite columns as evidence for reconstructing the management of their production, *ASMOSIA XI*, (Split 2015), Split 2018, pp. 613-620.
- Potts, P.J., West, M., 2008. Portable X-ray fluorescence spectrometry: Capabilities for in situ analysis. *Royal Society of Chemistry*, 291 pages.
- Rochette, P., 1987, Magnetic susceptibility of the rock matrix related to magnetic fabric studies, *J. Struct. Geol.*, 9, 1015-1020.
- Rochette, P., Sciuto, C., Raneri, S., Sutter, A., Rovazzani, A., Ambrosi J.P., Andrieu, V., Gattacceca, J., Hartmann-Virnich, A., 2021. Non-destructive magnetic and chemical characterization of granite column shafts traded in the Mediterranean area: the case of Piazza dei Miracoli in Pisa (Italy) and Basilica of Saint-Martin d’Ainay in Lyon (France). *Metrology for archaeology and cultural heritage congress*, Milano.
- Rodà, I., Pensabene, P., Domingo, J. Á., 2012, Columns and Rotae in Tarraco made with granite from the Troade, *ASMOSIA IX*, (Tarragona 2009), Tarragona 2012, pp. 210-227.
- Russell, B., 2013, *The Economics of the Roman Stone Trade*, Oxford.
- Triantafyllou, A., Mattielli, N., Clerbois, S., 2021. Optimizing multiple non-invasive techniques (PXRF, pMS, IA) to characterize coarse-grained igneous rocks used as building stones. *Journal of Archaeological Science* 129(15), 105376 DOI: 10.1016/j.jas.2021.105376
- Vergnolle, E., 1998. La colonne à l'époque romane. Réminiscences et nouveautés. *Cahiers de Civilisation Médiévale* 41-162 pp. 141-174.

Williams-Thorpe, O., 2008. A thousand and one columns: observations on the Roman granite trade in the Mediterranean area. *Oxford Journal of Archaeology* 27, 73-89.

Williams-Thorpe, O., Thorpe, R.S., 1993. Magnetic susceptibility used in non-destructive provenancing of Roman granite columns. *Archaeometry* 35, 185-195.

Williams-Thorpe, O., Rigby, I.J., 2006. Roman granites of Sardinia: Geochemical and magnetic characterization of columns and quarries, and comments on distributions in the Mediterranean area. *Marmora* 2, 83-112.

Williams-Thorpe, O., Rigby, I.J., 2007. Roman granite columns in Elba, Giglio and Tuscany: a contribution to provenancing and distribution studies. *Marmora* 3, 77-106.

Wilson, R.J.A., 1988. Ancient granite quarries on the bocche di Bonifacio. N. Herz and M. Waelkens (eds.), *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*, 103-112. by Kluwer Academic Publishers.

Zecchini, M., 2018. Il granito dell'Elba nell'antichità. Fronti di cava, statue, colonne. <https://www.academia.edu/37854100/>