

AQVITANIA

TOME 23

2007

Revue interrégionale d'archéologie

Aquitaine

Limousin

Midi-Pyrénées

Poitou-Charentes

Revue publiée par la Fédération Aquitania

avec le concours financier

du Ministère de la Culture, Direction du Patrimoine, Sous-Direction de l'Archéologie,

de l'Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3,

du Centre National de la Recherche Scientifique

SOMMAIRE

AUTEURS	5
ÉDITORIAL	7-8
B. BÉHAGUE, A. COLIN, AVEC LA COLL. DE CHR. MAITAY	
Sondage sur le <i>mur</i> gallicus de Béruges (Vienne) : premières données sur la fortification de La Tène finale.....	9-36
A. DUVAL, J.-P. NIBODEAU, AVEC LA COLL. DE FL. BAMBAGIONI ET B. FARAGO	
La "tête celtique" de Poitiers	37-56
A. DE PURY-GYSEL	
Le verre d'époque romaine (I ^{er} - IV ^e siècles p.C.) et un vase en cristal de roche provenant des fouilles de la place Camille-Jullian à Bordeaux.....	57-101
L. GRIMBERT, P. MARTY	
Montignac - <i>Le Buy</i> (Dordogne). Un bâtiment rural du I ^{er} siècle et la question d'un <i>vicus</i>	103-136
L. CALLEGARIN, V. GENEVIÈVE, AVEC LA COLL. DE L. WOZNY	
Une <i>tegula</i> portant des empreintes monétaires du IV ^e siècle découverte à <i>Iluro</i> - Oloron-Sainte-Marie (Pyrénées-Atlantiques, France)	137-150
A. BOUET	
Retour à Périgueux. Notes sur quelques documents archéologiques anciens du chef-lieu des Pétrucos.....	151-169
D. SCHAAD	
Le "grand four" de La Graufesenque et un four à sigillées de Montans : étude comparative	171-183
Y. GLEIZE	
Réutilisations de tombes et manipulations d'ossements : éléments sur les modifications de pratiques funéraires au sein de nécropoles du haut Moyen Âge.....	185-205
A. BESOMBES-HANRY	
Les fours à chaux de Nespouls (Corrèze)	207-231
M. PARVÉRIE	
La circulation des monnaies arabes en Aquitaine et Septimanie, VIII ^e -IX ^e siècles	233-246

BÂTEAUX ET NAVIGATION SUR LES FLEUVES D'AQUITAINE

J. ATKIN

De *Dumnitonius* au port de *Condate*. Remarques sur le voyage de Théon (Ausone, *Lettre*, XIV) 249-265

F. LAURENT

Deux fonds de bateaux médiévaux découverts sur les bords de la Garonne à Bordeaux 267-280

D. SCHAAD, CHR. SERVELLE

Une pirogue monoxyle découverte dans l'Adour 281-285

L. VÉDRINE, PH. SAINT-ARROMAN

La batellerie de l'Adour. Enquête sur les bateaux à architecture monoxyle et monoxyle assemblée 287-320

PROJET COLLECTIF DE RECHERCHE

J.-CL. MERLET ET L'ÉQUIPE DU PCR

Une exemple d'archéologie du territoire : le Projet Collectif de Recherche *Lagunes des Landes de Gascogne*
Anthropisation des milieux humides de la Grande Lande (2004-2007) 323-328

RÉSUMÉ DE THÈSE

A.-L. BRIVES, Sépultures et société en Aquitaine romaine : étude de la fonction du mobilier métallique
et du petit mobilier à partir des ensembles funéraires (I^{er} s. a.C. - début du IV^e s. p.C.) 329-331

MASTERS

G. ROUGÉ, Analyse des sarcophages de Bazas par des critères techniques et morphologiques.
Mise en place, utilisation et perspectives 333-335

M.-D. PUJOS, Les fragments de chancel de l'église Saint-Seurin de Bordeaux 336-338

J. ALLEAU, Les cimetières mérovingiens de la Vienne (VI^e-VIII^e siècles), les cantons de Neuville-du-Poitou, Poitiers
(hors commune de Poitiers), Saint-Georges-les-Baillargeaux, Saint Julien-l'Ars, la Villedieu-du-Clain et Vouillé 339-341

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS 345

Bateaux et navigation sur les fleuves d'Aquitaine

John Atkin

De *Dumnitonus* au port de *Condate*. Remarques sur le voyage de Théon (Ausone, *Lettre*, XIV) *

RÉSUMÉ

Le trajet effectué par Théon entre sa retraite de *Dumnitonus* et le port de *Condate* où il touche terre pour se rendre dans la propriété d'Ausone a fait l'objet ces dernières décennies de propositions contradictoires sur la question de savoir si oui ou non il était possible, au IV^e siècle, de couvrir la distance par l'estuaire dans le temps d'une seule marée. L'objectif de cette présentation est d'apporter à la discussion une recherche plus approfondie sur les aspects techniques du voyage. Le résultat de l'enquête confirme le point de vue de J. Ducasse et de R. Étienne, mais aussi la bonne connaissance qu'avait Ausone lui-même des conditions de la navigation dans la Gironde et la Dordogne.

MOTS-CLÉS

Gironde, Dordogne, navigation, marée, courant de marée

ABSTRACT

The voyage made by Theon from his retreat in *Dumnitonus* to the port of *Condate*, where he landed before continuing to Ausone's estate, has been the subject over the last few decades of contradictory propositions on the question of whether it was possible, in the 4th century, to cover this distance in just one tide. The objective of this paper is to contribute to the discussion by a detailed study of the technical aspects of the voyage. The result of the study confirms the points of view of J. Ducasse and R. Étienne, but it also shows that Ausone himself had an excellent understanding of the conditions of navigation in the Gironde and in the Dordogne.

KEYWORDS

Gironde, Dordogne, navigation, tide, tidal stream

* Je remercie le professeur J.-P. Bost pour ses encouragements et suggestions, ainsi que J. Mas, Adjoint au Chef du Département des Études d'Environnement, d'Aménagement et d'Urbanisme

du Grand Port Maritime de Bordeaux, pour les informations qu'il m'a communiquées sur les champs de courants dans l'estuaire de la Gironde.

Le voyage de Théon par bateau en remontant l'estuaire a suscité depuis un demi-siècle une discussion érudite qui a partagé le monde savant girondin en deux camps, les uns soutenant que l'ami d'Ausone pouvait parfaitement couvrir la distance dans le temps d'une seule marée, ce que les autres considéraient comme impossible¹. Le point de départ du désaccord tient dans quelques vers d'une lettre par laquelle le maître bordelais, invitant son correspondant privilégié à venir le rejoindre dans l'une de ses propriétés, lui rappelle qu'il doit aborder au port du bourg de *Condate*, tout proche de son *Lucaniacum*. La discussion sur le trajet passe à la fois par la localisation de ce domaine (qui entraîne celle du port d'accostage) et par les conditions de la navigation.

Ausone s'adresse ainsi à Théon² :

*Puppe citus propera sinuosaque linteae veli
Pande ; Medullini te feret ora noti
Expositum subter paradas lectoque iacentem,
Corporis ut tanti non moveatur onus.
Unus Dumnitoni te littore perferet aestus
Condatem ad portum si modo deproperes,
Inque vicem veli, quoties tua flamina cessant,
Remipedem iubeas protinus ire ratem.*

"Vite, monte sur un bateau ; déploie la toile onduleuse de la voile ; le souffle du vent médocain t'emportera, étalé sous ta tente, allongé sur un lit pour que ne soit pas secouée la masse de ta grosse personne. Une seule marée te portera du rivage de *Dumnitonus* au port de *Condate*, si seulement tu te hâtes, et si, pour remplacer la voile chaque fois que la brise favorable tombera, tu donnes aussitôt l'ordre de faire aller le bateau à la rame".

R. Étienne³ a placé le port de *Condate* à Condat, aujourd'hui faubourg de Libourne. Voici comment il arrive à cette conclusion en partant de *Dumnitonus* qu'il situe près du Verdon :

1- En faveur de la possibilité, Ducasse 1955, 80-83 ; Étienne 1962, 354 et 357 = Étienne *et al.* 1986, 28-29 ; Étienne 1989, 200-201 = Étienne 1995, 544-545 ; Étienne 1995, 587-588. Contre la possibilité, Grimal 1953, 117 ; Bistaudeau 1988.

2- Il s'agit des vers 27-34 de la *Lettre XIV* (traduction M. Jasinski, éd. Garnier, 1935).

3- Étienne 1962, 354.

"Ce *Condate* est un port qu'atteint la marée ... ce qui revient à savoir où porte le flot de marée. P. Grimal⁴ pensait qu'à raison de 2 nœuds à 2,5 nœuds à l'heure (un nœud = 1,852 km/h), soit 16 à 17 kilomètres par vent favorable⁵, cinq heures de marée portaient Théon à 80 km du Verdon⁶, où il est convenu de placer *Dumnitonus*, sa résidence, et *Condate* devait être dans ces conditions identifié avec Bourg-sur-Gironde. Or grâce à une précieuse observation de J. Ducasse⁷, A. Loyer montre que l'embarcation de Théon dispose non pas de cinq heures de marée, mais près de dix heures de flot⁸, en raison du décalage de l'heure de la pleine mer entre Le Verdon et Libourne. Quand le bateau de Théon passe devant Bourg-sur-Gironde, il dispose d'au moins encore quatre heures de flot. Les méandres du fleuve – la Dordogne – l'obligeront à user des rames⁹, et ainsi *Condate* doit être reconnu dans Condat, aujourd'hui faubourg de Libourne. Notre compatriote Élie Vinet, dès le XVI^e siècle, l'avait déjà proposé".

Il nous semble intéressant de réétudier le texte d'Ausone en tenant en compte des informations fluvio-maritimes les plus récentes, soit pour confirmer l'hypothèse que Condat était bien le site du port gallo-romain de *Condate*, soit pour proposer d'autres localisations.

4- Grimal 1953, 117.

5- 2 à 2,5 nœuds = 3,7 à 4,6 km – on suppose que le 16 à 17 kilomètres par vent favorable viennent de l'addition de la vitesse du navire 12 à 14 km par heure soit 6,5 à 7,5 nœuds qui n'est pas souvent atteinte en Gironde même avec un voilier moderne car les vents sont assez faibles – on se déplace plutôt à 5 nœuds.

6- Ducasse 1955, 23, 5 (tirage à part) place *Dumnitonus* dans l'ancienne île d'Antros, signalée par Strabon et dont la partie sud forme la pointe de Grave.

7- Ducasse 1955, 13 du tirage à part.

8- Il est piquant de constater que dans un texte qui a échappé à P. Grimal et à A. Loyer, Ausone lui-même savait que la marée durait au moins six heures (*Lettres*, 18, 14 : *quotque horis pelagus profluit aut refluit*, c'est-à-dire six heures d'après le contexte).

9- Ci-dessus, vers 33-34 : *inque vicem veli, quotiens tibi flamina cessant / Remipedem iubeas protinus ire ratem*.

LA CONNAISSANCE DE LA MARÉE À L'ÉPOQUE ROMAINE

La première question qui se pose est la suivante : est-ce que les navigateurs de l'époque romaine savaient bien ce qu'était la marée ? On dit fréquemment que les Romains avaient peu de connaissance de ce phénomène, dans l'océan Atlantique en particulier. Mais ces assertions se fondent sur des récits et des interprétations contestables comme les déboires de César en 54 a.C. lors de sa première tentative d'envahir la Bretagne¹⁰ ou les difficultés rencontrées par Germanicus en 16 p.C. quand une partie de son armée a été surprise par la montée des eaux pendant son retour d'une expédition en Germanie.

Ausone, on l'a vu, sait que la marée dure six heures, mais on le savait bien avant lui : Cicéron, parlant des mers à marée de l'Espagne et de la Bretagne, en constatait le flux et le reflux réguliers et savait aussi que ces marées étaient gouvernées par les mouvements de la lune¹¹. Cette connaissance de la marée s'étendait jusqu'à savoir apprécier la forme des vagues quand le vent souffle dans le sens du courant de marée ou dans le sens contraire : un vent qui souffle dans une direction opposée au courant de marée produit des vagues courtes et puissantes qui forment une brutale barrière difficile à franchir, un vent qui souffle dans la direction du courant va aplatiser les vagues. C'est ce que décrit Tacite évoquant les rudes contacts de Germanicus avec les marées de la mer du Nord, en 16 p.C., contact qui s'acheva par la perte de la flotte à l'embouchure de l'Ems¹².

10- BG, 4.29. Une partie de sa flotte a été endommagée parce que certains capitaines se seraient laissés surprendre par les eaux : "le sort voulut que cette même nuit ce fût pleine lune, moment où les marées de l'Océan sont des plus hautes ; et les nôtres ignoraient la chose", ce qu'on a peine à croire car les pilotes étaient certainement locaux. Mais était-il pensable que César fût responsable – même partiellement – de l'accident ?

11- *De Nat. Deor.*, 3.23-24 ; 2.18-20.

12- *Ann.*, 2.23, notamment le § 4 où l'historien parle "des vagues ... soulevées par des bourrasques..... évitées tant bien que mal... chaque fois que la marée s'inversait et portait dans le même sens que le vent", ce qui prouve qu'il comprenait bien l'interaction entre la direction du vent et le courant de marée sur la forme des vagues.

L'ESTIMATION DE L'HEURE DE LA MARÉE SANS INSTRUMENT

L'attraction gravitationnelle de la lune et du soleil sur la terre et ses eaux provoque dans l'océan la vague la plus longue dont la longueur est la moitié de la circonférence de la terre et dont la période (la durée entre crêtes successives) est à peu près de douze heures. Cette vague est matérialisée sur les côtes par une montée et descente périodique bien connue : la marée. Sur les côtes atlantiques de la Gaule cette vague est accompagnée par des écoulements horizontaux de l'eau appelés "courants de marée". Dans les zones subissant des courants de marée un marin doit être capable de déterminer, pour un jour et une heure donnés, et pour n'importe quelle localité, l'état de la marée (haute à basse) et sa direction (montante, "le flot", ou descendante, "le jusant"). De nos jours, le marin peut consulter des tables de marée, qu'il trouve simplement sur son ordinateur de bord – en fait, sans ces informations, la plupart des navigateurs contemporains seraient incapables d'aller en mer. Le marin antique, lui, devait prévoir l'état de la marée à partir des observations locales, mais on sait bien qu'il n'existe pas de principes généraux qui lui auraient permis – ou qui pourrait permettre à un savant moderne ! – de prédire l'état de la marée et des courants de marée pour une localité inconnue¹³.

Le principe de base est que le cycle de la marée est lié au passage de la lune. Pour une localité déterminée, quand la lune est dans une position donnée, la marée sera toujours au même stade. Les marées se conforment aussi au temps solaire. Comme la position du soleil indique l'heure de la journée, la position de la lune dans sa rotation apparente autour de la terre indique le temps lunaire. Si la marée est haute pour une localité quand la lune traverse le méridien du lieu, la marée sera toujours haute quand la lune coupe ce méridien¹⁴. Bien entendu, l'heure de la journée, le temps solaire de cette traversée, variera pendant le mois lunaire.

13- Williams *et al.* 1973, 315.

14- On pourrait aussi savoir que la marée est haute quand le soleil coupe le méridien, à condition de connaître l'heure de la journée solaire.

Un second principe est que lorsque la lune traverse le méridien diamétralement opposé, l'état de la marée sera identique. On peut nommer ce moment le "minuit lunaire". En conséquence pendant la rotation apparente de la Lune autour de la Terre, soit une durée solaire de 24 heures et 48 minutes, il y a deux marées hautes et deux marées basses, c'est-à-dire que les marées basses ont lieu environ 6 heures et 12 minutes après les marées hautes. Sur les côtes atlantiques le marnage, c'est-à-dire la différence entre la marée haute et la marée basse, pour deux marées consécutives est généralement très proche : c'est le cas pour l'estuaire de la Gironde et les sections fluvio-maritimes de la Garonne et de la Dordogne.

Il y a ensuite le problème des courants. Prédire le moment et la durée des courants de flot et de jusant nécessite des connaissances locales car le changement dans la force et la direction du courant ne correspond pas forcément au degré d'avancement de la marée. Un courant peut continuer dans la direction du flot pendant un certain temps après que la marée a commencé à descendre : les premières instructions nautiques connues prennent soin d'avertir le pilote des localités qui subissent ce phénomène¹⁵. Le marnage et la vitesse des courants de flot et de jusant varient régulièrement pendant le mois lunaire (à peu près 29 jours et demi). Les plus forts coefficients (vives-eaux ou marées de vive-eau) se rencontrent deux fois par mois, lorsque le Soleil et la Lune sont alignés et conjuguent leur force d'attraction. Le marnage et les courants les plus faibles ont lieu lorsque la Lune est dans son premier et son dernier quartier car il se trouve approximativement à angle droit du Soleil : ce sont les mortes-eaux ou marées de morte-eau.

Dans le cas de l'estuaire de la Gironde, l'heure de la marée basse est souvent moins importante pour le navigateur que l'heure de la renverse, l'heure à laquelle s'inverse le courant de flot ou de jusant. Ce courant résulte de l'addition ou soustraction de celui de la marée, qu'il s'agisse du flot ou du jusant, et de ceux combinés de la Dordogne et de la Garonne dans l'estuaire, ou de la Dordogne ou de la Garonne dans leurs sections non maritimes.

L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

L'estuaire s'étend sur 75 km entre son embouchure à la Pointe de Grave et le confluent de la Dordogne et de la Garonne au Bec-d'Ambès. En amont il faut remonter la Garonne sur 25 km pour atteindre Bordeaux et 40 km en Dordogne pour atteindre Libourne. La propagation de la marée dépasse très largement ces deux villes pour se manifester encore à 70 km de Bordeaux – à La Réole – et un peu moins en Dordogne – à Pessac (fig. 1). La difficulté que soulève l'analyse nautique de la lettre d'Ausone à Théon est la relation entre les valeurs des données maritimes actuelles – durée de la marée, vitesse de courant, chenaux de navigation – et celles du IV^e siècle p.C.

La carte de Masse (début du XVIII^e siècle) montre un estuaire parsemé de bancs et d'îles (fig. 2). Pour la période médiévale, la reconstitution des routes maritimes proposée par J. Bernard, basée sur des informations de l'époque¹⁶, montre que les navigateurs venant de l'océan étaient obligés de faire route du sud-ouest vers le nord-est avant de suivre un chemin très proche de celui qui est emprunté actuellement (fig. 3). Après un passage à travers les bancs du large, un navire traversait des profondeurs importantes, environ 30 m, le long de la Saintonge (Royan) et revenait ensuite vers la côte du Médoc pour passer devant Pauillac avec des profondeurs variant de 6,5 à 9,7 m ; de Pauillac, les bateaux piquaient sur la rive droite puis entraient en Garonne, très encombrée de bancs à cette époque. Ils suivaient pour finir un chenal tortueux où des profondeurs de 5 à 8 m alternaient avec des hauts-fonds qui rendaient la navigation délicate¹⁷.

Par rapport à l'estuaire contemporain, il semble que la capacité sous étiage a diminué légèrement en aval de Saint-Christoly (fig. 1) alors que les sections moyennes (déterminées au niveau moyen) n'ont pas varié, ce qui tend à prouver que les hauts-fonds se sont érodés dans ce secteur au détriment des bas-fonds qui ont tendance à se colmater¹⁸.

Les informations réunies depuis l'époque médiévale et les travaux géo-archéologiques récents permettent de mieux imaginer ce que pouvaient être les

15- Waters 1976, 15.

16- Bernard 1965, 276-279.

17- Migniot 1971, 225.

18- Migniot 1971, 239.

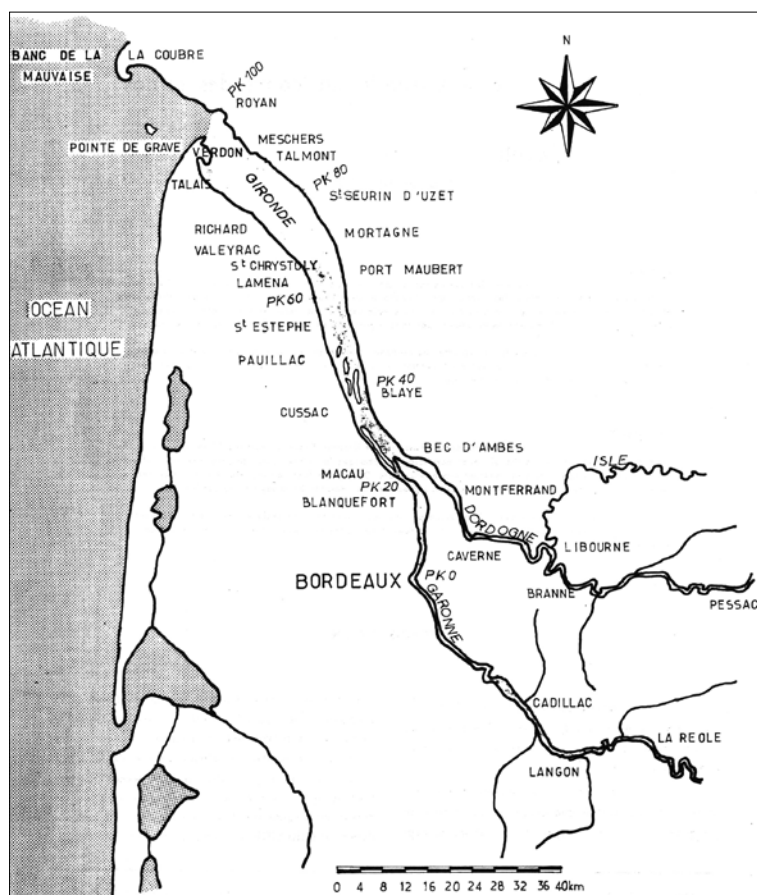


Fig. 1. Estuaire de la Gironde, principales localités (Migniot 1971, 222).



Fig. 2. L'estuaire de la Gironde au début du XVII^e siècle.

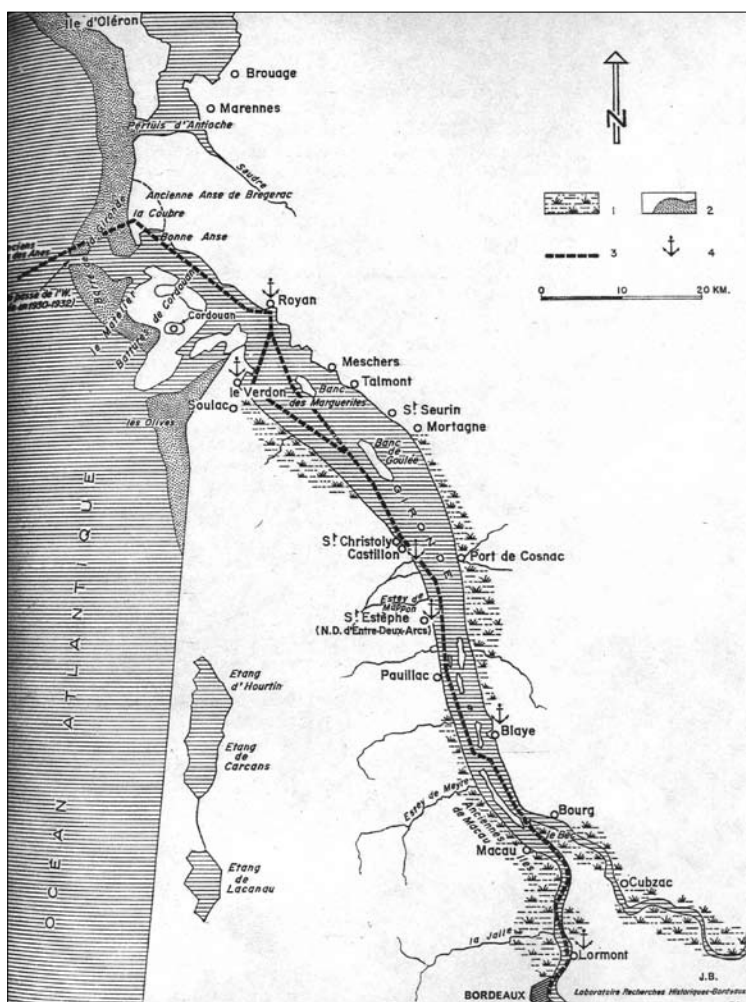


Fig. 3. Les routes fluvio-maritimes en Gironde à l'époque médiévale (d'après Bernard 1965, 277).

conditions de la navigation en Gironde à l'époque d'Ausone. Il semble que l'estuaire avait acquis déjà les grands traits que nous lui connaissons aujourd'hui dès le ^{ve} siècle (fig. 4). La différence principale réside dans l'absence éventuelle des bancs du moyen estuaire, entre la Pointe de Grave et Saint-Christoly, et au large de Talmont et de Mortagne (fig. 5), qui ont pu se mettre en place vers l'an mil.

Il résulte de ces données que la route suivie par Théon aurait pu être celle de l'époque médiévale jusqu'à Blaye, avant qu'il ne s'engage dans la Dordogne (fig. 3).

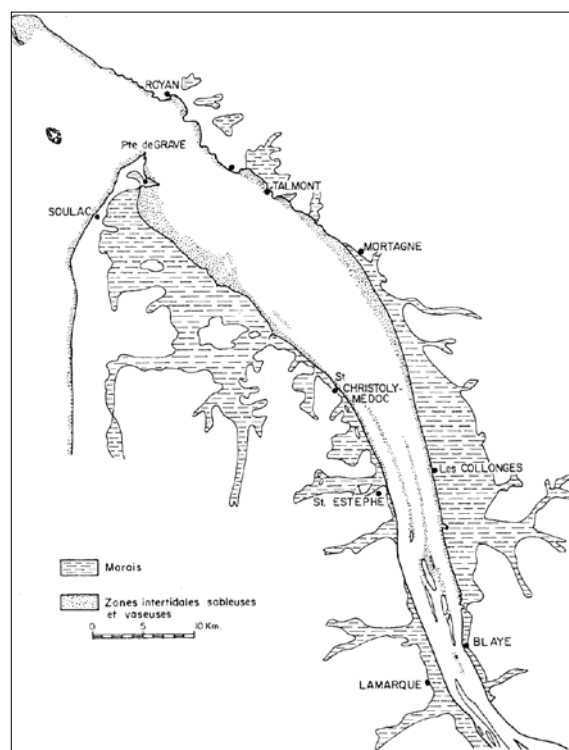


Fig. 4. La Gironde gallo-romaine (Vigneaux, 1955, 27 ; Coquillas 2001, cartes 16 à 19).

QUEL BATEAU POUR THÉON ?

À toutes les époques, les bateaux étaient conçus pour affronter les conditions locales et en tirer le meilleur parti. Les Vénètes opposés à César avaient des navires à fond plat pour pouvoir reposer sur les hauts-fonds¹⁹, et lorsque Tacite décrit brièvement²⁰ les divers types de navires commandés par Germanicus pour transporter en mer du Nord les troupes de la campagne conduite en 16 contre Arminius, il insiste sur leur adaptation aux besoins, leur tenue en mer et leur maniabilité. Pour la Gironde, nous savons que déjà au Moyen Âge on utilisait une grande diversité de navires²¹, mais nous n'en possédons pas de représentation. Quant à l'époque gallo-romaine, on ignore tout, sinon des bateaux qui circulaient

19- BG, 3.13.1 et 9 ; cf. Strabon 4.4.1.

20- Ann., 2.6.2.

21- Bernard 1955, 253-272.

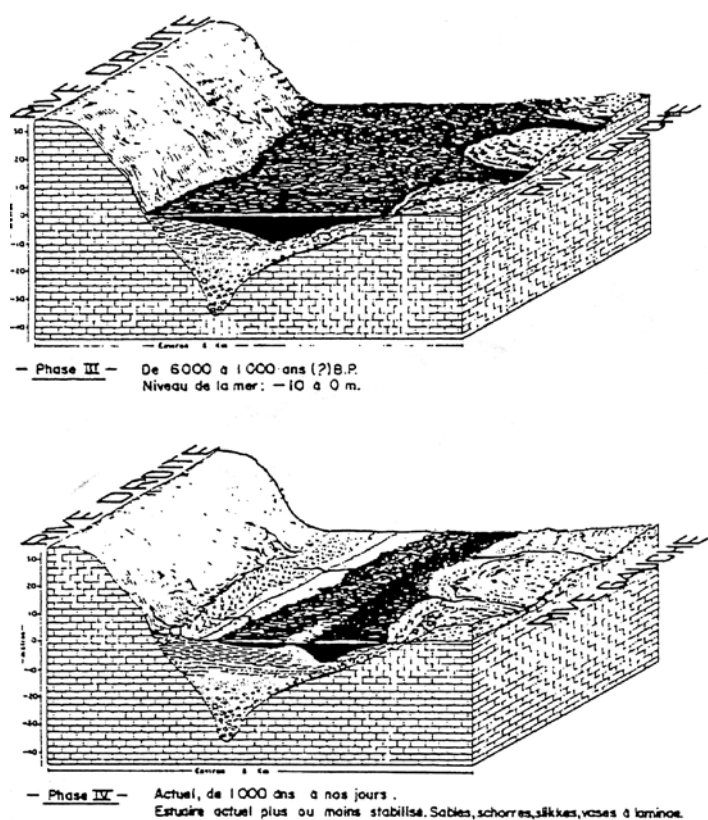


Fig. 5. Le moyen estuaire de la Gironde entre 6000 a.C. et 1000 p.C. (d'après Allen 1972, fig. 12).

dans l'estuaire²², du moins de la manière dont ils naviguaient.

Ausone dit toutefois que Théon pratique la pêche. On lui supposera donc un navire adapté à cette activité, manœuvré à la voile ou à la rame – avec probablement une vitesse égale dans l'un ou l'autre cas –, assez grand aussi pour qu'il puisse se reposer sous un dais. On supposera aussi que, comme au sud de la pointe de Grave, près de *Dumnitonus*, la rive était parsemée de haut-fonds (fig. 6), son bateau devait avoir un faible tirant d'eau car il n'est pas question dans la lettre d'Ausone que Théon soit transbordé d'une petite embarcation dans une plus grande.

Au début du III^e siècle p.C., le polygraphe Élien écrit qu'un bateau de pêche doit avoir six rames et être assez grand pour porter tout le matériel nécessaire²³ (fig. 7). Ce bateau aurait également l'avantage d'être facile à manœuvrer car ses extrémités sont pointues. Sans doute aussi sa carène était-elle renforcée pour une utilisation dans les eaux subissant un fort marnage telles que celles de la Gironde, et il pouvait naviguer sans problème sur les hauts-fonds.

Sur un tel navire, c'est donc en toute sécurité que Théon peut s'allonger à l'avant pendant le voyage sans perturber les rameurs qui s'activent dans les périodes de calme. Reste à calculer à quelle vitesse il avance, sous voiles et à la rame.

22- Étienne 1972, 71-76 reprend deux vers d'Ausone (*Lettres*, 22.2, vers 31-32) énumérant cinq types de bateaux ou de barques qu'utilise son intendant Philon sur la Garonne et le Tarn, mais rien ne permet de faire voyager Théon sur l'un ou l'autre d'entre eux ("C'est sur des vaisseaux, brigantins, chaloupes, canots et barque / Qu'il parcourt Tarn et Garonne").

23- Élien, *Caractéristiques des animaux*, 3.12.43.

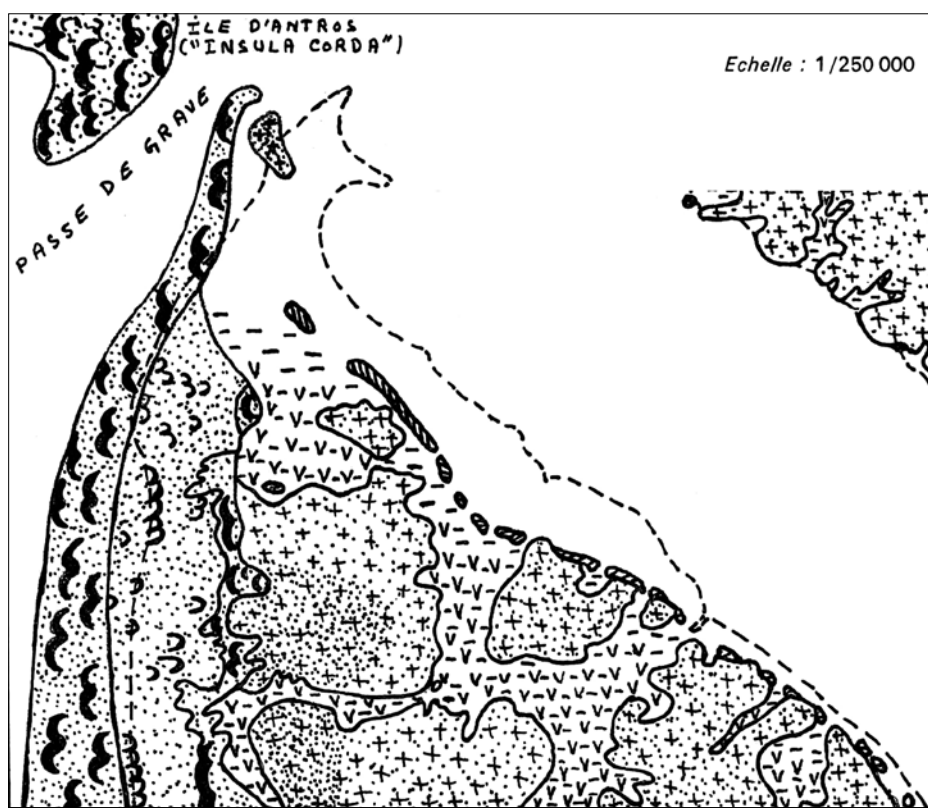


Fig. 6. La Pointe de Grave entre 500 et 1000 p.C. (d'après Allard et al. 1974, 7 fig. 4).

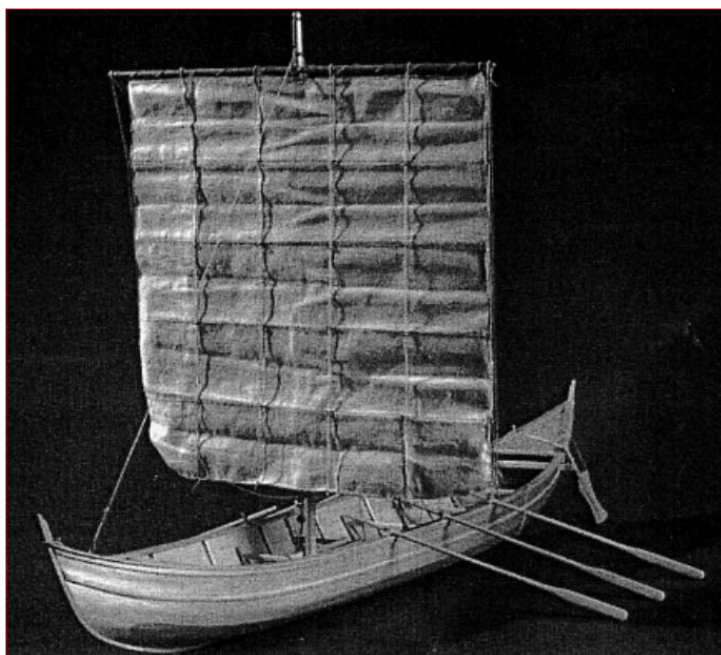


Fig. 7. Bateau de pêche du III^e s. p.C. ; reconstruction de l'épave Jules-Verne 9 – longueur 9,5 m – tirant d'eau 0,75 m.

LA VITESSE DES NAVIRES ANCIENS

Les trois facteurs les plus importants qui entrent en jeu dans le comportement d'un bateau sont les frottements, la résistance des vagues produite par le bateau lui-même et celle qui est due à la gîte et à la dérive.

Les frottements entre la carène²⁴ et l'eau sont proportionnels à la surface de la carène et au carré de la vitesse du voilier. Ils sont dus aux irrégularités de la surface de la coque, l'eau immédiatement en contact avec celle-ci est immobilisée et frotte sur l'eau environnante. Cela est d'autant plus pénalisant que la masse de cette couche d'eau s'ajoute à celle du bateau. Il peut également se créer des turbulences dues à un mauvais écoulement de l'eau autour de la coque. Pour diminuer ces frottements, deux solutions sont possibles : réduire autant que possible la surface mouillée du bateau et donner une forme favorable à la carène, ce qui se traduit par un allongement de la forme et une proue en V.

La résistance des vagues est due au fait que, parce que son écoulement naturel est perturbé, l'eau crée un système de vagues autour de la carène, vagues qui absorbent une grande partie de l'énergie du bateau. Lorsque la coque avance, il se forme une série de vagues, la première au niveau de l'étrave, les autres, en retrait. Plus la vitesse augmente, plus l'écart entre les deux vagues devient important. Lorsque la seconde vague atteint l'arrière du navire, elle se creuse énormément, la résistance à l'avancement devient alors considérable, car, de ce fait, l'arrière tombe dans le creux de la seconde vague et la surface en contact avec l'eau est alors très importante. Cet inconvénient est évité en additionnant une longueur suffisante et un fond plat, caractères que résume la formule suivante : $V^2 = 6.25 L$ (L = longueur à la flottaison – à la surface de l'eau). C'est ce qui permet, par exemple, aux voiliers modernes, légers et rapides de planer quasiment sur la vague et d'atteindre alors leur vitesse maximale.

On voit donc que la longueur du bateau est le facteur le plus important. Cependant, certains voiliers aux coques extrêmement plates comme la plupart des monocoques 60 pieds "open" actuels utilisées dans la course au large arrivent à planer à la

surface de l'eau grâce à ce phénomène et leur vitesse s'en retrouve accrue – mais ce n'est pas du tout le cas du navire de pêche qu'aurait pris Théon.

La résistance due à la dérive et à la gîte s'explique de façon simple. Dans ce cas, le bateau n'avance plus à l'horizontale dans l'axe de la coque, et la forme de celle-ci perd beaucoup de son efficacité. Ainsi pour un bateau gîtant à 30° et dérivant de 4°, la résistance est une fois et demie plus grande que pour le même bateau avançant sans gîte ni dérive.

Face à ces contraintes, comment imaginer le bateau de pêche de Théon et la vitesse à laquelle il avance ? D'après les remarques précédentes, on lui donnera de 8 à 10 m de long, car il doit être suffisamment grand pour que le passager voyage allongé en même temps que ses hommes rament. Quant à la vitesse, elle varie, comme on vient de le dire, en fonction de la longueur du navire :

Longueur à la ligne de flottaison (en mètres)	Vitesse limite (en nœuds)	Vitesse limite (en km/h)
9	7,5	13,9
10	7,9	14,6
11	8,3	15,4
12	9,0	16,0
13	9,4	16,7
14	9,7	17,3

Tableau 1. Vitesse critique d'un navire selon sa longueur à la ligne de flottaison.

Toutefois, pour atteindre une certaine vitesse, il faut que le vent en direction du Médoc soit très fort. Mais alors, le bateau va prendre une gîte importante, ce qui n'est pas le cas puisqu'Ausone précise que Théon se prélassait sur un confortable canapé²⁵ "pour que soit évitée toute secousse à [sa] grosse personne". En conséquence, le vent est assez faible – et de plus il va faiblir, puisque c'est à la rame que le bateau atteindra le port de Condate à la fin de la marée montante²⁶. Si nous donnons à ce vent faible (une brise, un zéphyr) une force de 3 à 4, en admettant que le ré-

25- Lettre XIV, vers 29-30.

26- Vers 33-34 : [Une seule marée te portera...] si, pour remplacer la voile quand la brise favorable tombera, tu fais marcher aussitôt ton navire à la rame".

24- Carène : partie immergée de la coque d'un navire

gime des vents d'été à l'époque d'Ausone était semblable à celui que nous connaissons de nos jours, cela permet à un navire de 9 m d'avancer à environ 4 nœuds à la voile.

Pour l'avancement à la rame, des études récentes fondées sur les caractéristiques de divers types de rames et de divers types de navires, concluent que la vitesse de croisière raisonnable pour un navire d'une vitesse critique de 7,2 nœuds serait de l'ordre de 3,0 nœuds²⁷. Si l'on compare ces données modernes avec celles qui apparaissent dans la littérature gréco-latine sur la vitesse des navires antiques²⁸ nos estimations sont confortées : les vitesses de voyage étaient de l'ordre de 4 nœuds sous voiles et de 3 nœuds sous rames. Il nous semble probable compte tenu de ces informations que le navire de Théon devait ressembler au bateau de pêche de la figure 7. Ce sont les caractéristiques sous voiles et sous rames de ce type d'embarcation qu'Ausone aura retenues dans sa lettre.

LES VENTS D'ÉTÉ EN GIRONDE

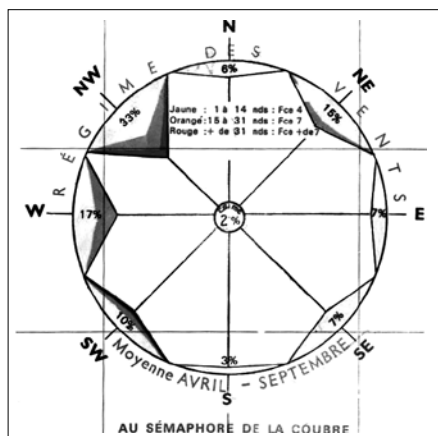


Fig. 8. Le régime des vents au sémaphore de la Coubre à l'entrée de la Gironde, d'après *Navicarte* (*Navicarte* 2003, 553-554 : entrée de la Gironde).

La détermination de la distance que peut parcourir un voilier dépend évidemment du régime des vents. La figure 8 montre la direction et la force des vents mesurées au sémaphore de la Coubre²⁹. On constate que le régime dominant est d'ouest avec des périodes de nord à nord-est par très beau temps. Très peu de ces vents excèdent la force 4, mais des vents plus forts peuvent se rencontrer, le plus souvent à la fin de l'après-midi par effet thermique. On comprend aisément que, quand Ausone parle du "souffle du vent médocain", il pense au vent d'ouest à nord-ouest qui permet à Théon de "déployer la toile onduleuse", mais, comme on l'a vu, un vent pas trop fort car un fort vent d'ouest ferait gîter le navire et rendrait le voyage peut confortable, donc sans doute, un vent de force 3-4, vent de beau temps en été. Ausone sait aussi que cette brise favorable tombera. Effectivement, en été, dans l'estuaire, les vents peuvent diminuer rapidement, surtout si l'on serre de trop près la rive car on est alors abrité. Il faut donc s'éloigner, mais, sur toute la rive médocaine, il faut bien choisir sa route (fig. 3) :

- on cherche le vent loin de la rive même si le courant y est moins fort ;

- on traverse vers le chenal de Blaye pour chercher plus de vent même si les courants dans le milieu de l'estuaire sont faibles ;

- on sort les rames pour avancer sous voile et rames voire sous rames seules. Sans oublier que, pour gagner le port de *Condade*, il faut se dépêcher car, à la renverse, quand la marée descendra, il y aura au moins 3 nœuds de courant contraire. Si c'est le cas, il faudra mouiller en attendant la prochaine renverse de la marée et le courant de flot, soit environ six heures. Mais il importe aussi de bien choisir sa marée. Pas celle de la nuit, car il n'y a ni lumières de bouées, ni sans doute beaucoup de vent. Si les vents sont faibles, ils vont s'élever vers 11 h le matin pour tomber dans la soirée : il faut par conséquent que Théon choisisse bien sa marée pour arriver au port de *Condade* à temps et qu'il connaisse non seulement le régime des vents dans l'estuaire mais aussi les champs de courant.

Les champs de marée en Gironde, dans la Garonne jusqu'à Bordeaux et dans la Dordogne jusqu'à

27- Rodgers 1964, Appendix II, 45. De nombreuses expériences pratiques ont toutes donné une vitesse d'endurance à la rame de l'ordre de 3 nœuds.

28- Casson 1951, 136 -148 ; Arnaud 2005, 98-107.

29- C'est le phare qui domine la grande passe de l'Ouest à l'entrée de la Gironde, sur la rive droite.

Libourne³⁰ (voir Annexe 1 : lexique des marées ; Annexe 2 : calcul théorique de la répartition verticale des vitesses)

LES COURANTS DE MARÉE

Comme nous l'avons expliqué plus haut, sur les côtes atlantiques de la Gaule, la vague due à l'attraction gravitationnelle de la lune et le soleil provoque cette montée et descente des eaux qu'est la marée. Cette vague est accompagnée par des écoulements horizontaux de l'eau appelés "courants de marée". Dans l'estuaire de la Gironde, et dans les sections de la Garonne et de la Dordogne qui subissent l'influence de la marée, les paramètres principaux qui déterminent la vitesse et la direction d'un courant de marée sont :

- le coefficient de la marée ;
- les débits de la Garonne et de la Dordogne ;
- la topographie fluviale (hauts-fonds, îles ...).

La connaissance du régime des courants de marée est essentielle pour prédire d'après le texte d'Ausone la route que prendrait un navire partant du Verdon. Il est évident que les contours de l'estuaire ont subi des modifications importantes depuis le IV^e siècle, mais nous croyons qu'une étude basée sur nos connaissances actuelles peut apporter des éléments de réponse.

Pour la clarté de l'exposé on considèrera successivement l'estuaire de la Gironde, puis les cours aval de la Garonne et de la Dordogne.

Durée du flot

D'une manière générale, la dissymétrie constatée dans les courbes de marée est de plus en plus marquée vers l'amont, ce qui entraîne une dissymétrie dans les courbes de vitesse des courants de marée (fig. 9 et 10). En conséquence, la durée du flot se réduit au fur et à mesure que, depuis l'embouchure de l'estuaire, on avance vers l'amont (tabl. 2)

30- Données fournies par le Port Autonome de Bordeaux, Direction de l'Équipement (2004) : Chenal de Navigation et Ouvrages Portuaires - Demande d'Autorisation pour l'amélioration de Chenal de Navigation.

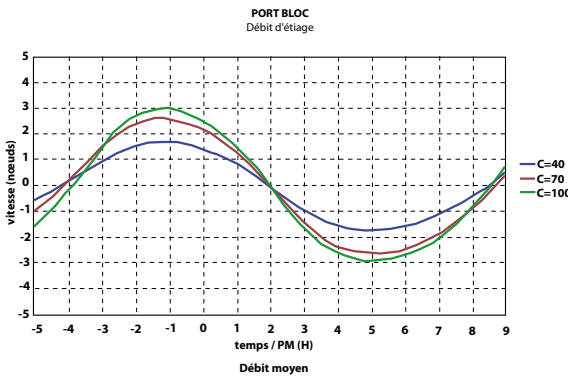


Fig. 9. Courants de marée au Verdon (Port-Bloc).

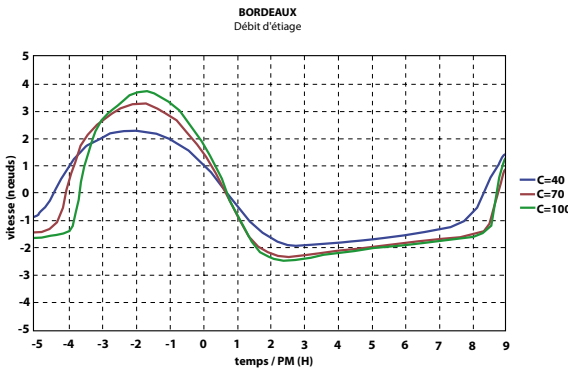


Fig. 10. Courants de marée à Bordeaux.

	Vive-eau	Marée moyenne	Morte-eau
Point de Grave	6h	6h 05	6h 10
Bordeaux	4h 30	4h 50	5h 05
Libourne	3h 30	3h 50	4h 05

Tableau 2. La durée du flot en l'absence de crues importantes en Gironde.

Répartition des vitesses de courants sur la verticale

Les vitesses de courants indiquées sur les figures 9 et 10 sont les moyennes sur la profondeur³¹. En théorie, la répartition verticale des vitesses, en dehors des périodes de renverse, peut être décrite par des fonctions paraboliques ou logarithmiques (Annexe 2). Cependant, les calculs pratiques sont extrêmement difficiles dans un milieu aussi hétérogène et perturbé que celui de l'estuaire. En conséquence, pour connaître les champs réels des courants, on mesure aujourd'hui la vitesse de bouées témoins.

Vitesse moyenne des courants de flot dans l'estuaire de la Gironde³²

De très nombreuses mesures ont été effectuées dans les différents chenaux (chenal de navigation, chenal de Blaye, chenal de Saintonge...) pour diverses amplitudes de marée et de conditions du débit fluvial. Trois niveaux d'écoulement ont été étudiés : à 0,50 m de la surface libre, à mi-profondeur et à 0,50 m ou à 1 m du fond. Pour déterminer la route empruntée par Théon et la durée du voyage, nous avons pris en compte les résultats des mesures de vitesse à 0,5 m de la surface libre ce qui doit correspondre au tirant d'eau d'une barque de pêche d'une dizaine de mètres de longueur.

Le problème de Théon est de choisir la meilleure route, celle qui tient compte des variations considérables de la vitesse des courants de marée dans l'estuaire pendant la durée de celle-ci. De plus, la vitesse et les variations des courants ne sont pas identiques dans les divers chenaux principaux de l'estuaire (fig. 11).

Le chenal de navigation actuel, qui est maintenu en l'état par dragage, est large de 150 m et offre des profondeurs moyennes de plus de 7 m sous étiage. L'utilisation de la marée permet à des navires de fort tirant d'eau (environ 10 m) d'accoster aux ports commerciaux de Bassens et d'Ambès.

— Le chenal médian permet aux bateaux de faible tirant d'eau de passer entre les îles de la Gironde.



Fig. 11. Les chenaux principaux de la Gironde D'après une carte de Google Earth sur laquelle sont indiqués les chenaux de la Gironde. DAO N. Pexoto, Ausonius).

	VE (en km/h)	MM (en km/h)	ME (en km/h)
Chenal de navigation commerciale	8,46	6,48	5,04
Chenal médian entre les îles	6,12	5,76	4,14
Chenal de Blaye	5,94	4,77	3,6
Chenal de Saintonge	10,1	5,76	3,6
Chenal de Talais	3,6	3,24	2,88
Dordogne	5,4	4,86	

Tableau 3. Vitesse maximale des courants de flot en surface dans les chenaux de la Gironde (VE = Vives eaux ; MM = Moyennes marées ; ME = Mortes-eaux).

31- Port autonome de Bordeaux, *Annuaire des Marées*, 2008.
32- Port de Bordeaux : environ 15 000 mesures effectuées sur l'estuaire.

Distance en km depuis Le Verdon par la voie fluviale	0	14,25	22,83	43,38	57,85	66,65	72,92	89,25	115
Fleuve	Gironde	Gironde	Gironde	Gironde	Gironde	Gironde	Garonne	Garonne	Dordogne
Lieu	Le Verdon	Richard	Lamena	Pauillac	Île Verte	La Reuille	Le Marquis	Bordeaux	Libourne
Heure de la marée	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min
Marée Basse	14h 06	14h 32	15h 15	15h 59	16h 38	16h 59	17h 17	18h 00	19h 45
Marée Haute	20h 23	20h 33	21h 04	21h 22	21h 45	22h 05	22h 13	22h 44	23h 29
Heure locale de la marée haute par rapport au Verdon		10 mn	41 mn	59 mn	1h 22	1h 42	1h 52	2h 21	3h 06
Durée du flot par rapport à la basse mer au Verdon		6h 27	6h 58	7h 16	7h 39	7h 59	8h 07	8h 38	9h 23
Vitesse moyenne pour atteindre la localité à la marée haute (km/h)		2,2	3,3	6,0	7,6	8,3	8,4	10,3	12,3

Tableau 4. Informations de l'estuaire de la Gironde, la Garonne (jusqu'à Bordeaux) et la Dordogne (jusqu'à Libourne). Richard et Lamena sont des promontoires et où la rive médocaine s'incurve vers le sud ; Pauillac est de nos jours port de stockage de produits pétroliers et port de plaisance ; L'île Verte est la première île que, à la remontée, le chenal de navigation laisse à tribord car, dans l'estuaire, les autres îles sont toutes laissées à bâbord ; La Reuille, lieu-dit de la commune de Bayon, sur la rive droite de l'estuaire, face au Bec d'Ambès, marque la fin de la navigation en estuaire. Les navires doivent désormais bifurquer pour emprunter soit la Dordogne pour atteindre Libourne, soit la Garonne pour atteindre Bordeaux. Le Marquis se trouve sur la rive droite de la Garonne en face de la pointe sud de l'île Verte.

— Le chenal de Blaye suit de très près la rive droite à la hauteur de la ville de Blaye ; il est séparé du chenal de navigation par les îles et le banc de Plas-sac.

— Le chenal de Saintonge suit la rive droite de l'estuaire en aval de Talmont avec des profondeurs qui peuvent dépasser 20 mètres.

— Le chenal de Talais se trouve près du rivage jusqu'au Verdon ; il est séparé du chenal de grande navigation par le banc de Talais.

La vitesse du flot en surface dans ces chenaux peut varier considérablement selon le coefficient de la marée³³ (tabl. 3). Cependant, dans l'analyse des consignes données par Ausone à Théon pour son voyage nous avons retenu une marée de coefficient moyen, dont les vitesses de flot avoisinent les 5 à 6 km/h.

LE PROBLÈME DU DÉCALAGE DES HEURES DE MARÉE EN AMONT DE LA POINTE DE GRAVE

Dans son voyage, Théon doit encore prendre en compte le décalage entre l'heure de la marée au Verdon et l'heure à laquelle elle atteindra le port du Condate. Pour illustrer ce calcul nécessaire, nous avons pris les données fournies par le port Autonome de Bordeaux pour le dimanche 22 juin 2008, jour où le coefficient de marée est de 70 ("moyennes-eaux").

Dans le tableau ci-dessus sont rassemblées les informations sur les principaux repères fournis aux navigateurs en Gironde à partir de l'embouchure (tabl. 4). Pour chacun de ces points sont indiquées l'heure de la basse mer et celle de la haute mer.

L'heure de la marée est de plus en plus retardée par rapport à celle du Verdon au fur et à mesure que l'on avance en amont. À la Reuille qui se trouve à 66,65 km du Verdon (Port-Bloc), et qui est le dernier repère de navigation en Gironde, la pleine mer a lieu 1h 42 après la pleine mer au Verdon (tabl. 4). À

33- Nous ne prenons pas en compte ici l'influence des crues sur la vitesse des courants.

Libourne, l'heure de la marée haute est retardée de 3h et 6 min par rapport à la marée haute du Verdon ; la durée du flot entre Le Verdon et Libourne est de 9h 23 m.

La dernière ligne du tableau indique la vitesse (en km/h) nécessaire pour un navire qui quitte Le Verdon à la basse mer pour atteindre chaque localité. La Reuille peut être atteinte avec une vitesse moyenne de 8,3 km/h (4,48 nœuds) et Libourne avec une vitesse moyenne de 12,3 km/h (6,64 nœuds).

Cependant la vitesse par rapport au fond est le résultat de l'addition de la vitesse du navire et du courant du flot. Pour simplifier nous avons pris pour base de calcul un courant de flot dans le chenal de navigation de 6,5 km/h (3,5 nœuds) et un courant de flot dans la Dordogne de 4,8 km/h (2,6 nœuds) et calculé la vitesse nécessaire pour le navire pour atteindre, dans une seule marée, chaque principal repère jusqu'à Libourne.

Prenons le cas d'un bateau qui avance sous voiles à 4 nœuds par rapport à l'eau. Avec l'aide du courant (3,5 nœuds), sa vitesse par rapport au fond sera 7,4 nœuds. Il arrive à la Reuille avec 4h 40 d'avance sur la marée haute de Libourne qui se trouve à 48 km. Comme, dans la Dordogne, le courant est de l'ordre de 2,6 nœuds (4,8 km/h), pour atteindre Libourne à la marée haute, il faudrait que Théon fasse avancer son navire à 3,2 nœuds. Sous rames seules une vitesse de 3 nœuds est possible, et avec l'aide du vent une vitesse de 3,2 nœuds devient plausible.

Mais il faut compter avec un dernier élément, celui de la vitesse des courants de flot à l'époque d'Ausone.

LA VITESSE DES COURANTS DE FLOT EN GIRONDE ET EN DORDOGNE AU IV^e SIÈCLE

Nous ne connaissons pas les champs de vitesse des courants de l'estuaire de la Gironde et de la Dordogne au IV^e siècle et donc nos calculs de durée de parcours entre Le Verdon et *Condate* ont été basés sur les données récentes. Peut-on aller plus loin en comparant la topographie actuelle de l'estuaire avec celle de l'époque d'Ausone ?

Les cartes du début du XIII^e siècle montrent que l'estuaire avait une configuration proche de celle d'aujourd'hui (fig. 2). Il semble que, vers 1400, celle-

ci n'avait pas changé et que la route des navires entre le bec d'Ambès (La Reuille) et Le Verdon était celle qu'emprunte actuellement la navigation de commerce (fig. 3). À l'époque d'Ausone, la configuration du moyen estuaire devait être voisine de celle-ci (fig. 4 et 5). Les bancs proches de la rive de Saintonge en aval de Mortagne semblent absents, mais ils n'ont aucune importance pour Théon puisque, partant du Verdon, celui-ci va suivre la rive médocaine.

Reste à émettre une hypothèse concernant les champs de courants : à partir de Saint-Christoly (notre repère de Lamena) les champs de courants ne devaient pas être très différents puisque la configuration de l'estuaire paraît la même. On ne connaît pas la profondeur des chenaux qui pourrait avoir une influence sur la vitesse des courants, mais nous allons supposer une configuration de navigabilité proche de celle de l'époque médiévale à partir de deux données fournies par Ausone et la *Notice des Dignités*³⁴. La *Notice* place à *Blabia*, Blaye, des *militēs Garronenses*, ce qui oblige à croire que le chenal de Blaye devait permettre une intervention militaire rapide sur tout l'estuaire (et donc sans doute aussi offrir des vitesses de courants importantes). Sur l'autre rive, la présence d'une villa (avec son port ?) à Pauillac conforterait l'hypothèse d'un chenal de navigation tout proche.

La topographie antique de l'estuaire (fig. 4) ne semble pas non plus présenter, pour la navigation, de grandes différences avec celle de l'époque médiévale³⁵. Il aurait pu évidemment y avoir une modification des champs de vitesse, par exemple une augmentation des vitesses dans le chenal de Blaye. La vitesse actuelle y est de l'ordre de 4,8 km/h. Dans le cas d'un changement dans les champs de marée cette vitesse serait accrue, atteignant peut être des valeurs proches de celles de la rive médocaine à l'époque médiévale. Dans ce cas, Théon quitterait la rive médocaine à la hauteur de Saint-Christoly (notre Lamena) pour entrer dans le chenal de Saintonge puis dans le chenal de Blaye, mais son heure d'arrivée à la fin de la marée haute sera inchangée.

34- *Not. Dign. Occ.* 37.15.

35- Notre hypothèse est que le volume total de l'eau en mouvement reste constant.

Vitesse navire		courant total		heures pour la Reuille	heures restant avant la PM à Libourne	vitesse pour atteindre Libourne			
nœuds	km/h					courant		navire km/h	navire nœuds
3	5,6	6,5	12,1	5,5	3,7	13,0	4,8	8,2	4,4
3,5	6,5	6,5	13,0	5,1	4,1	11,7	4,8	6,9	3,7
4	7,4	6,5	13,9	4,8	4,4	10,8	4,8	6,0	3,2
4,5	8,3	6,5	14,8	4,5	4,7	10,1	4,8	5,3	2,9
5	9,3	6,5	15,8	4,2	5,0	9,6	4,8	4,8	2,6

Tableau 5. Vitesse pour atteindre Libourne depuis la Reuille à la fin du flot.

CONCLUSION

La limite de la navigation dans l'intervalle d'une seule marée, pour un bateau de pêche d'une longueur d'environ 9 m et dont la vitesse sous voiles est environ 4 nœuds, et sous rames seules, de l'ordre de 3 nœuds, se trouve dans la Dordogne à une centaine de kilomètres du Verdon. Il est possible de parcourir les 115 km d'eau qui séparent Libourne du Verdon en une seule marée de coefficient moyen et sous vent faible à modéré, mais à la condition de maintenir la vitesse du navire aux alentours de 4 nœuds dans l'estuaire pour arriver à l'intersection de la Dordogne et l'estuaire à près de 5 h avant la marée haute à Libourne. Même si le vent faiblit ou tombe dans la Dordogne, il sera ensuite possible de parcourir les 48 km restant sous voiles et rames avec l'aide du courant, ce qui correspond parfaitement au conseil qu'Ausone donne à Théon.

Cette observation montre qu'Ausone était bien au fait des conditions de navigation dans l'estuaire de la Gironde, sur la Dordogne et sans doute sur la Garonne, zones où les courants de marée sont très forts. Elle montre également que les pêcheurs locaux avaient une très bonne maîtrise de la navigation dans l'estuaire, ce qui confirme une fois de plus, combien est fautive l'idée pourtant répandue que les Gallo-Romains avaient une piètre connaissance de la navigation dans les régions à marée.

ANNEXE

Glossaire des marées

Marnage : la différence du niveau d'eau entre la marée haute et la marée basse,

Coefficient (C) : caractérise l'amplitude de la mer. Il est proportionnel au marnage de la marée semi-diurne. Le coefficient de la marée est, pour une pleine mer de Brest (port de référence français), le quotient du marnage semi-diurne de la formule harmonique par la valeur moyenne de cette quantité pour les marées de vive-eau d'équinoxe admise = 6,10 m. Le coefficient est un nombre sans dimension, exprimé en centièmes entre 20 et 120 :

Coefficient 100 = marnage semi-diurne moyen par vive-eau voisine des équinoxes (21 mars-23 septembre).

Coefficient 120 = marées extraordinaires de vive-eau d'équinoxe.

Coefficient 95 = marées de vive-eau moyennes.

Coefficient 70 = marées moyennes.

Coefficient 45 = marées de morte-eau moyenne.

Coefficient 20 = marées de morte-eau les plus faibles.

Courbe de marée : représentation graphique de la hauteur en fonction de temps.

Étale : courte période encadrant une pleine mer ou une basse mer pendant laquelle le niveau de l'eau ne varie que très lentement entre la fin de la pleine mer et le début du jusant (ou vice versa).

Flot ou flux : marée montante.

Morte-eau (ME) : marée de faible amplitude (coefficient égal ou inférieur à 45).

Niveau moyen : moyenne des hauteurs horaires de marée sur une longue période.

Pleine mer : niveau le plus élevé à la fin du flot ou avant le jusant.

Vive-eau (VE) : marée de grande amplitude.

Hauteurs d'eau : exprimées en mètres et arrondies au demi-décimètre, elles sont comptées au-dessus du niveau auquel sont rapportées les sondes inscrites sur les cartes marines, niveau appelé zéro des cartes ou zéro hydrographique. On obtient la profondeur de l'eau en ajoutant la hauteur de la marée aux sondes de la carte.

Mode de prédiction – formule harmonique : les marées sont prédites harmoniquement. Cette formule permet de prendre en compte tous les éléments périodiques de la marée qui est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer dû aux effets de l'attraction de la lune et du soleil sur les particules liquides. Cette formule, qui conduit à des prédictions plus exactes que celles déduites de la formule de Laplace est utilisée couramment par les services hydrographiques officiels.

Répartition verticale des vitesses de courant

En général la répartition verticale des vitesses de courant, en dehors des périodes de renverse des courants, peut être décrite par des fonctions paraboliques ou logarithmiques de la forme :

Forme parabolique : $V(Z) = a z^a$

Forme logarithmique : et $V(Z) = (u_*/k) \ln(z/z_0)$

où $V(Z)$: la vitesse du courant à la hauteur z par rapport au fond

et u_* : la vitesse de frottement ($u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$)

τ_0 : contrainte de cisaillement

ρ : masse volumique du fluide

k : constante de Von Karman

z_0 : coefficient de rugosité

Cependant la forte charge en sédiments de l'eau de l'estuaire, les fortes variations de profondeur et les bancs de vases rendent les calculs pratiques très difficiles. En conséquence on préfère d'effectuer des mesures *in situ*³⁶.

36- Port Autonome de Bordeaux, 2004, 5.3

Bibliographie

- Allard, A. et al. (1974) : "Contribution de la méthode historique à la résolution d'un problème de géologie récente : exemple du Bas-Médoc (Gironde)", *Bulletin du B.R.G.M.* – deuxième série, 1, 7 figure 4.
- Annuaire des Marées, Port autonome de Bordeaux, 2008.
- Arnaud, P. (2005) : *Les routes de la navigation antique – Itinéraires en Méditerranée*, Paris, 98-107.
- Beltrame, C., éd. (2000) : "Boats, ships and shipyards", *Proc. Ninth International symposium on boat and ship Archaeology*, Venise.
- (1955) : "Les bateaux de la Garonne et de l'estuaire girondin à la fin du Moyen Âge (1479-1530)", *Revue historique de Bordeaux et du département de la Gironde*, 253-272.
- Bernard, J. (1965) : "Le fleuve, le port, la navigation", in : Renouard dir. 1965, 267-292.
- (1968) : *Navires et gens de mer à Bordeaux (vers 1400- vers 1550)*, Thèse de l'Université de Paris, Faculté de Lettres et Sciences Humaines, S.E.V.P.E.N., Paris.
- Bistaudeau, P. (1988) : "Navigation sur l'estuaire au IV^e siècle. Le voyage de Théon", in : *Le Blayais, Actes du 36^e congrès d'études régionales tenu à Blaye les 6 et 7 octobre 1984*. Fédération historique du Sud-Ouest, Bordeaux, 51-62.
- Casson, L. (1951) : "Speed under sail of Ancient Ships", *Trans and Proceedings of the American Philological association*, 82, 136-148.
- Coquillas, D. (2001) : *Les rivages de l'estuaire de la Gironde, du Néolithique au Moyen Âge*, Thèse de doctorat de l'université de Bordeaux 3.
- Ducasse, J. (1955) : "De Dumniton à Lucaniac", *Revue historique et archéologique du Libournais*, 23, 47-55 ; 79-85 ; 112-127.
- Étienne, R. (1962) : *Bordeaux antique*, Bordeaux.
- (1972) : "Les bateaux fluviaux sur la Garonne et le Tarn au IV^e siècle après J.-C.", *Revue historique et archéologique du Libournais*, 40, 71-76 = *En passant par l'Aquitaine*, 319-326.
- (1989) : "Les lettres d'Ausone à Théon", in : *Soulac et les pays médocains. Actes du 41^e congrès d'études régionales de la Fédération historique du Sud-Ouest*, Bordeaux, 185-205 = *En passant par l'Aquitaine*, 527-549.
- (1995) : "Encore le voyage de Théon dans l'estuaire", in : *L'estuaire de la Gironde. De Pauillac à Blaye, Actes du 45^e congrès d'études régionales de la Fédération historique du Sud-Ouest*, Pauillac-Blaye, 1993, Bordeaux, 61-68.
- Étienne, R., S. Preste et L. Desgraves (1986) : *Ausone, humaniste aquitain*, Bordeaux.
- Grimal, P. (1953) : "Les villas d'Ausone", *REA*, 55, 113-125.
- Higounet, Ch., éd. (1962-1974) : *Histoire de Bordeaux*, 8 tomes, Fédération historique du Sud-Ouest, Bordeaux.
- Migniot, M. (1971) : "L'évolution de la Gironde au cours du temps", *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 11/2, 222.
- Navicarte, éd. Grafocarte (2003) : 553-554 : *Entrée de la Gironde*, Issy-les-Moulineaux.
- Pomey, P. (2000) : "Reconstruction of Marseilles 6th century BC Greek ships", in : Beltrame éd. 2000, 57-65.
- Port Autonome de Bordeaux (2004) : "Demande de l'Autorisation pour l'amélioration de chenal de navigation – les courants de marée", Direction de l'Équipement, Chenal de Navigation et Ouvrages Portuaires, 5.3 (Rapport interne).
- Port Autonome de Bordeaux (2008) : *Annuaire des Marées*, Bordeaux.
- Renouard, Y., dir. (1965) : *Histoire de Bordeaux, III : Bordeaux sous les rois d'Angleterre*, in : Higounet, éd., Bordeaux.
- Rodgers, W. (1964) : *Greek and Roman Naval Warfare*, United States Naval Institute, Maryland, Appendix II, 45.
- Scofield, A., éd. (1959) : *On the characteristics of Animals by Aelian*, 3, 12, 43.
- Vigneaux, M. et al. (1955) : "Histoire holocène de l'estuaire de la Gironde" dans "Aquitaine occidentale", *Guides géologiques régionaux*, Paris, 26-27.
- Williams, J. et al. (1973) : *Sea and air: the marine environment*, Annapolis, 315.
- Waters, D. (1976) : *The rutters of the sea: The sailing directions of Pierre Garcie, a study of the first English and French sailing directions*, New Haven – Yale University Press, 15.

