

PORTUS AUGUSTI

1 Capacité portuaire

Du pain et des jeux¹ pour assurer la paix sociale ...

Pour les jeux, on a le Colisée (construit entre 70 et 80) et pour le pain il nous faut un bassin portuaire capable de garantir l'approvisionnement de Rome en blé. On a déjà Portus Claudius (construit à partir de 42 ap. J-C.) mais 200 bateaux ont coulé dans ce port pendant une tempête en 62². On va donc y ajouter un nouveau bassin mieux protégé des tempêtes : Portus Trajanus dont la construction est probablement entreprise à partir de 103.

Ce nouveau bassin se combinera donc très bien avec Portus Claudius, qui a un grand bassin de plus de 100 ha³ qui peut servir d'avant-port et qui permettra d'entrer à pleines voiles et de carguer (affaler) les voiles à l'abri. Il offre aussi un abri pour env. 300 bateaux au mouillage (à l'ancre) pour l'attente éventuelle du déchargement dans le nouveau bassin. Le but est en effet de décharger dans le nouveau bassin à creuser qui sera non seulement mieux protégé des tempêtes, mais aussi équipé de nombreux entrepôts de stockage et d'un nouveau canal vers le Tibre qui permettra une remontée plus rapide des marchandises par barges halées vers Rome située à 30 km en amont. On pourra ainsi séparer les trafics : navires hauturiers du côté du nouveau bassin et barges fluviales du côté du nouveau canal, avec les entrepôts entre les deux. Cette séparation des trafics est très judicieuse car elle permet de séparer le monde maritime du monde fluvial (les marins et les douaniers comprendront ...). Elle est d'ailleurs encore utilisée dans certains ports actuels, comme par exemple à Rotterdam.

Bref, la chaîne logistique est entièrement repensée.

Il faut donc fournir entre 200 000 et 400 000 tonnes/an de blé⁴ en provenance d'Afrique du Nord (Egypte, Tunisie) pour nourrir le million d'habitants de la ville. A ceci s'ajoutent les autres marchandises (huile d'olive, vin, garun, etc.). On pourrait imaginer un trafic total de 500 000 t/an.

Avec des bateaux de 200 à 500 t faisant deux voyages par an, il faut donc autour de 1000 bateaux. Sans doute un minimum.

¹ « Panem et circenses » Juvénal, *Satires*, 10.81

² En observant les zones abritées de la houle dans les calculs de L. Franco (Cf. Alberto Noli & Leopoldo Franco « The ancient ports of Rome: new insights from engineers », *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 6, 2009) on trouve env. 20 ha contre la digue Sud en cas de houle de SW et env. 40 ha contre la digue Nord en cas de houle de d'Ouest (NB : les houles dominantes sont comprises entre ces 2 secteurs). Sachant qu'on peut mouiller autour de 10 bateaux de 25 x 7 m par hectare de plan d'eau abrité, on peut parler de 300 bateaux au mouillage dans Portus Claudius. Cela fait tout de même du monde et une catastrophe comme celle de 62 est possible par exemple en cas de vent changeant brusquement de direction.

³ L. Franco estime les déblais à 4 millions de mètres cubes, ce qui considérable, même avec les moyens modernes de dragage.

⁴ Cf. Michel Reddé « Voyages sur la Méditerranée romaine », Actes Sud, 2005.

PORTUS AUGUSTI

Ces bateaux circulent surtout pendant la bonne saison (début avril à fin octobre) en profitant des « vents étésiens » de NW qui soufflent en Méditerranée orientale en juillet-août et qui permettent le voyage rapide de Rome vers Alexandrie (une à plusieurs semaines tout de même). On peut donc prévoir une concentration d'arrivées à Rome avant et après juillet-août.

Chaque bateau contient 4000 à 10 000 sacs de blé d'env. 50 kg et si on organise le déchargement par une chaîne humaine continue, on pourrait peut-être atteindre un record d'un jour ou deux pour décharger un bateau, mais il faut plus raisonnablement prévoir plusieurs jours.

Si on suppose que chaque bateau reste à quai 10 jours pour décharger et pour faire un peu d'approvisionnement et régler les formalités, et qu'on veuille accueillir 1000 bateaux en juin (premier voyage) et 1000 bateaux en octobre (deuxième voyage), alors il faut un bassin équipé de quais pour env. 330 bateaux.

En observant le plan de Portus Claudius⁵, on trouve un linéaire de quais de 1000 à 2000 m (dont 440 m pour la « Darsena ») situés entre la Darsena et la « Structure 8.15 » qu'on peut supposer située à l'extrémité Nord des quais. Les bateaux ne pouvaient pas être partout « cul-à-quai » et étaient donc aussi « bord-à-quai » (ce qui occupe bien plus de linéaire de quai). La Darsena n'a en effet que 45 m de largeur et ne permet pas de placer les bateaux cul-à-quai sans empêcher leur déplacement. Le nombre total de bateaux à quai dans Portus Claudius était donc limité à 100-150 bateaux au maximum et un agrandissement s'imposait.



Bas-relief Torlonia du port de Rome (Testaguzza, 1970)

Source : <http://www.ostia-antica.org/portus/reliefs.htm>

⁵ Cf. Simon Keay & Martin Millett « Portus in Context », Portus, an archaeological survey of the port of imperial Rome, The British School at Rome, 2005.

2 Formes de bassins portuaires

Supposons donc que l'empereur nous téléphone pour nous ordonner de creuser un nouveau bassin portuaire pour 300 bateaux de 25 x 7 m ... Il faudrait d'abord trouver un linéaire de quai de $300 \times 7 = 2100$ m (tous les bateaux étant amarrés « cul à quai » comme les bateaux de plaisance modernes). Toutes les formes seraient envisageables entre un segment rectiligne de 2100 m et un cercle de 668 m de diamètre, en passant par le triangle, le rectangle, l'hexagone, etc.

Pour toutes les formes ayant des angles, il faudrait prévoir un linéaire perdu dans les angles afin que tous les bateaux puissent circuler librement.

La forme circulaire serait tentante, mais puisqu'il faut creuser le bassin, on souhaiterait avoir un maximum de périmètre pour un minimum de surface (c'est-à-dire de volume à déblayer) et il se trouve que le cercle est bien connu pour donner la plus grande surface pour un périmètre donné. C'est donc la plus mauvaise forme pour un bassin portuaire à creuser et à équiper de quais en périphérie ! De plus, il n'offre pas le(s) quai(s) rectiligne(s) souhaité(s) pour l'exploitation portuaire.

Des formes anguleuses sont donc intéressantes pour le rapport périmètre/surface. A commencer par le triangle isocèle (à surface égale, il offre 30% de périmètre de plus qu'un cercle) mais ses angles aigus font perdre du linéaire. Viennent ensuite le carré et le rectangle, puis les formes multi-facettes : pentagone, hexagone, octogone, etc. qui se rapprochent de plus en plus du cercle. On comprend que le linéaire perdu augmente avec le nombre d'angles, mais, en même temps, le linéaire perdu diminue à chaque angle ... on voit à la valeur de C ci-dessous que les deux effets se compensent quasiment.

Voyons Portus Trajanus de plus près. Il s'agit d'un hexagone de 358 m de côté qui s'inscrit donc dans un cercle de 716 m de diamètre. Il a un périmètre de 2148 m et une surface de 33,3 hectares. Il paraît a priori assez proche de nos besoins pour caser 300 bateaux de 25 m de long et 7 m de largeur maximale puisqu'il a un peu plus des 2100 m de linéaire que nous souhaitons avoir.

Revenons donc à ce nouveau bassin, pour lequel nous nous sommes livrés à quelques calculs pragmatiques. Pour les polygones de 2148 m de périmètre, nous avons calculé le nombre de bateaux qu'on pourrait aligner côte à côte sur les quais de bassins polygonaux avec un nombre croissant de côtés. Nous avons aussi calculé la surface et le nombre de bateaux par unité de surface creusée.

N = nombre total de bateaux dans le bassin

n = nombre de côtés du bassin

a = longueur de chaque côté du polygone

L = longueur des bateaux (25 m)

b = largeur des bateaux (7 m)

D = diamètre du cercle dans lequel le polygone est inscrit

C = longueur totale de quais perdue dans les angles

P = périmètre du polygone = longueur de quais à construire

S = surface du polygone = surface de bassin à creuser

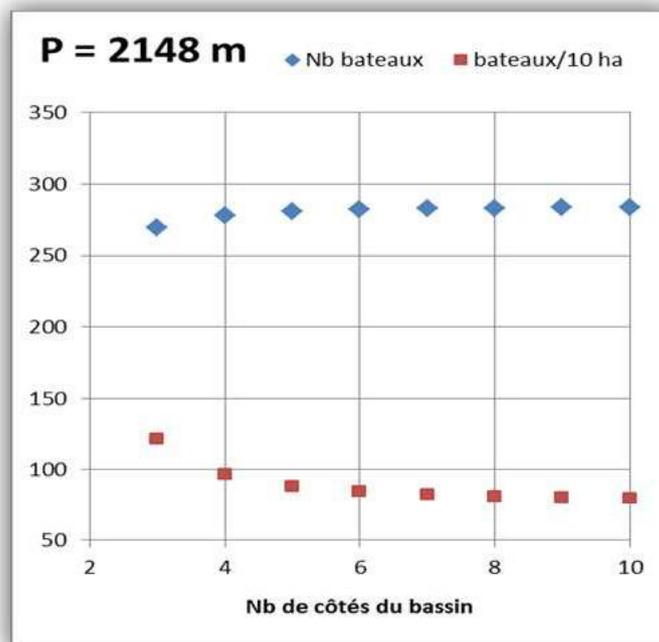
$N/10 S$ = Nombre de bateaux par 10 hectares creusés

PORTUS AUGUSTI

Calcul du nombre de bateaux dans un bassin polygonal à n côtés.

n	>> a (m)	>> D (m)	>> S (ha)	>> C (m)	>> P-C (m)	>> N	>> N/10 S
3	716	827	22,2	259,8	1888	270	122
4	537	759	28,8	200,0	1948	278	97
5	430	731	31,8	181,6	1966	281	88
6	358	716	33,3	173,2	1975	282	85
7	307	707	34,2	168,6	1979	283	83
8	269	702	34,8	165,7	1982	283	81
9	239	698	35,2	163,8	1984	283	80
10	215	695	35,5	162,5	1986	284	80
20	107	687	36,4	158,4	1990	284	78
50	43	684	36,7	157,3	1991	284	78
100	21	684	36,7	157,1	1991	284	77

(Calcul à périmètre constant de 2148 m)



L'abscisse (horizontale) donne le nombre de côtés du polygone et l'ordonnée (verticale) le nombre de bateaux (N) dans l'ensemble du bassin. On voit que le nombre de bateaux varie peu (autour de 280) avec le nombre de côtés (n). Le triangle donne un peu moins de linéaire utilisable que les autres formes.

On voit aussi que le nombre de bateaux accostés est compris entre 8 et 10 bateaux par hectare de bassin portuaire (sauf pour le triangle qui en accueille plus de 12).

PORTUS AUGUSTI

En conclusion, on peut dire que pour 2148 m de linéaire de quai en béton à construire (dont un peu moins de 2000 m réellement utilisables) on met 270 bateaux à quai dans le bassin triangulaire, alors qu'avec le bassin carré on pourra faire accoster 278 bateaux sur le même linéaire (et 282 bateaux pour le bassin hexagonal). La surface à creuser augmente en revanche de 6.6 ha (11.1 ha pour l'hexagone) ce qui est cher payé en déblais pour les 8 (12) bateaux supplémentaires.

Le triangle ($n = 3$) serait la forme la plus avantageuse si on cherchait à minimiser les déblais, alors que l'hexagone ($n = 6$) se rapproche du nombre maximal de bateaux possible pour ce linéaire.

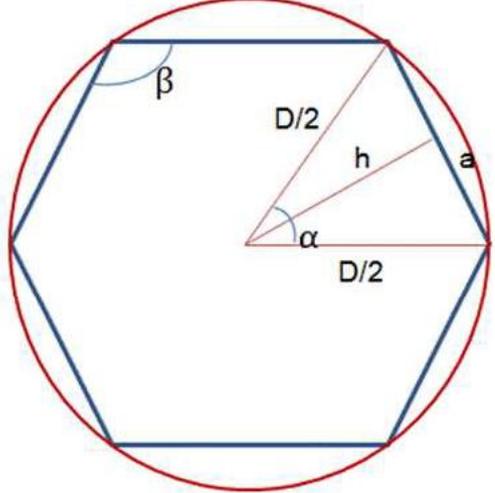
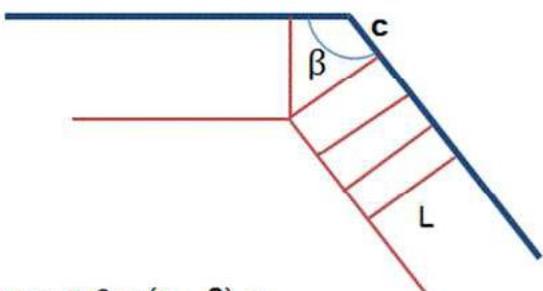
Tout comme aujourd'hui, le coût du linéaire de quai devait être supérieur au coût des déblais pour creuser une plus grande surface. La priorité est donc donnée à l'optimisation du linéaire de quai plutôt qu'au volume des déblais.

Aujourd'hui, on opte pour les formes rectangulaires, mais la forme hexagonale se défend presque aussi bien. Cette forme a dû avoir d'autres attraits aux yeux des architectes romains :

- intégration dans l'occupation des sols et le relief existants,
- spécialisation des marchandises et des entrepôts sur chacun des six côtés.

3 Formulation algébrique

Désolé pour ceux que ça ennuie : ils sont dispensés de lire ce qui suit ...

$a_n = D_n \sin \frac{\pi}{n}$ $P_n = n D_n \sin \frac{\pi}{n}$ $S_n = \frac{n D_n^2}{8} \sin \frac{2\pi}{n}$ $D_n = \frac{P}{n \sin \frac{\pi}{n}}$ $S_n = \frac{p^2}{4n \operatorname{tg} \frac{\pi}{n}}$ <p>Linéaire perdu dans les angles :</p> $C_n = \frac{2nL}{\operatorname{tg}(n-2)\frac{\pi}{2n}}$ <p>Nombre de bateaux par côté :</p> $N = (P - C_n)/b$	<p>Polygone à n côtés : $\alpha = \frac{2\pi}{n}$ pour $n \geq 3$</p>  <p>Périmètre : $P_n = n a$ Surface : $S_n = n s = n h a/2$</p> <p>Linéaire C perdu dans les angles:</p>  <p>Sachant que : $n \beta = (n - 2) \pi$</p>
--	---