

Université de Montréal

Les navires vikings.
Conception géométrique et architecture traditionnelle
au Moyen Âge scandinave.

par

Luce Lafrenière Archambault

Département d'Anthropologie

Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Études Supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences

M. Sc. en Anthropologie

Décembre, 2013

© Luce Lafrenière Archambault, 2013

Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Les navires vikings. Conception géométrique et architecture
traditionnelle au Moyen Âge scandinave.

Présenté par :

Luce Lafrenière Archambault

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Claude Chapdelaine, président-rapporteur

Brad Loewen, directeur de recherche

Claude Chapdelaine, membre du jury

Charles Dagneau, examinateur externe

Résumé

Selon l'image reçue des Vikings, ce peuple incarne l'esprit d'une immense solidarité primitive ayant su résister rudement au joug du christianisme et à la domination du Latin en Europe occidentale. Cette image n'est pas sans ses contradictions et, s'il est vrai que l'écriture était encore inconnue en Scandinavie durant les premiers siècles de l'expansion viking, on sait maintenant que le commerce et la colonisation, autant que les célèbres raids, motivèrent l'irruption des peuples scandinaves sur la scène médiévale. Quant aux navires de ces marchands, colonisateurs, pêcheurs et guerriers, ils apparaissent, un peu à l'image des Vikings eux-mêmes, sur le grand tableau de l'histoire nautique sous l'enseigne d'une originalité et d'une technicité sans parallèle.

Comment les Vikings construisaient-ils leurs navires, en leur donnant une symétrie, un équilibre et une finesse si achevés? Les premiers ethnologues qui se sont intéressés à cette question ont privilégié les idées issues d'une tradition acquise par des générations de constructeurs, et d'astuces simples pour équilibrer tribord et bâbord. Puis, ils se sont rapidement tournés vers les techniques inhérentes à la construction à clin : utilisation de planches fendues et non sciées et de rivets abondants témoignant d'une sidérurgie acquise depuis peu. Le problème que présentent ces navires, est que leur construction artisanale demeure conforme à l'image reçue des Vikings, mais que leur conception architecturale, réalisée selon des connaissances théoriques très exactes, brise la notion d'une Scandinavie médiévale illettrée et coupée des grands centres du savoir. Ce travail s'intéresse précisément à la conception architecturale des navires scandinaves du VIII^e au XI^e siècle pour montrer comment ils s'insèrent dans un haut savoir européen dès leur apparition. Il explore ensuite les liens qui unissent ce savoir théorique aux aspects véritablement originaux des navires vikings, en l'occurrence leur construction à clin et leur homogénéité sur une grande région à travers plus de cinq siècles.

Au terme de cette recherche, l'analyse réalisée sur le maître-couple de trois épaves vikings, une épave antique et une épave scandinave pré-viking, a permis de mettre en évidence plusieurs indices de l'utilisation du système de conception géométrique apparaissant pour la première fois dans les traités d'architecture navale de la Renaissance, et ce, sur chacune de ces épaves. Les résultats obtenus démontrent qu'il est possible d'employer un système transversal de conception pour des navires vraisemblablement construits bordé premier et assemblés à clin.

Mots-clés : Moyen Âge scandinave, navires vikings, architecture navale, construction à clin, conception géométrique des carènes, archéologie maritime.

Abstract

According to the popular image of the Vikings, this people embodied a spirit of immense solidarity that resisted the yoke of Christianity and the dominance of Latin in Western Europe. This image is not without its contradictions, and while it is true that writing was unknown in Scandinavia during the early centuries of the Viking expansion, we now know that trade and colonization, as much as their famous raids, motivated the irruption of the Scandinavian people on the medieval stage. However, there is an important area where the contradictions between the image of the Vikings and archaeological data still remain intact : the Vikings ships. These ships were designed for traders, settlers, fishermen and warriors. Like the Vikings themselves, their ships reflect a genius of unparalleled originality and high performance.

How did the Vikings build their ships, conferring them with such impressive symmetry, balance and finesse? The first ethnologists who studied this issue favoured ideal notions of traditions compiled over generations of builders, along with simple tips for balancing portside and starboard. Following this reductive cultural representation, they then quickly turned to the essential elements of clinker built construction: use of split planks and a great number of iron rivets, evidence of a new metallurgy. The problem with these ships is that, while their construction is made using traditional methods fitting to the popular image of the Vikings, their architectural design, deriving from very refined knowledge, contradicts the idea of an illiterate medieval Scandinavia cut off from the main centres of learning. This work focuses on the architectural design of Scandinavian ships from the eighth to the eleventh century, to show their place in high European knowledge. It then seeks to understand the links between the theoretical and practical aspects of Vikings ships : the clinker built construction and a great homogeneity over more than five centuries.

Analysis of the master frames of five wrecks – three Viking ships, one Ancient wreck and a pre-Viking Scandinavian vessel – has found positive indicators of the use of geometric design principles that were formerly thought to be original in Renaissance

shipbuilding treatises. Each wreck showed signs of the application of these design principles. The results show moreover that it was possible to use a transverse system of hull design for ships that were built shell-first in the clinker style.

Keywords : Scandinavian Middle Age, Vikings ships, naval architecture, clinker built boats, process of hull design, maritime archaeology.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Dédicace.....	xv
Remerciements.....	xvi

Introduction : le contexte de recherche et la présentation des chapitres.....	1
--	----------

Chapitre 1. La mise en œuvre d'une réévaluation des navires vikings.....	4
---	----------

1.1 État des connaissances de la tradition navale scandinave.....	4
1.1.1 La construction navale médiévale : deux traditions, deux hypothèses.....	5
1.1.2 Les caractéristiques des navires vikings.....	7
1.2 Le cadre théorique : la conception architecturale des navires vikings.....	10
1.2.1 La construction et la conception des navires vikings selon Olof Hasslöf et Patrice Pomey.....	11
1.2.2 La séquence bordé premier et le système de conception transversale.....	12
1.2.3 L'emploi d'une structure temporaire dans l'installation des bordages.....	13
1.3 La problématique de la conception architecturale des navires vikings.....	15
1.4 Une hypothèse sur la conception géométrique des navires vikings.....	15
1.5 La démarche scientifique : d'une approche conceptuelle à une méthode d'analyse.....	18
1.5.1 L'application du système géométrique à la conception des navires vikings...	19
1.6 Les sources archéologiques à l'étude.....	19

Chapitre 2. La Scandinavie : le contexte socioenvironnemental des navires vikings..	21
--	-----------

2.1 La Scandinavie : géographie et environnement.....	22
2.2 La société et la culture viking.....	25

2.3 Le climat scandinave au Moyen Âge.....	30
2.3.1 La reconstitution du paléoclimat et l'Optimum climatique médiéval.....	30
2.3.2 L'incidence des variations climatiques sur les forêts médio-tempérées.....	32
2.4 La chaîne opératoire du bois dans la construction navale scandinave.....	34
2.4.1 Une extraction sélective.....	34
2.4.2 Débitage et préparation.....	35
2.4.3 La boîte à outils du charpentier naval.....	36
Chapitre 3. Présentation des épaves à l'étude.....	39
3.1 L'épave de La Madrague de Giens.....	40
3.2 Le navire de Nydam.....	45
3.3 La barque funéraire de Gokstad.....	51
3.4 Le navire de Skuldelev 1.....	58
3.5 Le navire de Skuldelev 2.....	62
Chapitre 4. Le système de conception des carènes à la Renaissance, archéologie et textes anciens.....	65
4.1 Le système géométrique et les premiers traités d'architecture navale.....	65
4.2 Les variantes observées dans le système géométrique.....	70
4.3 Les unités de mesure.....	72
4.4 Méthodologie.....	74
Chapitre 5. L'existence d'une méthode de conception du maître-couple chez les Vikings.....	76
5.1 La barque funéraire de Gokstad.....	78
5.2 Le navire de Skuldelev 1.....	84

5.3 Le navire de Skuldelev 2.....	89
5.4 Deux autres exemples à l'extérieur de l'espace-temps viking.....	93
5.4.1 Le navire de Nydam.....	94
5.4.2 Le navire de La Madrague de Giens.....	99
Conclusion.....	107
Bibliographie.....	113

Liste des tableaux

Tableau I : Résumé des termes techniques selon la catégorie d'analyse des navires.

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : Technique d'assemblage des bordages dite à clin et à franc-bord.
(Unger, W. Richard. *The ship in the Medieval economy 600-1600*. Montréal : McGill-Queen's University Press, 1980, p. 38)

Figure 1.2 : Skuldelev 2. Exemple d'un drakkar.
(Vinner, Max. *Viking ship museum boats*. Roskilde : Roskilde Amtsmuseumsrad, 2002, p. 36)

Figure 1.3 : Skuldelev 1. Exemple d'un knarr.
(Vinner, Max. *Viking ship museum boats*. Roskilde : Roskilde Amtsmuseumsrad, 2002, p. 34)

Figure 1.4 : Mode de conception d'un bateau à clin par la séquence dite bordé premier alterné.
(Vinner, Max. *Viking ship museum boats*. Roskilde : Roskilde Amtsmuseumsrad, 2002, p. 11)

Figure 1.5 : Emploi de serre-joints dans l'installation des bordages.
(Hasslöf, O., H. Henningsen et A. E. Christensen. *Ships and shipyards, sailors and fishermen*. Copenhague : Copenhagen University Press, 1972, p. 43)

Chapitre 2

Figure 2.1 : La Scandinavie et la Baltique orientale à l'époque viking : colonies et sites d'épaves.
(Merrony, Mark. *Les Vikings : conquérants, commerçants et pirates*. Londres : Periplus, 2004, p. 16)

Figure 2.2 : Carte de la végétation en Scandinavie.
(Graham-Campbell, James. *Cultural atlas of the Viking world*. Oxford : Andromeda Book, 1994, p. 17)

Figure 2.3 : Distribution des routes commerciales et des réseaux d'échanges utilisés par les Vikings.
(Graham-Campbell, James. *Cultural atlas of the Viking world*. Oxford : Andromeda Book, 1994, p. 79)

Figure 2.4 : Centres de production artisanale en Scandinavie du IX^e au XI^e siècle.
(Graham-Campbell, James. *Cultural atlas of the Viking world*. Oxford : Andromeda Book, 1994, p. 89)

Figure 2.5 : Zones optimales de croissance du chêne, du hêtre et du pin.
(Crumlin-Pedersen, Ole. *Viking-age ships and shipbuilding in Hedeby-Haithabu and Schleswig*. Roskilde : The Viking Ship Museum, 1997, p. 181)

Figure 2.6 : Équarrissage du fût pour faire les bordages.
(McGrail, Sean. *Ancient boats in Northwest Europe*. Londres : Longman, 1987, p. 33)

Figure 2.7 : Outils utilisés dans la construction des navires vikings.
(Vinner, Max. *Viking ship museum boats*. Roskilde : Roskilde Amtsmuseumsrad, 2002, p. 25)

Figure 2.8 : Utilisation du foret à l'aide du torse.
(Friel, Ian. *The good ship. Ships, shipbuilding and technology in England 1200-1520*. Baltimore : The Johns Hopkins University Press, 1995, p. 58)

Figure 2.9 : Outils de charpentier illustrés dans la représentation de la Tapisserie de Bayeux.
(Crumlin-Pedersen, Ole. *Viking-age ships and shipbuilding in Hedeby-Haithabu and Schleswig*. Roskilde : The Viking Ship Museum, 1997, p. 189)

Chapitre 3

Figure 3.1 : Double bordé construit à franc-bord et système de mortaises et de tenons observés sur l'épave de La Madrague de Giens.
(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 64. Figure tirée de Tchernia, A., P. Pomey et A. Hesnard. *L'épave romaine de La Madrague de Giens*, Paris: XXXIV^e supplément à *Gallia*, 1978 : pl. 40, figure 11.)

Figure 3.2 : Principe d'assemblage des bordages à l'aide de mortaises et de tenons.
(Rieth, Éric. *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet. Essai sur la conception non-graphique des carènes du Moyen Âge au XX^e siècle*. Paris : Éditions du CTHS, Histoire des Sciences, 1996, p. 17)

Figure 3.3 : Coupe transversale et détails de la quille de l'épave de La Madrague de Giens.
(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 63. Figure tirée de Tchernia, A., P. Pomey et A. Hesnard.

L'épave romaine de La Madrague de Giens, Paris: XXXIV^e supplément à *Gallia*, 1978 : pl. 36, figure 10.)

Figure 3.4 : Dessin hypothétique du navire de Nydam.

(Rieck, Flemming. «The iron age boats from Hjortspring and Nydam, New investigations», dans C. Westerdahl, dir., *Crossroads in ancient shipbuilding. Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde, 1991*. Oxford : Oxbow Books, 1994, p. 50)

Figure 3.5 : Croquis tirés du carnet de Engelhardt datant de 1865.

(Rieck, Flemming. «The iron age boats from Hjortspring and Nydam, New investigations», dans C. Westerdahl, dir., *Crossroads in ancient shipbuilding. Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde, 1991*. Oxford : Oxbow Books, 1994, p. 52. Figure tirée de Engelhardt, C. *Nydam Mosefund*, Copenhagen, 1865.)

Figure 3.6 : Forme en «U» de la coque du navire de Nydam, en comparaison avec 3 autres navires, dont celui de Gokstad.

(McGrail, Sean. *Boats of the World. From the Stone Age to Medieval times*. Oxford : Oxford University Press, 2001, p. 209. Figure tirée de Åkerlund 1963)

Figure 3.7 : Vue longitudinale et vue en plan du navire de Gokstad.

(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 103)

Figure 3.8 : Techniques de liaisons des bordages du navire de Gokstad.

(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p.105)

Figure 3.9 : Dessin du gouvernail du navire de Gokstad.

(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 108)

Figure 3.10 : Emplanture de mât, reposant sur quatre varangues au centre du navire de Gokstad.

(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 104)

Figure 3.11 : Photo du navire de Gokstad après les fouilles.

(Hocker, F. et C. Ward. *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*. College Station : Texas A&M University Press, 2004, p. 38)

Figure 3.12 : Reconstitution hypothétique du navire de Gokstad lors d'un portage.

(Hocker, F. et C. Ward. *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*. College Station : Texas A&M University Press, 2004, p. 39)

Figure 3.13 : Reconstitution des navires de Skuldelev 1 à 5.
(Hocker, F. et C. Ward. *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*. College Station : Texas A&M University Press, 2004, p. 40)

Figure 3.14 : Skuldelev 1. Détails de la proue.
(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 111)

Figure 3.15 : Skuldelev 1. Coupe longitudinale.
(Steffy, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998, p. 110)

Figure 3.16 : Reconstitution du navire de Skuldelev 1.
(Crumlin-Pedersen, O. *The Skuldelev ships 1*. Roskilde : The Viking Ship Museum, Ships and boats of the North vol. 4.1, 2002, p. 124)

Figure 3.17 : L'épave Skuldelev 2, exposée au Viking Ship Museum de Roskilde.
The Viking Ship Museum, Roskilde.
<http://www.vikingskibsmuseet.dk/fr/expositions/les-bateaux-de-skuldelev/le-skuldelev-2/>
(Site internet consulté le 24 janvier 2013)

Figure 3.18 : Détails du *biti* sur l'épave Skuldelev 3.
(Hocker, F. et C. Ward. *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*. College Station : Texas A&M University Press, 2004, p. 53)

Chapitre 4

Figure 4.1 : Le maître-couple de Mathew Baker, tiré de *Fragments of Ancient English Shipwrightry*, c. 1580.
(Loewen, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans R. Grenier, M-A. Bernier et W. Stevens, dirs., *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 6)

Figure 4.2 : La géométrie du maître-couple du Mary Rose et ses arcs circulaires tangentiels.
(Barker, R et al. «Hull design of the Mary Rose», dans P. Marsden, dir., *Mary Rose your noblest shippe. Anatomy of a Tudor warship. Archaeology of the Mary Rose vol.2*. Portsmouth: The Mary Rose Trust Ltd, 2009, p. 58)

Figure 4.3 : Différents procédés pour modifier les couples à l'avant et à l'arrière du maître-couple.

(Rieth, Éric. *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998, p. 99)

Figure 4.4 : Deux méthodes pour modifier la forme du maître-couple aux couples de balancement.

(Loewen, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans R. Grenier, M-A. Bernier et W. Stevens, dirs., *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 9)

Figure 4.5 : Combinaison des arcs de cercle du maître-couple, pour former les modifications systématiques des couples vers l'arrière du navire.

(Loewen, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans R. Grenier, M-A. Bernier et W. Stevens, dirs., *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 98-99)

Figure 4.6 : Combinaison des arcs de cercle du maître-couple, pour former les modifications systématiques des couples vers l'avant du navire.

(Loewen, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans R. Grenier, M-A. Bernier et W. Stevens, dirs., *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 98-99)

Chapitre 5

Figure 5.1 : Maître-couple du navire de San Juan et ses composantes.

(Loewen, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans R. Grenier, M-A. Bernier et W. Stevens, dirs., *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 4)

Figure 5.2 : Conception géométrique du maître-couple du navire de San Juan.

(Grenier, R. et al. *L'archéologie subaquatique de Red Bay: la construction navale et la pêche de la baleine basques au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, p. 18)

Figure 5.3 : Analyse géométrique du maître-couple du navire de Gokstad.

(reconstitution du maître-couple issue de l'ouvrage de Sean McGrail. *Boats of the World. From the Stone Age to Medieval times*. Oxford : Oxford University Press, 2001, p. 209)

Figure 5.4 : Analyse géométrique du couple 4A du navire Skuldelev 1.
(reconstitution provenant de l'ouvrage de Ole Crumlin-Pedersen. *The Skuldelev ships 1*.
Roskilde : The Viking Ship Museum, Ships and boats of the North vol. 4.1, 2002, p. 131)

Figure 5.5 : Analyse géométrique du maître-couple du navire Skuldelev 2.
(reconstitution provenant de l'ouvrage de Ole Crumlin-Pedersen. *The Skuldelev ships 1*.
Roskilde : The Viking Ship Museum, Ships and boats of the North vol. 4.1, 2002, p. 174)

Figure 5.6 : Analyse géométrique du maître-couple du navire de Nydam.
(McGrail, Sean. *Boats of the World. From the Stone Age to Medieval times*. Oxford :
Oxford University Press, 2001, p. 209)

Figure 5.7 : Analyse géométrique du maître-couple de l'épave La Madrague de Giens.
(Rieth, É. *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville
Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998, p. 52. Figure
tirée de Tchernia, A., P. Pomey et A. Hesnard. *L'épave romaine de La Madrague de Giens*,
Paris: XXXIV^e supplément à *Gallia*, 1978 : XXXVI)

The ships of the Vikings were the supreme achievement of their technical skill, the pinnacle of their material culture; they were the foundation of their power, their delight, and their most treasured possession. What the temple was to the Greeks, the ship was to the Vikings; the complete and harmonious expression of a rare ability.

Johannes Brønsted. *The Vikings*.

in :

Greenhill, B. et J. Morrison. *The archaeology of boats and ships. An introduction*.
London : Conway Maritime Press, 1995.

Remerciements

Ce mémoire n'aurait probablement pas vu le jour sans l'appui d'un grand nombre de personnes et le moment est enfin venu de les remercier. Je tiens tout d'abord à souligner le support et l'encouragement de mon directeur de recherche, monsieur Brad Loewen. Son enseignement et ses conseils ont sans aucun doute permis l'aboutissement de cette recherche. Un merci tout spécial pour m'avoir offert l'opportunité de vivre un séjour inoubliable à Roskilde. Merci mille fois à toute ma famille: à mon conjoint Louis-Philippe pour son soutien moral et son aide si précieuse, ainsi qu'à mes parents pour leur grande générosité. Enfin, je n'oublie pas mes amis qui m'ont accompagnée tout au long de ce périple et qui ont cru en moi depuis le début.

À Mario Bergeron, un grand homme parti trop tôt.

Introduction : le contexte de recherche et la présentation des chapitres

Au sein des grandes découvertes archéologiques, les navires figurent parmi les plus évocatrices. Que ce soit les barques funéraires, les navires corsaires ou les immenses vaisseaux partis à la conquête de nouveaux mondes, toute épave renferme sa part de mystère. Chaque épave renvoie à un espace-temps très particulier. Contrairement aux sites d'occupation terrestre, où plusieurs contextes peuvent s'enchaîner en un même lieu, les épaves capturent un moment précis de l'histoire, une image des gens ayant vécu à bord du navire avant le naufrage. Elles possèdent une valeur archéologique unique témoignant de l'organisation sociale et culturelle d'une époque donnée. C'est ce contexte précis et très immédiat qui interpelle les chercheurs attirés par l'histoire humaine des navires.

La présente recherche englobe le domaine de l'archéologie maritime certes, mais aussi celui, plus théorique, de la conception architecturale des navires vikings au Moyen Âge scandinave. Trois éléments principaux composent le mémoire : le navire en tant qu'objet d'étude archéologique, la construction et la conception architecturale des navires vikings selon les traditions scandinaves et finalement, l'application d'un modèle théorique à une analyse pratique.

À l'intérieur du premier chapitre, l'état des connaissances sur la tradition navale scandinave est brièvement exposé, de même que les caractéristiques architecturales des navires vikings. Dans le cadre théorique associé à la conception architecturale des navires vikings, un survol des travaux d'Olof Hasslöf sur les méthodes de construction navale scandinave est ensuite présenté, expliquant les différentes méthodes de construction et de conception longitudinale des navires vikings. La problématique de recherche énoncée repose sur un système particulier de conception des carènes, soit celui appelé «transversal». Ce dernier est basé sur le système géométrique d'arcs de cercle tangentiels décrit entre autres par Brad Loewen (1998, 2007) et Éric Rieth (1996, 1998). Le système de conception transversale aide à dessiner l'architecture du maître-couple des navires. Les hypothèses traitant de la conception de cette pièce maîtresse se fondent sur l'application de ce système

géométrique d'arcs tangentiels à la conception de la carène des navires vikings. La démarche scientifique présentée pose un regard sur les traités de navigation de la Renaissance et sur les origines du bordé à clin en Scandinavie. Enfin, une brève présentation des sources archéologiques composant le corpus à l'étude termine le premier chapitre.

Le chapitre deuxième est une introduction générale à l'environnement maritime et à l'histoire culturelle scandinave. Nous y proposons un bref portrait de la société et de la culture viking en mettant l'accent sur la Scandinavie médiévale de 600 à l'an 1200, suivit d'une réflexion sur la reconstitution du paléoclimat durant la période de réchauffement climatique au Moyen Âge. Un survol de la chaîne opératoire du bois et des principales essences forestières utilisées dans la construction navale scandinave complète ce deuxième chapitre.

C'est à l'intérieur du troisième chapitre que le corpus à l'étude est traité en détails. Le contexte archéologique de découverte des épaves de La Madrague de Giens, de Nydam, de Gokstad et de Skuldelev 1 et 2 y est présenté, de même que les caractéristiques architecturales propres à chacune de ces épaves. Notons que ce sont tous des navires construits selon la séquence bordé premier et qu'à l'exception de La Madrague, ils ont tous été assemblés à clin.

Le quatrième chapitre introduit les bases du système de conception géométrique des carènes durant la Renaissance à partir des textes anciens et de l'archéologie. Certains éléments du système géométrique ne peuvent se passer d'explications; c'est le cas des arcs de cercle tangentiels à rayons distincts et des différentes unités de mesure entrant dans la conception architecturale des navires. L'essai du modèle géométrique des arcs circulaires tangentiels aux cinq navires à l'étude est à la base de l'analyse des maître-couples restitués.

Inspirée des méthodes de conception architecturale connues aux XVI^e et XVII^e siècles dans les traités de navigation de la Renaissance, l'analyse des dessins techniques du maître-couple des navires vikings étudiés est illustrée au chapitre cinquième. Ce chapitre vise à démontrer l'existence du système géométrique dans la conception des navires vikings. Les résultats de l'analyse des maître-couples sont amenés au sein de ce dernier chapitre, qui aborde également les différents rapports observés entre le mode de conception et les techniques de construction des navires sélectionnés pour l'étude.

Si la conception architecturale des navires vikings suivait les principes de construction décrits dans les textes des XVI^e et XVII^e siècles, l'usage du système géométrique d'arcs tangentiels témoignerait-il de la transmission orale et visuelle d'un savoir nautique très ancien? Cette hypothèse, qui suggère une intégration profonde de la société viking aux réseaux de savoir européens, sera brièvement explorée par le biais des concepts de «paysage culturel maritime» et de «zones traditionnelles de transport» développés par l'anthropologue Christer Westerdahl (1992, 1994, 2006).

Chapitre 1 La mise en œuvre d'une réévaluation des navires vikings

Plusieurs épaves associées à la tradition médiévale nautique scandinave ont été à ce jour fouillées, dont celles des navires de Hjortspring, de Skuldelev et de Hedeby qui datent respectivement du IV^e, du X^e et du XII^e siècle. Des barques funéraires en Grande-Bretagne et en Norvège, comme à Sutton Hoo, à Gokstad et à Oseburg relevant du VII^e et du IX^e siècle, sont quant à elles riches d'informations concernant le savoir architectural et la sacralisation des navires. Notre objet d'étude, soit le navire viking, sera analysé en tant qu'artefact propre à l'espace culturel maritime scandinave, mais aussi en tant que témoin archéologique du savoir nautique et de l'organisation sociale d'une époque. Puisque les Vikings construisaient leurs navires à différentes fins, il est possible, en observant la forme de la carène de certains navires, de déterminer leur fonction principale. La distinction la plus évidente à l'intérieur de la flotte viking demeure celle entre les longs bateaux guerriers et les navires marchands plus larges, mais il existe bien d'autres spécialités au sein de la tradition navale scandinave viking, tels que les navires servant à la pêche côtière et hauturière, les bateaux assurant la communication rapide entre les villages, puis les petites embarcations servant au transport personnel.

1.1 État des connaissances de la tradition navale scandinave

Plusieurs types de navire viking distincts sont connus même s'ils participent à un ensemble de construction similaire. La forme des carènes, très caractéristique, apportait aux navires d'exceptionnelles qualités de navigation. Ce premier chapitre présente le monde des navires vikings, en faisant brièvement état des traditions navales scandinaves et des modes de conception architecturale des navires anciens. Afin de retracer l'existence d'un système de conception dite transversale dans la construction des navires vikings, il convient d'expliquer en détails au préalable les méthodes de construction à clin et à carvelle qui sont associées aux modes de conception bordé premier et charpente première.

1.1.1 La construction navale médiévale : deux traditions, deux hypothèses

Au cœur de ce mémoire réside l'opposition de deux méthodes de construction et de deux hypothèses sur la conception architecturale des navires anciens. Cette opposition a stimulé de nombreux débats depuis les années 1960 au sein de la communauté scientifique (Crumlin-Pedersen 1986, 1995; Hasslöf 1972; Loewen 1998, 2007; Pomey 1994, 1998, 1999, 2004; Rieth 1989, 1996, 1998; Steffy 1998) . Dans un article fondateur, Ole Crumlin-Pedersen, l'un des principaux spécialistes de l'archéologie navale scandinave, identifie quatre traditions de construction navale médiévale propres à l'ensemble des pays du Nord-Ouest européen. On y retrouve la tradition nordique à clin, la tradition mixte des cogues hanséatiques à clin et à franc-bord, celle des hulcs à carvelle au sud de la mer du Nord et la tradition exclusivement fluviale des barges à fond plat (Crumlin-Pedersen 1979 : 34).

À travers ces différentes traditions navales, nous observons principalement deux formes de bordé, soit à *clin* et à *franc-bord*, cette dernière étant aussi appelée à *carvelle*. À ces deux modes d'assemblage sont associés deux procédés de construction tout aussi distincts, appelés *bordé premier* et *charpente première*. C'est la construction à *clin*, selon le procédé *bordé premier*, qui sera décrite pour l'analyse de l'objet d'étude. La construction à

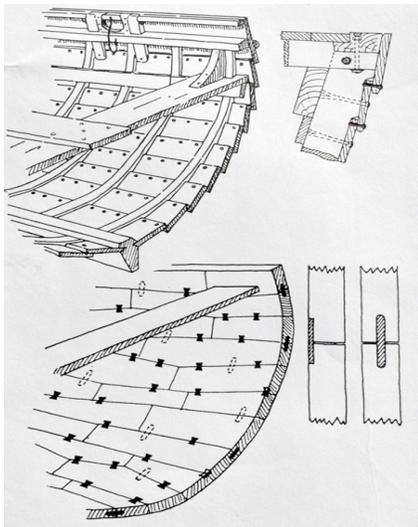


Figure 1.1 : Technique d'assemblage des bordages dite à clin (en haut) et à franc-bord (en bas). (Unger, W. Richard. 1980)

clin, ou «bordé à clin», se rapporte donc à un mode particulier d'assemblage des bordages, terme désignant chacune des planches de revêtement de la coque du navire (figure 1.1). Dans la construction d'une coque réalisée *bordé premier*, les membrures internes viennent renforcer la partie du bordé externe déjà posé. Le bordé est alors la structure architecturale principale du navire. Ce mode d'assemblage, caractérisé par un recouvrement partiel d'un bordage sur l'autre, à l'image d'un escalier, s'oppose à la technique de construction «bordé à carvelle» ou

«bordé à franc-bord», où chaque bordage est posé l'un à

côté de l'autre cant contre cant. Selon cette deuxième méthode, ce sont les membrures qui sont construites en premier et tiennent lieu de structure cohérente au navire. Le bordé n'est posé qu'après l'assemblage des membrures. Selon le procédé de construction *charpente première*, les membrures formant la charpente transversale intérieure, représentent donc l'ossature du navire assemblé à *franc-bord*. Ainsi, on associe généralement la séquence de construction *bordé premier* à la technique de construction dite «bordé à clin», et le terme *charpente première* à la technique «bordé à franc-bord». Il est important de distinguer les principes de *conception*, qui se rapportent au système architectural de la coque du navire, des méthodes de *construction* qui renvoient plutôt aux techniques pratiquées dans les chantiers navals (Rieth 1989 : 34).

Catégorie d'analyse	Période viking	Période de la Renaissance
Procédé ou séquence de construction	bordé premier	charpente première
Technique de construction	bordé à clin	bordé à franc-bord ou à carvelle
Mode de conception	longitudinal ?	transversal

Tableau I : Résumé des termes techniques selon la catégorie d'analyse des navires.

Le tableau I illustre la problématique du mémoire. L'hypothèse de l'existence de deux modes de conception architecturale, soit *longitudinal* et *transversal*, repose sur l'observation de deux techniques de construction, soit à *clin* et à *franc-bord*. Puisque les bordages à *clin* sont fixés les uns aux autres pour constituer la carène selon le procédé de construction *bordé premier*, la conception de ce type de navire est dite *longitudinale* (Pomey 2004; Rieth 1998). Lorsque les bordages à *franc-bord* sont fixés à des membrures érigées préalablement selon la séquence de construction *charpente première*, la conception architecturale est appelée *transversale* (Pomey 2004; Rieth 1998). Toutefois, bien que ces associations soient logiques, un mode de conception doit-il nécessairement être associé à une technique et une séquence de construction particulière ? En appliquant un système de

conception *transversal* sur les navires vikings assemblés à *clin* selon la séquence de construction *bordé premier*, nous avons testé la polyvalence de ce mode de conception. Dans le chapitre traitant des analyses, nous verrons qu'il peut s'appliquer tant sur un navire construit à *clin* que sur un navire construit à *franc-bord*.

1.1.2 Les caractéristiques des navires vikings

Malgré leur société de chefferies et leur réputation de pilliers prédateurs, les Vikings étaient aussi d'habiles commerçants, d'intrépides explorateurs et d'excellents constructeurs de navires. Les navires qu'ils fabriquaient, de façon générale, se regroupent en deux types principaux, chacun possédant des fonctions bien différentes.

Construit pour la guerre et les raids, le *drakkar*, un bateau long aussi nommé *langskip*, figure parmi les navires les plus performants jamais conçus. En haute mer, les Vikings utilisaient surtout la voile comme moyen de propulsion, alors qu'ils optaient plutôt pour les rames sur les fleuves et les fjords. Le mât du *drakkar* s'abaissait afin de diminuer la résistance au vent et ainsi obtenir une plus grande stabilité quand le navire était propulsé

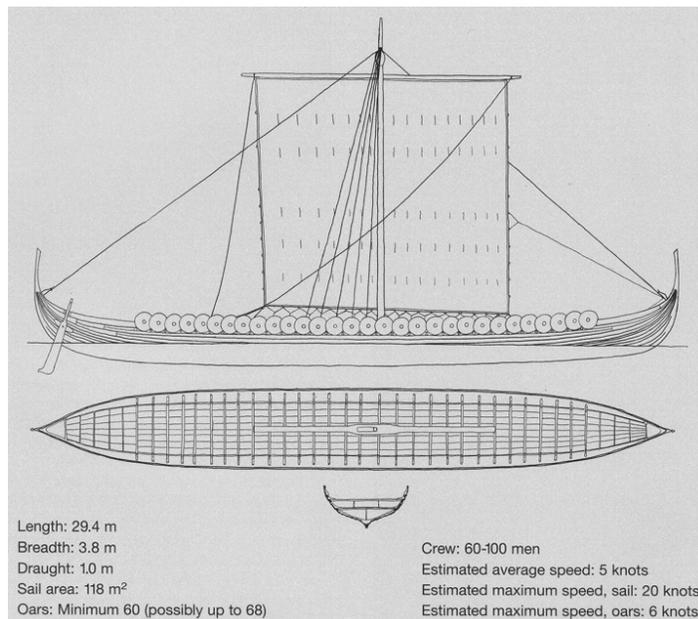
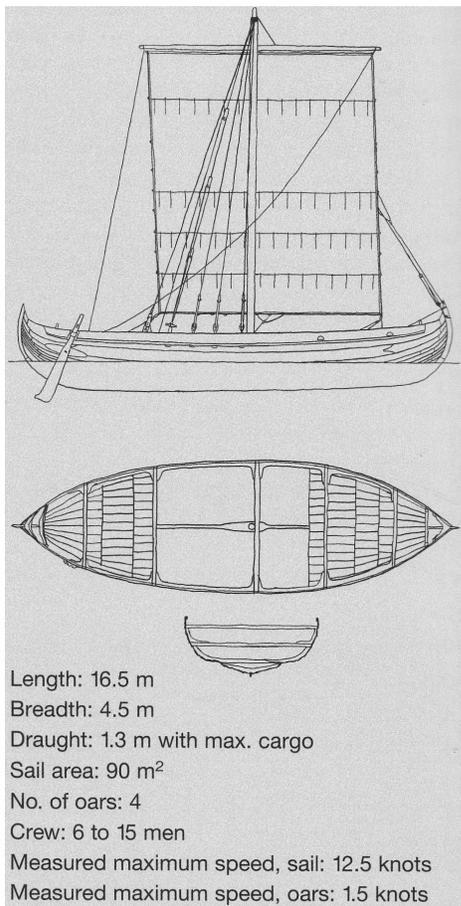


Figure 1.2 : Skuldelev 2. Exemple d'un drakkar. (Vinner, Max. 2002)

à la rame. Cette fonction réduisait aussi la visibilité du navire lors d'une attaque surprise. Ce navire, dont la construction reflète bien l'objectif purement militaire, était conçu pour atteindre un maximum de vitesse : il était long et étroit, pouvant accueillir en moyenne 80 hommes armés (figure 1.2). «Pour les plus longs *langskips*, c'est-à-dire Skuldelev 2, Hedeby 1 et Roskilde 6, on estime le nombre d'avirons variant entre 58 et 68 et

un équipage total compris entre 60 et 100 hommes» (Héricher 2003 : 31). Puisqu'il ne possédait qu'une capacité de charge extrêmement limitée et qu'il dépendait d'un équipage important pour maintenir sa vitesse, le *drakkar*, à l'opposé du navire cargo, ne fut pas très présent sur la scène du commerce maritime.

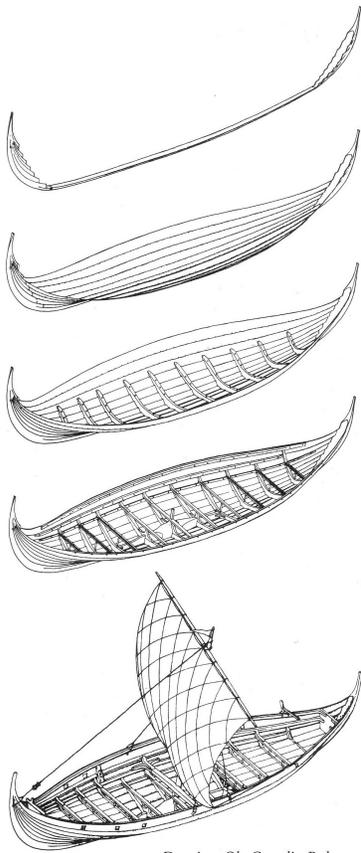
Les Vikings fabriquaient un autre type de navire, le *knarr*, qui servait principalement au commerce, à la pêche et aux expéditions de colonisation. Afin de transporter d'importantes cargaisons, les *knarrs* étaient plus larges et plus profonds que les navires guerriers (figure 1.3). Contrairement aux *drakkars*, ils utilisaient principalement la voile et portaient un mât fixe. Le *knarr* fit son apparition au X^e siècle, période caractérisée par une phase de transformation dans la construction navale scandinave, vers une



augmentation significative dans la capacité de charge des navires (Lemée 2002 : 183). Disposant d'un franc-bord plus élevé, le *knarr* pouvait donc transporter d'importantes quantités de marchandises et répondait ainsi à cette nouvelle demande. Selon Héricher et Lemée, l'introduction de ces navires spécialisés dans la navigation scandinave peut correspondre à la mise en place d'un nouveau type de société. «Cette capacité supplémentaire a fourni la capacité de charge nécessaire à un commerce volumineux, mais a également rendu possible le maintien régulier des contacts vers les colonies éloignées de l'Atlantique Nord où l'on pouvait obtenir d'importantes ressources» (Héricher 2003 : 31). L'arrivée des *knarrs* en Scandinavie coïncide d'ailleurs avec l'apogée des vagues migratoires vers l'ouest survenues durant la période viking en Islande et au Groenland (Ridel 2002 : 27).

Figure 1.3 : Skuldelev 1. Exemple d'un *knarr*. (Vinner, Max. 2002)

Malgré ces transitions et l'existence de plusieurs types de navires, on constate une grande homogénéité des matériaux et des techniques de construction pour toute l'ère viking, comme l'assemblage des bordages à clin, de même que l'emploi du chêne et du pin sylvestre comme matière première (Vinner 2002 : 11). Le bois de ces essences forestières était soigneusement travaillé dans le sens des fibres pour ne pas en affaiblir l'élasticité. La quille devait provenir d'un seul tronc droit, et, avec l'étrave et l'étambot courbés, formait la charpente axiale du navire. Pour les membrures transversales, les charpentiers choisissaient des branches épousant naturellement la courbure et l'angle recherchés. Les bordages longitudinaux, rivetés entre eux à l'aide de rivets en fer, étaient assemblés avant que les premières membrures ne soient posées. On assemblait ensuite les membrures et les bordages à l'aide de chevilles en bois appelées gournables.



Drawing: Ole Crumlin-Pedersen.

Figure 1.4 : Mode de conception d'un bateau à clin par la séquence dite bordé premier alterné. (Vinner, Max. 2002)

Le procédé ou la séquence de construction *bordé premier alterné* caractérisant la construction viking débute par la réunion des trois pièces de la charpente axiale, soit l'étrave, la quille et l'étambot (figure 1.4). Les premiers rangs du bordé, ou «virures», sont ensuite posés du bas vers le haut à partir de la quille et fixés entre eux à l'aide de rivets de fer. Entre deux bordages, des fibres animales et végétales étaient insérées afin de garantir l'étanchéité du joint. Une fois la mise en place de six à neuf bordages, les membrures transversales nommées varangues sont rivetées aux bordages avec des rivets de fer. Ces pièces transversales ont préalablement été taillées sur leur face externe pour s'adapter aux formes de la coque et aux «marches» du bordé à clin. La coque était donc rigide en largeur, de par la charpente transversale, et souple en longueur dans le sens des bordages. Une fois les membrures inférieures posées (varangues), les bordages

des flancs montants étaient ajoutés. Puis, les membrures supérieures nommées allonges étaient posées, pour compléter la carène. Cette séquence de montage alterne donc la pose du bordé et celle des membrures, puis de nouveau pour les flancs, d'où le terme *bordé premier alterné*. Les renforts internes comme les baux et les bancs des rameurs étaient ensuite installés et le mât fixé dans son emplanture. Le gouvernail, le *stýri*, était placé à tribord arrière. Finalement, la pose des gréements et de la voile carrée terminait le processus d'assemblage des pièces nécessaires à la construction d'un navire de tradition scandinave. Dans ce travail, notre intérêt portera principalement sur la carène des navires scandinaves décrits ci-haut, c'est-à-dire construits à *clin* et réalisés selon le procédé de construction *bordé premier alterné*.

Ces éléments de la construction navale viking font consensus parmi les chercheurs, tel que Hasslöf, Crumlin-Pedersen, McGrail et Steffy, et décrivent bien l'aspect original de ces navires. Cependant, ils ne suffisent pas à eux seuls à rendre compte du savoir viking dans la construction navale qui a acquis, au cours des siècles, un niveau de performance hors pair. Alliant légèreté et souplesse à une volumétrie architecturale inédite, le résultat du travail de charpentier demeure une merveille de puissance et de navigabilité.

1.2 Le cadre théorique : la conception architecturale des navires vikings

Le problème des techniques de charpentier vis-à-vis des modes de conception architecturale renvoie à un cadre théorique qui a été développé depuis les recherches du pionnier Olof Hasslöf, ethnologue suédois ayant longtemps étudié la construction maritime en Scandinavie (Hasslöf 1972). Selon Hasslöf, la construction à *clin* par la séquence bordé premier irait à l'encontre de l'utilisation d'un système de *conception transversale*, puisque la structure initiale du navire repose dans les bordages ou à même le bordé, qui tient un rôle «directeur» dans la conception du projet architectural. Les recherches ethnographiques de Hasslöf, dans des petits chantiers navals du XX^e siècle, recensent par ailleurs l'emploi d'un

gabarit rudimentaire et temporaire afin de guider l'assemblage des bordages, que Hasslöf projeta à l'époque viking. De cette théorisation primordiale des liens techniques entre la forme de bordé, la méthode de construction et le mode de conception architecturale, l'archéologue français Patrice Pomey a proposé l'existence d'un mode *longitudinal* de conception architecturale des navires médiévaux et anciens construits selon la séquence bordé premier (Pomey 1994, 1999, 2004). Examinons de plus près cette tradition intellectuelle dans l'étude des navires vikings, que nous avons schématisé dans le tableau I (p. 6).

1.2.1 La construction et la conception des navires vikings selon Olof Hasslöf et Patrice Pomey

La technique de construction navale en bois la plus répandue est celle de *bordé à carvelle*, dominante partout en Europe depuis la fin du XV^e siècle. Selon de nombreux témoins archéologiques (Culip V, La Belle, Villefranche et Red Bay), cette technique est associée à la séquence de construction dite *charpente première*, c'est-à-dire que les membrures sont assemblées en premier lieu et qu'ensuite est effectuée la pose du bordé. Les bordages ne sont pas cloués entre eux, mais seulement aux membrures. Les membrures déterminent donc la forme du navire avant même l'ajout du bordé. Les navires construits à *carvelle* sont alors logiquement conçus selon un *système transversal* de conception architecturale, technique bien connue depuis le XV^e siècle dans les traités de construction navale. Plusieurs études archéologiques confirment d'ailleurs ce rapport entre *charpente première*, *bordé à carvelle* et *conception transversale* (Loewen 1998, 1999, 2007). Selon l'archéologue français Patrice Pomey, dans ce mode de construction, les membrures détiennent le rôle premier dans la structure du navire et c'est pour cela qu'elles reposent aussi à la base même de la conception architecturale de la carène (Pomey 2004 : 27).

À l'opposé, la forme de bordé appelée *bordé à clin*, observée dans le Nord-Ouest européen entre le VII^e et le XV^e siècle, est associée à la séquence de construction *bordé premier*. Selon cette chaîne opératoire, la charpente axiale et les bordages sont posés avant l'insertion des membrures, lesquelles d'après Hasslöf (1972) et Pomey (1998, 2004), ne sont sculptées que de façon à venir épouser la forme de la coque déjà déterminé par le bordé. L'angle des bordages composant le bordé peut donc être ajusté et corrigé tout au long de la construction. Selon Hasslöf, le profil de la coque des navires scandinaves était autrefois décidé à l'œil, à partir d'un présumé *système longitudinal* de conception qui restait toutefois non documenté (Hasslöf 1972 : 239). Fils de pêcheur et ethnologue émérite, Hasslöf présumait que ce savoir énigmatique faisait partie de la tradition orale scandinave, où la transmission du savoir s'effectue de père en fils, sinon de maître en apprenti. Très respecté par ses pairs, Hasslöf et le cadre technique qu'il proposait ont fait école en archéologie maritime. S'inscrivant dans cette réflexion, Patrice Pomey proposait que dans cette conception architecturale, si le bordé détenait le rôle principal dans la structure du navire, il devait alors logiquement aussi être déterminant pour la conception architecturale de la carène. C'est à lui que l'on doit l'expression de «conception longitudinale», ainsi que quelques données indiquant le rôle de «guide» joué par certaines virures du bordé, généralement entre le sixième et le neuvième rang où la séquence de construction alternait (Pomey, 2004).

1.2.2 La séquence bordé premier et le système de conception transversale

Au milieu du XX^e siècle, Olof Haslöf étudiait les traditions navales alors en voie de disparition, et dont l'ancienneté remontant à une époque inconnue était greffée par lui aux nouvelles découvertes archéologiques des épaves vikings. Hasslöf n'était cependant pas au courant des méthodes de conception architecturale des navires datant des XVI^e et XVII^e siècles, mises en lumière dans les années 1990 (Rieth 1996; Loewen 1998; Barker 1998). Ce sont alors d'autres auteurs, dont Patrice Pomey, qui ont tenté de trouver des parallèles

entre deux problèmes : celui de la transition au XV^e siècle dans les techniques de construction, et celui du mode de conception des navires à *clin*, notamment des navires vikings. Hasslöf s'est surtout intéressé au problème de la transition du mode d'assemblage à *clin* au mode d'assemblage à *carvelle*, située au XV^e siècle par les archives, mais pour laquelle il n'existait pas d'exemples archéologiques démontrant une transition progressive. À l'époque où Hasslöf faisait ses recherches, la tradition à *clin* existait encore dans les îles Lofoten, au nord de la Norvège. Hasslöf avait noté, entre autres, la pratique de prendre un vieux navire construit à *clin*, de le démonter partiellement et de le reconstruire à *carvelle*. Pour ce faire, l'ancien navire était démembré jusqu'à la ligne des eaux et ensuite scié en deux dans l'axe transversal. Les charpentiers utilisaient alors la coupe du couple central de l'ancien navire, afin d'en faire un gabarit pour re-sculpter les membrures sans «marches». Ces membrures pouvaient donc servir à construire un *bordé à carvelle* (Hasslöf 1972: 59). Ainsi, les charpentiers pouvaient construire le nouveau navire selon la séquence de construction *charpente première*. Hasslöf voyait dans cet exemple une technique permettant d'entrevoir comment la transition entre *bordé à clin* et *bordé à carvelle*, y compris l'introversion de l'ordre d'assemblage, ait pu se produire au XV^e siècle, après l'ère viking. Son analogie ethnographique reste à ce jour une hypothèse souvent citée par les spécialistes, dont entre autres, Crumlin-Pedersen (1984, 1995), Casson (1994), Rieth (1989, 1996, 1998), Pomey (1994, 1998, 2004) et Olsen (1985).

1.2.3 L'emploi d'une structure temporaire dans l'installation des bordages

Hasslöf avait cependant remarqué quelques aides techniques utilisées par les charpentiers norvégiens pour guider l'assemblage des bordages à *clin*. Comme il a été expliqué précédemment, l'étape première de la séquence de construction *bordé premier* consiste à assembler la charpente axiale du navire, composée de l'étrave, de la quille et de l'étambot. La deuxième étape est le montage de chacun des bordages qui composent le bordé. Pour ce faire, le charpentier doit poser la première virure de chaque côté de la quille

et bien l'insérer dans la râblure, une entaille située le long de la quille. L'angle selon lequel ces premières virures sont posées est déterminant dans la conception de la forme finale du navire (Pomey 2004). Ainsi, afin de pouvoir ajuster aisément l'angle de ces premières virures et y apporter les corrections désirées en cours d'assemblage, les premiers bordages sont maintenus en place à l'aide d'un étau ou d'un serre-joint (*boat-cramp*) servant de structure temporaire dans la construction (figure 1.5). Les bordages peuvent donc être ajustés selon l'angle recherché. Une fois bien positionnés, ils sont cloués à *clin* (Hasslöf 1972: 43).

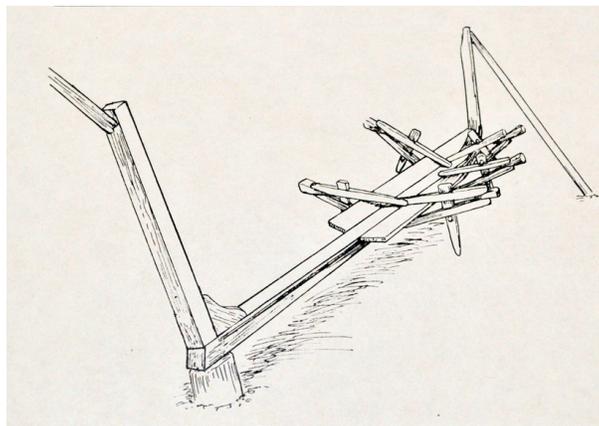


Figure 1.5 : Emploi de serre-joints dans l'installation des bordages. (Hasslöf, O. 1972)

L'emploi des serre-joints dépendait cependant de «l'œil» du charpentier. Hasslöf avait également observé une technique de contrôle de l'équilibre transversal du bordé, sans la pose préalable des membrures. En plus des serre-joints, il avait vu l'emploi de gabarits rudimentaires transversaux placés à deux ou trois endroits sur la longueur du navire. L'ensemble de ces dispositifs, enlevés avant la pose des membrures, permettait de contrôler de manière empirique la forme du bordé. De tels éléments temporaires formaient, selon Hasslöf, l'essentiel du système de contrôle transversal de la construction à *clin*. Sa proposition restait toutefois problématique, de sorte que plusieurs chercheurs aient tenté de l'étoffer, dont Patrice Pomey (2004).

1.3 La problématique de la conception architecturale des navires vikings

À l'instar d'autres chercheurs depuis la parution de la thèse d'Olof Hasslöf en 1972, ce mémoire s'intéresse à la question de la conception architecturale des navires à clin de la période comprise entre 700 et 1500 de notre ère. Selon Hasslöf, les techniques à *clin* et à *carvelle* correspondent à des méthodes de construction bien distinctes et qui se succèdent dans le temps avec une transition soudaine au XV^e siècle. Les navires vikings sont les archétypes de la construction à *clin* et, selon Hasslöf, ils étaient construits *bordé premier*. Depuis les travaux de Hasslöf, il est sous-entendu dans la notion de *bordé premier* que le bordé contient aussi, au sein du système architectural, le système de conception volumétrique de la carène.

Il est difficile de retracer l'origine de cette idée sur la conception des navires à clin. Pomey en a toutefois présenté l'essentiel lors d'un colloque en 1991 (Pomey 2004). Selon lui, la conception architecturale des navires vikings doit s'inscrire, être visible, se matérialiser dans les éléments «longitudinaux» de la carène, c'est-à-dire les bordages à clin. Cette idée de *conception longitudinale* calquée sur les pièces longitudinales de la carène, se voulait alors à l'opposé de la *conception transversale* calquée sur les pièces transversales, bien connue dans la construction à carvelle réalisée à l'aide de gabarits transversaux. Toutefois, aucune méthode de *conception longitudinale* n'a jamais été confiée à la postérité, ni aux historiens ni aux ethnologues, et aucune méthode n'a pu être restituée à partir des vestiges archéologiques. Soulignons que l'existence de cette méthode demeure alors hypothétique.

1.4 Une hypothèse sur la conception géométrique des navires vikings

Depuis les travaux de Hasslöf, les connaissances sur les modes de conception architecturale des navires ont grandement avancé. Les spécialistes, tel que Richard Barker (1998) et Éric Rieth (1998, 1999), observent l'apparition dans les traités de construction

navale à partir de 1430 d'un mode de conception géométrique fondé sur la forme des membrures. Ce système de conception architecturale, qui semble déjà être acquis au moment de sa documentation, est dit *transversal*, puisque ce sont les membrures transversales qui le matérialisent au sein de la structure du navire. Au XV^e siècle, ce mode de conception est associé à la construction *charpente première* et à l'assemblage des bordages dit à *carvelle* ou à *franc-bord*. Si ce système de conception navale existait déjà à la Renaissance, est-il possible de le trouver aussi dans les épaves scandinaves de l'ère viking ? Cela soulève alors la question suivante : est-ce que les navires construits à *clin* selon la méthode de construction *bordé premier* ont pu être conçus selon un *système transversal* ? Tout en proposant une origine pour le système transversal géométrique, cette hypothèse remet aussi en question l'existence d'un mode *longitudinal* de conception.

C'est dans l'ouvrage collectif d'Éric Rieth, *Concevoir et construire les navires*, que l'archéologue Patrice Pomey expose son hypothèse sur l'opposition construction bordé premier / conception longitudinale versus construction charpente première / conception transversale (Pomey 1998: 53). Selon Pomey, lorsque le bordé s'impose comme la structure initiale et dominante du navire, le système architectural de sa construction relève nécessairement d'une conception «sur bordé», soit *longitudinale*, dont la résistance mécanique repose dans les pièces composant la charpente axiale du navire. Selon l'hypothèse de Pomey, le charpentier pouvait modifier à son gré la forme de la carène en changeant l'angle de pose des bordages. L'assemblage des bordages s'effectue donc de façon à obtenir la forme du navire recherchée. La détermination de la forme de la coque et son contrôle empirique au fur et à mesure de la construction sont, selon Pomey, des caractéristiques essentielles de la construction *bordé premier*, et notamment la construction à *clin* scandinave.

En opposition à ce mode de conception, Pomey soutient que lorsque les membrures composant le squelette interne du navire sont montées en premier lieu, le système architectural de construction repose plutôt sur une conception *transversale*. Le constructeur

qui utilise la méthode de construction *charpente première* doit connaître à l'avance la forme des couples constituant le navire. Pour ce faire, il doit d'abord découper et assembler un grand nombre de membrures, et les mettre en place sur la quille avant de pouvoir visualiser physiquement la forme finale. Selon Pomey, «c'est sur ce point que réside la différence fondamentale de mentalité entre le constructeur antique qui visualisait sa coque par des éléments longitudinaux et le constructeur des époques ultérieures qui le fait par des éléments transversaux» (Pomey 1998: 53). Toutefois, bien que son hypothèse soit logique, il convient de noter chez Pomey l'absence d'un système de conception global, donnant une forme à l'ensemble de la carène à la manière du système transversal. Ceci nous amène à poser la question légitime: est-ce que Pomey a contre-vérifié son hypothèse, en testant la présence d'un *système transversal* chez certains navires antiques construits *bordé premier* ? C'est cette autre hypothèse qui sera abordée dans ce mémoire, où sera testée la présence du système de *conception transversale* sur cinq navires construits *bordé premier*, méthode de construction généralement associée à une *conception longitudinale*.

Il existe dans plusieurs traités de construction navale du XVI^e siècle, dont ceux de Mathew Baker (1580), João Baptista Lavanha (1598-1620) et de Fernando Oliviera (1570), un système géométrique de conception navale qui traduit un lien direct entre les mathématiques, la géométrie et l'architecture navale. À l'époque, les nouvelles possibilités scientifiques amènent les architectes à exprimer formellement la forme de la carène des navires selon un système géométrique d'arcs de cercle tangentiels. Si l'expression sur papier de ce système est nouvelle à la Renaissance, son ancienneté et son origine ne sont pas connues, et seule l'analyse des vestiges archéologiques est susceptible de nous renseigner à cet effet. Notre étude portera sur cet aspect de la construction navale, à savoir si la conception architecturale des navires vikings se faisait selon les mêmes principes de construction décrits dans les textes des XVI^e et XVII^e siècles. Sachant que les Vikings ne pratiquaient pas l'écriture avant leur christianisation vers 950 après J.-C., leur usage du système géométrique témoignerait donc de leur participation à une transmission orale et visuelle d'un savoir technique donné. Cette hypothèse suppose une intégration profonde de

la société viking aux réseaux de savoir européens, à une époque avant l'entrée des Vikings dans l'histoire écrite.

À l'aide des méthodes d'analyse archéologique développées depuis les années 1990, il est possible de vérifier si les navires vikings doivent leur forme caractéristique à la maîtrise d'un système de conception architecturale souvent dite *transversale* et ce, même dans les cas de primauté structurale du bordé longitudinal dans les navires à clin. Par le biais des dessins techniques et des plans publiés se rapportant aux épaves choisies pour le corpus, notamment par l'analyse du maître-couple de ces navires, nous proposons de démontrer que le système géométrique des arcs de cercle décrit dans les traités de navigation des XVI^e et XVII^e siècles fut employé dans la conception architecturale des navires scandinaves construits entre 400 et 1100 après J.-C.

1.5 La démarche scientifique : d'une approche conceptuelle à une méthode d'analyse

Notre démarche visant à démontrer l'existence du système géométrique dans la conception des navires vikings a débuté par la collecte de données concernant la conception architecturale des navires scandinaves médiévaux, c'est-à-dire sur la forme et les dimensions de la carène, les proportions de la charpente axiale, le système géométrique du maître-couple et l'évolution de ce dernier dans les autres membrures. Nous avons tenu compte des données liées aux techniques de construction comme le mode d'assemblage du bordé, les caractéristiques du système de liaison et de clouage, ainsi que le choix des essences forestières et des matériaux utilisés pour le calfatage des navires. L'analyse de ce corpus, tiré des ouvrages publiés sur trois épaves vikings et deux autres épaves plus anciennes, constitue le cœur de ce mémoire. Elle a été menée à la lumière de concepts sur le savoir nautique et en particulier sur l'architecture navale.

1.5.1 L'application du système géométrique à la conception des navires vikings

La méthodologie de recherche consiste à faire l'analyse de dessins techniques représentant les formes architecturales de la carène de cinq épaves, selon le profil du maître-couple de chacun de ces navires. Il s'agit d'analyser le maître-couple et la forme de la carène selon le système de conception géométrique documenté aux XVI^e et XVII^e siècles et mis en évidence par Éric Rieth (1996, 1998), Richard Barker (1998) et Brad Loewen (1998, 2007). L'analyse soulève les parallèles entre les méthodes de conception architecturale employées par les Vikings et les méthodes décrites dans les traités de navigation aux XVI^e et XVII^e siècles. L'analyse des carènes vikings sera effectuée à partir de dessins techniques tirés de publications scientifiques. La collecte de données et le travail d'analyse seront donc réalisés à partir de données déjà existantes, disponibles en bibliothèque ainsi qu'au laboratoire d'archéologie historique de l'Université de Montréal. Les principes géométriques du système de conception transversale seront expliqués dans le quatrième chapitre, ainsi que le procédé pour vérifier l'usage de ce système dans les vestiges archéologiques d'un navire.

1.6 Les sources archéologiques à l'étude

Les navires vikings dont les vestiges sont assez complets pour être utilisables dans le cadre de cette recherche demeurent peu nombreux. Seule une douzaine de navires reconstitués datant de l'âge viking sont assez bien conservés pour pouvoir obtenir une idée précise de leurs dimensions et de leurs particularités architecturales. De ce nombre, nous en avons retenu trois dont la reconstitution fut réalisée le plus fidèlement possible, soit le navire de Gokstad et les navires de Skuldelev 1 et 2. À mesure que l'analyse a progressé, nous avons observé le besoin de chercher l'origine de nos découvertes dans des épaves provenant d'une époque plus lointaine, et nous avons élargi notre corpus à deux navires plus anciens, soit le navire antique de La Madrague de Giens et le navire pré-viking de Nydam. Nous les présentons ici dans l'ordre chronologique.

La première épave à l'étude est l'épave antique retrouvée à La Madrague, dans la péninsule de Giens en Provence. Ce grand navire marchand, construit par les Romains au I^{er} siècle après J.-C., demeure le témoin tangible d'une technique particulière aux charpentiers navals de la Méditerranée antique. Son inclusion au sein du corpus permet de vérifier l'étendue spatiotemporelle du système de conception architecturale décelé dans les navires vikings.

La deuxième épave du corpus a été découverte au Danemark et date du IV^e siècle après J.-C. Le navire de Nydam, même s'il n'appartient pas au style des navires vikings, est souvent considéré comme l'ancêtre direct des navires vikings du Moyen Âge. Sa construction est à cheval entre celle des navires «cousus» de l'Âge de bronze atlantique et celle des navires à clin des Vikings. Cette embarcation à rames est exposée au Musée national du Danemark à Copenhague.

Le navire de Gokstad, exposé au Viking Ship Museum de Bygdøy en Norvège, est la troisième épave à l'étude. Construite selon la séquence bordé premier, cette barque funéraire appartient à la tradition viking à l'apogée de son développement technique. Fabriquée au tout début du X^e siècle, elle fut retrouvée intacte en 1880 dans un tumulus près du fjord d'Oslo en Norvège.

Les deux dernières épaves à l'étude sont celles de Skuldelev 1 et de Skuldelev 2. Ces épaves font partie d'un regroupement de navires du XI^e siècle, retrouvés dans le fjord de Roskilde au Danemark. Les dessins publiés de ces navires se prêtent adéquatement à notre analyse. Même si seulement 25 % de l'épave de Skuldelev 2 fut préservée, les portions critiques de ce *drakkar* sont assez complètes. Assemblés à clin selon la séquence de construction bordé premier, ces deux embarcations de près de 13 mètres de longueur étaient propulsées à la voile et à la rame. Les navires de Skuldelev 1 et 2 complètent l'image des réalisations architecturales issues de l'espace scandinave vers la fin de la période viking.

Chapitre 2 La Scandinavie : le contexte socioenvironnemental des navires vikings

Avant de procéder à l'analyse des navires vikings, il convient de les situer dans leur contexte environnemental et social. Ce faisant, nous considérons également certaines frontières culturelles déterminées par des «zones de transport» (Westerdahl 1998). En plus de refléter le milieu physique naturel, ces frontières culturelles délimitent une région de techniques nautiques qui se manifeste dans le style d'architecture navale observable chez les navires vikings. L'idée de zones de transport permet de relier des formes archéologiques précises, soient les épaves, à un espace géographique maritime en particulier, et ce, à travers la distribution spatiale des artefacts. Les voies maritimes et l'organisation du transport, visibles archéologiquement, sont donc l'expression de l'évolution des pratiques sociales et des traditions scandinaves.

La Scandinavie regorge de fjords et de vallées qui furent autrefois creusés par le retrait des glaciers. Constituant un environnement idéal pour le développement d'un système de transport maritime, ces voies naturelles de déplacement ont servi d'axes d'implantation et de communication aux populations ayant occupé le territoire. «*Transport is relatively easy, and expanses of sea or deep penetrating rivers are links in communication rather than barriers*» (Graham-Campbell 1972: 17). L'ensemble des pays formant l'actuelle Scandinavie, soit la Norvège, le Danemark et la Suède, peut être vu comme un vaste réseau d'interaction reliant routes et passages maritimes, à l'intérieur duquel le navire voyage en roi et maître et deviendra ultérieurement le symbole de l'ère viking. Ces territoires ont donc offert un environnement maritime propice au développement d'une tradition navale particulière, fortement ancrée dans le mode de vie des peuples scandinaves.

2.1 La Scandinavie : géographie et environnement

La géographie et le paysage de la Scandinavie ont été façonnés par la force des glaciers qui ont recouvert la région jusqu'à la fin du dernier âge glaciaire, il y a quelques 13 000 ans. Le retrait des glaciers révéla de profondes vallées dans la chaîne de montagnes centrale qui forme la frontière naturelle entre la Norvège et la Suède. Suivant la montée des océans, les nombreuses vallées furent inondées et devinrent les magnifiques fjords qui dominent le paysage et modèlent aujourd'hui les 20 000 kilomètres de rivage appartenant à la péninsule scandinave. «*Extensive chains of offshore islands provided sheltered channels for hunting, fishing, traveling, and settlement. The later distribution of human settlement was largely determined by the geological patterns set by the retreating ice*» (Fitzhugh 2000: 31). Le peuplement initial du territoire fut donc grandement influencé par la topographie du paysage et la distribution spatiale des terres fertiles. Sur le littoral sud de la Scandinavie et sur les terres bordant la mer Baltique, les principaux lieux d'établissements se situent dans les zones côtières, à l'intérieur des fjords où les ressources maritimes abondent (figure 2.1).

De nombreux facteurs doivent être pris en considération dans la tentative de reconstitution de l'environnement scandinave durant l'époque viking, qui se situe entre 700 et 1200 après J.-C. La faune et la flore, de même que les stratégies de subsistance qui en dépendent, variaient considérablement d'une zone écologique à l'autre. L'organisation de la vie économique était donc conditionnée par l'existence d'un écosystème particulier mais variable dans l'espace (Foote 1980 : 146). Tandis que le Danemark et le sud de la Suède sont couverts de feuillus, la forêt comporte de nombreux résineux en Suède et dans le sud de la Norvège. La toundra règne dans les terres nordiques de la Norvège, alors que dans le nord de la Suède une dense forêt de conifères recouvre le sol, sauf à l'intérieur des terres boréales et montagneuses où on retrouve des zones de pergélisol (figure 2.2).



Figure 2.1 : La Scandinavie et la Baltique orientale à l'époque viking : colonies et sites d'épaves.(Merrony, Mark, 2004)



Figure 2.2 : Carte de la végétation en Scandinavie. (Graham-Campbell, James. 1994)

2.2 La société et la culture viking

C'est à la société scandinave du VII^e siècle que l'on doit l'origine du phénomène viking. Le terme viking se rapporte au vieux norrois *vik*, qui signifie «baie» ou «crique» (Allan 2002 : 18). Pour comprendre l'entité socioculturelle des Vikings, on doit la situer dans l'Europe de son époque. Au cours du VIII^e siècle, la christianisation et l'organisation politique des Francs mettent en place les bases de l'empire de Charlemagne en France, en Belgique et en Allemagne. Si ce Saint Empire Romain est allié à l'Italie et à l'Église romaine, il fait face à des résistances sur ses autres frontières. En Espagne les émirats musulmans bloquent l'expansion des Francs, à l'est les peuples slaves constituent une frontière floue, et dans les îles britanniques les rois anglo-saxons tolèrent l'établissement de monastères chrétiens. Au nord, la culture viking païenne participe au commerce à l'échelle européenne mais résiste à la poussée des Francs et leurs alliés, les divers ordres monacaux chrétiens (Allan 2002 : 8). Cette ambiguïté explique les perceptions très divergentes qui existent sur les Vikings, tantôt comme un peuple paisible de commerçants à long cours, tantôt comme des barbares nordiques déferlant sur les avant-postes de la civilisation chrétienne européenne.

Durant l'époque viking, les régions du nord de l'Europe étaient reliées entre elles grâce à la navigation, ce qui permit un développement efficace des voies de communication et des capacités de transport sur de longues distances. Dès la fin du VII^e siècle, un espace commercial étendu, centré sur la mer du Nord, a été mis en place entre l'Occident et le monde nordique. Cet espace englobait la Scandinavie et s'étendait aux territoires entourant la mer Baltique, où les marchands se procuraient les produits recherchés en Occident (Allan 2002 : 12). Les comptoirs commerciaux, véritables lieux de transit pour les marchandises et la main d'œuvre, renforcèrent la structure et l'efficacité des routes commerciales. Les divers lieux d'échange, se situant pour la plupart le long des routes marchandes terrestres et maritimes, constituaient des endroits propices à la circulation de l'information à l'intérieur d'un vaste réseau d'interaction (figure 2.3). Ribe, ville danoise fondée vers 700, Birka, la

toute première ville de Suède bâtie durant le IX^e siècle, ainsi que Hedeby ou Haithabu, le centre de l'économie scandinave médiévale située dans le sud de la péninsule du Jutland, appartenant aujourd'hui au nord de l'Allemagne, sont quelques exemples de ces lieux d'échange stratégiques (Graham-Campbell 1994 : 80). Ces établissements côtiers étaient plus que de simples comptoirs commerciaux ; au IX^e siècle, ils étaient déjà de véritables villes portuaires dont l'importance fut des plus significatives dans le développement économique et politique du Nord-Ouest européen (figure 2.4).

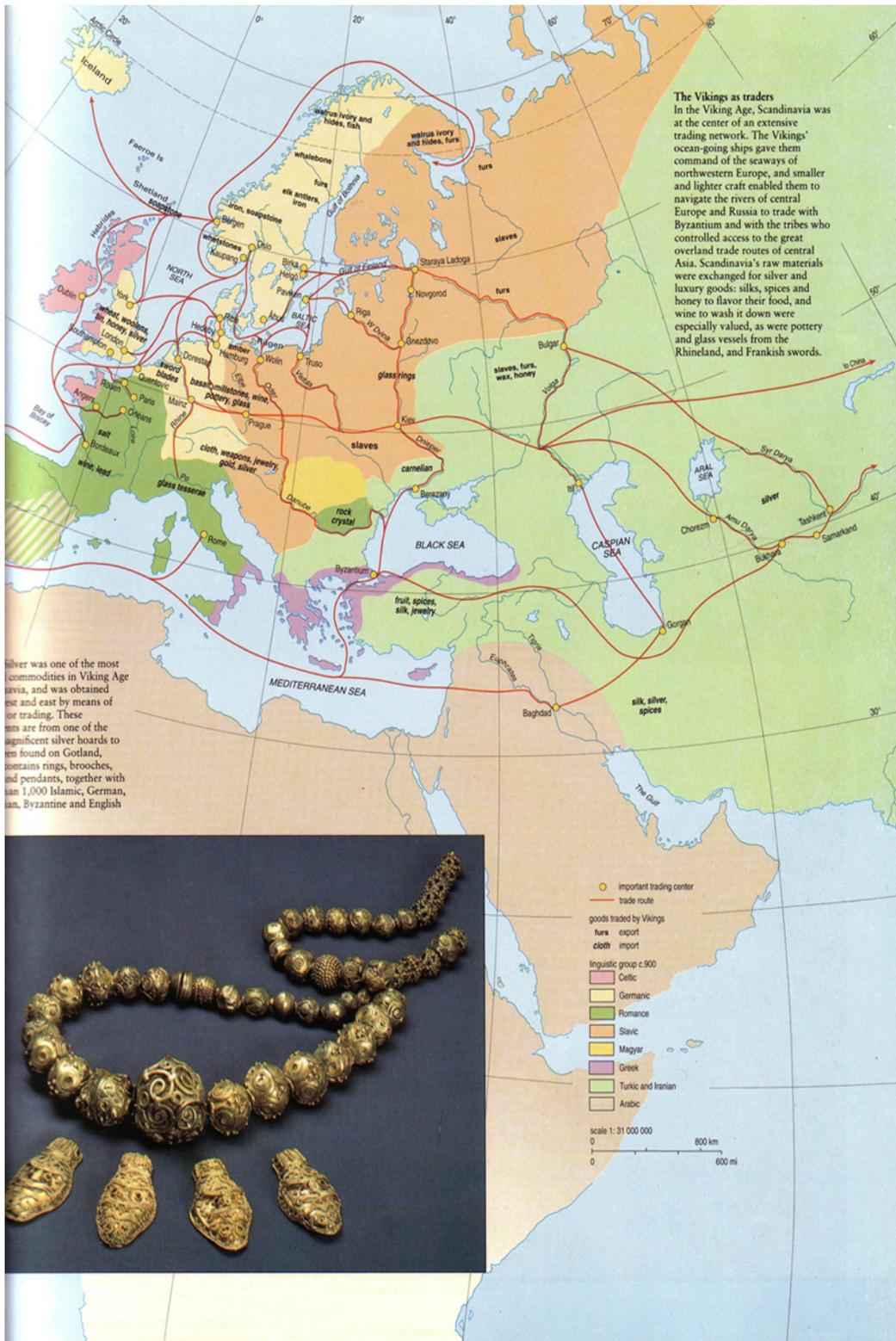


Figure 2.3 : Distribution des routes commerciales et des réseaux d'échanges utilisés par les Vikings. (Graham-Campbell, James. 1994)



Figure 2.4 : Centres de production artisanale en Scandinavie du IX^e au XI^e siècle.
 (Graham-Campbell, James. 1994)

Des biens comme de l'argent et de la soie furent importés à Hedeby depuis l'est via la mer Baltique et échangés contre des produits de l'Europe de l'Ouest, dont du vin et des pierres de lave. Les fouilles révélèrent une grande diversité d'activités artisanales, incluant une production de métal, d'os, d'ambre, de verre et de poterie (Merrony 2004 : 71).

Hedeby, ville fondée vers 750, prospéra jusqu'au XI^e siècle et après avoir été mis à sac à deux reprises, sombra dans un déclin inexorable. Le site, qui se concentre à l'embouchure d'un fjord et donne sur la mer Baltique, a révélé de nombreux témoins archéologiques qui ont permis d'estimer l'importance économique de Hedeby. Certains artefacts mis au jour, tels des peignes et des bijoux provenant de l'arrière-pays, montrent l'étendue des contacts et des liens commerciaux que les marchands entretenaient (Merrony 2004 : 70). La diversité de la culture matérielle et la présence d'un chantier naval reflètent aussi les activités artisanales et commerciales de la ville, tout en indiquant l'établissement d'un réseau d'échange avec des régions éloignées. Ces lieux de transit pour les marchandises et la main d'œuvre renforcèrent la structure et l'efficacité des routes commerciales. Les liens instaurés entre ces différentes villes ont préparé et favorisé la prospérité de l'ère viking.

Les vestiges archéologiques de l'époque viking attestent de l'existence d'une société bien structurée, ainsi qu'une formidable capacité d'adaptation à de nouveaux environnements. Ils montrent une société militarisée et organisée autour de quatre activités principales: le travail de la terre, la pêche, le commerce et les expéditions guerrières. La cohésion et la mise en pratique de ces divers types d'activité nécessitaient une organisation sociale bien gérée, entre autres pour alterner la saison des récoltes et celle plus propice aux expéditions des mercenaires (Fitzhugh 2000 : 42).

2.3 Le climat scandinave au Moyen Âge

L'accès aux forêts et la qualité du bois furent des facteurs déterminants dans le développement de la construction navale. Au cours de leur histoire, les humains ont su tirer de la forêt une matière première idéale pour réaliser leurs créations architecturales. La place dominante du bois dans la construction navale n'est pas à débattre. Aucun autre matériau n'offrait un tel amalgame de qualités recherchées dans la construction navale. Toutefois, les navires vikings construits de grumes de chêne de grande dimension, semblent peu compatibles avec le couvert forestier actuel de la Scandinavie. Certains chercheurs se sont donc interrogés sur la possibilité d'un climat plus doux au Moyen Âge et ses effets sur les ressources forestières de l'époque (Ladurie 1967, Esper 2002).

2.3.1 La reconstitution du paléoclimat et l'Optimum climatique médiéval

L'Optimum climatique médiéval décrit une période de réchauffement du climat survenue au Moyen Âge. L'étude des conditions climatiques du passé est devenue un centre d'intérêt majeur pour les scientifiques contemporains. En lien avec le réchauffement climatique que nous connaissons aujourd'hui, les recherches sur le climat des mille dernières années viennent éclaircir la compréhension que nous avons de ces changements et apportent ainsi une vision plus concrète des projections climatiques futures. Les observations directes montrant les changements climatiques à grande échelle, comme le rendement des productions agricoles, la variation des masses d'air terrestre et maritime et les températures de surface des océans, ne sont disponibles que pour les cent-cinquante dernières années. Estimer les variations de température survenues à l'intérieur d'une période de plus de mille ans nécessite l'emploi d'observations indirectes, dites proxies, pouvant entreposer les données paléoclimatiques et constituant donc des archives naturelles.

La reconstitution de l'histoire du climat relève alors d'indices indirects, tels que les sédiments lacustres et océaniques, le pollen, les cernes annuels de croissance des arbres, de même que la composition isotopique de la neige, des coraux et des stalactites (Crowley 2000 : 270). La dendroclimatologie constitue l'une de ces méthodes biologiques dont les sources proviennent d'archives naturelles. Les anneaux de croissance annuelle des arbres ont en eux-mêmes une valeur climatologique. Chaque cerne est le reflet de l'histoire des conditions météorologiques qui ont présidé à sa formation. En comparant les variations de largeur des cernes avec les statistiques relatives à différentes conditions climatiques, les spécialistes réussissent à dégager les facteurs climatiques ayant généré un type de cerne (Burroughs 2000 : 63). En intégrant les données météorologiques de l'année où il a grandi, le cerne donne en quelque sorte un profil climatique de cette même année.

Le concept d'Optimum climatique médiéval (*Medieval Warm Period*) fut proposé par H. Lamb en 1965. Par le biais de faits historiques et de données paléoclimatiques recueillies en Europe occidentale, Lamb a pu observer des indices révélateurs d'une époque, vers 1100-1200, où les saisons étaient particulièrement clémentes (Bradley 2003: 404). Au cours des mille dernières années, d'importantes fluctuations climatiques ont bouleversé l'équilibre écologique de plusieurs zones de l'hémisphère nord. Par exemple, entre le X^e et le XIII^e siècle, les terres baignées par l'Atlantique Nord ont connu une période de réchauffement climatique pendant laquelle les températures étaient supérieures en moyenne de 0,2° à 0,8° Celsius à celles que l'on connaissait dans les années 1960 (Ladurie 1967: 62). Cette période clémente dans l'histoire du climat aurait permis aux Vikings de coloniser le sud du Groenland, libre de glace et donc facile d'accès à cette époque. À partir du XIV^e siècle, les saisons se refroidissent et apparaît tranquillement la période du Petit âge glaciaire, qui dura jusqu'au milieu du XIX^e siècle (Burroughs 2000 : 120). Les toiles de certains artistes ont immortalisé la neige, la glace et les jeux d'hiver dans les campagnes européennes aujourd'hui plus chaudes. Depuis la fin du Petit âge glaciaire, on assiste à un réchauffement progressif des températures. L'histoire du climat est en soi une science multidisciplinaire : elle a besoin de la géographie, de la climatologie, de la géologie, de la

météorologie, de l'archéologie, de la dendrochronologie et de la glaciologie. «Le climat est une fonction du Temps ; il varie ; il est sujet à des fluctuations ; il est objet d'histoire» (Ladurie 1967: 12).

2.3.2 L'incidence des variations climatiques sur les forêts médio-tempérées

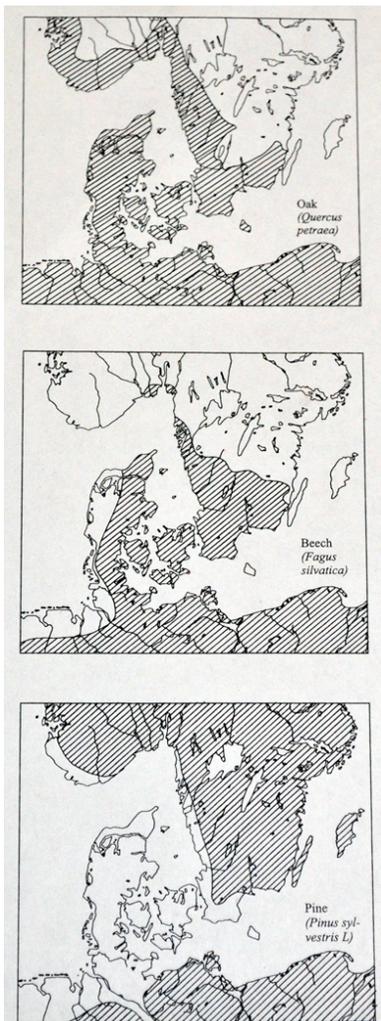


Figure 2.5 : Zones optimales de croissance du chêne, du hêtre et du pin. (Crumlin-Pedersen, Ole. 1997)

Les fluctuations climatiques ont aussi des répercussions sur le développement des ressources forestières. Un léger refroidissement en haute latitude peut occasionner un grave ralentissement de la croissance des arbres. Tout comme de nombreux mammifères, les arbres colonisent et abandonnent les zones géographiques limites qui sont plus fortement influencées par des variations climatiques. Chaque espèce affiche un meilleur taux de rendement et de régénéscence à l'intérieur de sa zone optimale de croissance. Par exemple, le pin sylvestre, une espèce utilisée dans la construction navale du XVI^e au XIX^e siècle, pousse facilement dans les pays nordiques comme la Norvège, alors que le chêne démontre une meilleure croissance dans les pays de la mer Baltique et dans le sud de la Scandinavie (figure 2.5). La distribution naturelle du pin sylvestre se trouve pratiquement à l'opposé de celle du chêne privilégié par les Vikings, à l'exception des littoraux bordant le sud de la Norvège et l'ouest de la Suède, où les deux espèces cohabitent. L'aire de distribution naturelle des espèces forestières semble avoir influencé le choix des essences employées dans la construction navale.

Par sa force et sa durabilité, le chêne était l'espèce prisée pour la construction navale scandinave. La sélection de cette essence impliquait toutefois une couverture forestière suffisamment abondante et diversifiée pour permettre un tel choix. De plus, à cause de la variabilité climatique des régions, le chêne n'était pas disponible partout. En Norvège par exemple, où les forêts de pin sylvestre sont maîtres dans le paysage, l'utilisation de ce bois semblait dominer dans la construction navale. Le navire Skuldelev 1, entièrement construit en pin à l'exception de la quille taillée dans un fût de chêne, témoigne bien de ce constat. Il semble donc que le pin ait été employé dans la construction navale scandinave comme premier choix dans les endroits où cette essence forestière était abondante. Dans d'autres cas, comme à Hedeby au Danemark, le chêne a été utilisé de façon intensive pour la construction navale, portuaire et résidentielle. Son usage massif provoqua une pénurie de cette ressource dans la région danoise, amenant les charpentiers navals d'Hedeby à construire les navires à partir de pièces de chêne réutilisées et d'un mélange opportuniste d'essences forestières disponibles à proximité, tels que le pin et le hêtre (Crumlin-Pedersen 1999 : 181).

Entre 900 et 1300 après J.-C., durant l'Optimum climatique médiéval, plusieurs régions de l'hémisphère nord connaissent des températures beaucoup plus clémentes, similaires à celles que nous vivons depuis les années 2000 (Esper 2002 : 2250). Cette période de réchauffement climatique a probablement eu un impact sur la distribution des essences forestières médio-tempérées en déplaçant plus au nord leurs zones optimales de croissance. L'hypothèse d'une extension nordique des forêts médio-tempérées pendant l'Optimum médiéval semble très probable. Le développement des arbres dépend fortement de la répartition saisonnière de la température, de la luminosité et de l'apport en eau. Si les températures étaient plus douces et plus sèches durant l'Optimum médiéval, les différentes espèces végétales et animales adaptées à un climat plus frais ont dû se déplacer vers des latitudes plus tempérées afin de retrouver un écosystème confortable et propre à leur besoin.

2.4 La chaîne opératoire du bois dans la construction navale scandinave

Le bois comme matière première demeure essentiel à toute étude traitant du transport maritime. Les multiples essences de bois offrent chacune des propriétés différentes, que ce soit au plan de la densité du grain ou de la durabilité. Certaines espèces se prêtent donc mieux à certains usages particuliers. Lors des découvertes archéologiques, la présence du bois semble dominer dans les contextes d'habitat et de transport. La consommation du bois pour la construction navale ne représente que l'une des phases de la chaîne opératoire du bois. Les chantiers maritimes se sont établis à l'embouchure des artères fluviales afin de se procurer plus facilement et à moindre coût la matière première acheminée par flottage (Izzara 1993: 151). Les navires voyagent. Ils sont issus de la forêt mais meurent ailleurs. Le lieu de découverte d'un navire peut donc être très loin de son lieu de fabrication initial. La consommation du bois dans la construction navale fait de lui un matériau dynamique, circulant par le support du transport maritime.

2.4.1 Une extraction sélective

Dans la forêt, l'extraction du bois s'effectuait de manière sélective, où chaque arbre était choisi individuellement à l'intérieur d'une variété d'espèces disponibles dans une région. De nombreuses espèces caducifoliées ont été utilisées dans la construction navale du nord-ouest de l'Europe. Toutefois, la prédominance du chêne dans la construction navale est très visible archéologiquement. Sa longévité et sa solidité ont fait de lui l'espèce la plus recherchée dans presque toute l'Europe : «... *oak seems to have been preferred for the main structural elements whenever it was available, from the mid-second millennium BC Ferriby boats to the early fifteenth-century ship Grâce de Dieu and later*» (McGrail 1987: 26). Certaines essences forestières conviennent donc mieux que d'autres à une fonction précise. À l'intérieur d'une même espèce, les arbres varient aussi entre eux en fonction des conditions affectant leur croissance, dont la composition du sol, les infestations d'insectes

et la fréquence des précipitations. L'arbre était choisi pour son essence, mais il était aussi sélectionné pour sa forme pouvant correspondre à une pièce spécifique du navire (Crumlin-Pedersen 1999 : 180). Par exemple, un long fût bien droit était parfait pour la quille, alors que les branches courbées étaient choisies pour façonner les membrures. De nombreuses pièces du navire viking, comme celles composant la charpente axiale par exemple, devaient être fabriquées d'une seule pièce de bois, afin de leur assurer une plus grande résistance contre les tensions et ainsi, augmenter davantage la force longitudinale du navire.

2.4.2 Débitage et préparation

L'arbre, de préférence un chêne au tronc bien élancé, est défait de sa couronne et de ses branches principales avant d'être abattu. Le débitage s'effectue aussitôt, car le bois a l'avantage d'être encore vert et donc plus facile à travailler. Le tronc doit être fendu dans le sens de la longueur. Pour effectuer cette tâche ardue, une légère fente est d'abord travaillée à la hache, dans laquelle sont insérés des coins en bois qui n'endommagent pas les fibres du bois. À l'aide de ces coins et d'une

masse, le fût est donc fendu en longueur. «*Examination of the grain of excavated vessel components provides information about the selection and conversion of timber*» (Hutchinson 1994:21). L'orientation radiale des planches, débitées en suivant la direction des fibres,

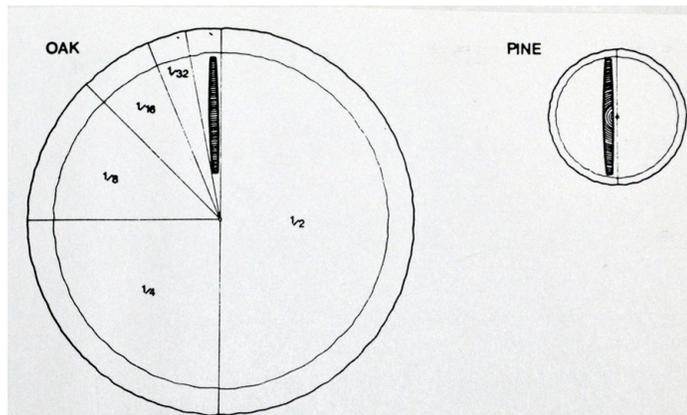


Figure 2.6 : Équarrissage du fût pour faire les bordages. (McGrail, Sean. 1987)

permet de garder la force naturelle du bois. Une fois fendu en deux, le tronc est divisé radialement en quarts, en huitièmes et en seizièmes, de façon à obtenir la largeur recherchée pour les bordages avant le dégrossissage (Hocker 2004 : 54) (figure 2.6). Les planches ainsi obtenues sont ensuite dénudées de l'écorce et de l'aubier, pour ne garder que le duramen où

la sève ne circule pas. La surface de chaque planche est travaillée à la hache et à l'herminette. Cette technique requérait davantage d'heures de travail, mais assurait ainsi la force et la résistance du grain naturel du bois (Lemée 2002 : 186). «Le mode de débitage par fendage exclusivement pour toutes les pièces du bordé représente un atout supplémentaire de renfort. En effet, le bois fendu dans le sens des fibres garde toute sa résistance et sa souplesse» (Rieth 1989 : 36).

2.4.3 La boîte à outils du charpentier naval

Les Vikings étaient d'habiles charpentiers et d'excellents menuisiers. L'étude des épaves de l'ère viking n'a révélé aucune trace d'utilisation de la scie avant le XIII^e siècle,

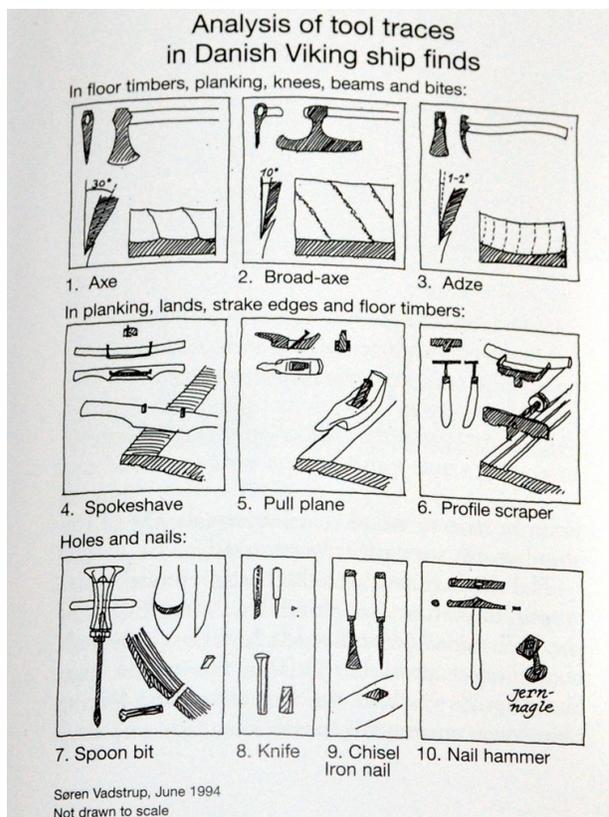


Figure 2.7 : Outils utilisés dans la construction des navires vikings. (Vinner, Max. 2002)

période correspondant avec la construction massive des cogues médiévales (Hutchinson 1994 : 21). Le bois, au travers des étapes successives de la chaîne opératoire, était travaillé à l'aide de plusieurs types d'instruments en fer forgé : hache, herminette, doloire, foret, gouge, rabot, couteaux et ciseaux à bois, marteau, masse et bien d'autres encore. Les études tracéologiques effectuées sur les vestiges des épaves ont révélé que certains outils étaient employés pour des travaux spécifiques (figure 2.7). Par exemple, trois types de hache étaient principalement utilisés dans la construction navale viking. «The cutting axe was used for felling, cutting, and cleaving trees. The broad axe

was specially designed for hewing the sides of timbers or planks. The hand axe was for the smaller, delicate jobs» (Gardiner 1994 : 154). La hache servait donc aussi bien à abattre les arbres qu'à les débiter en planches et à les dégrossir. Plusieurs outils entraient dans la fabrication des gournables. Un genre de marteau avec un trou tranchant en son centre servait à les tailler, alors que les ciseaux à bois faisaient la finition. L'herminette était utilisée pour guider le perçage des gournables sur les bordages, à l'aide d'un trou en forme de triangle. Le foret avec une pointe en forme de cuillère, servant à percer les trous des gournables et des rivets de fer, s'opérait à bout de bras comme un vilebrequin ou avec le poids du torse (Hutchinson 1994: 22) (figure 2.8).



Figure 2.8 : Utilisation du foret à l'aide du torse. (Friel, Ian. 1995)

L'étude des traces laissées par les outils utilisés dans la construction des navires vikings, combinée aux représentations iconographiques telle que la Tapisserie de Bayeux, représente d'importantes sources d'informations mettant en évidence des connaissances acquises par les Vikings sur le matériau bois et sur le milieu maritime et forestier (figure 2.9). Les traces d'outillage ont permis d'éclaircir certaines étapes dans la chaîne opératoire du bois dans la construction navale, telle que l'extraction sélective des espèces forestières et l'utilisation dominante de la hache dans les phases de débitage et d'équarrissage. Grâce à leur aptitude à percevoir l'aspect final des pièces de leurs navires dans les formes naturelles des arbres, les Vikings ont su extraire de leurs forêts la matière première dont ils avaient besoin et ce, de façon économique et sélective.

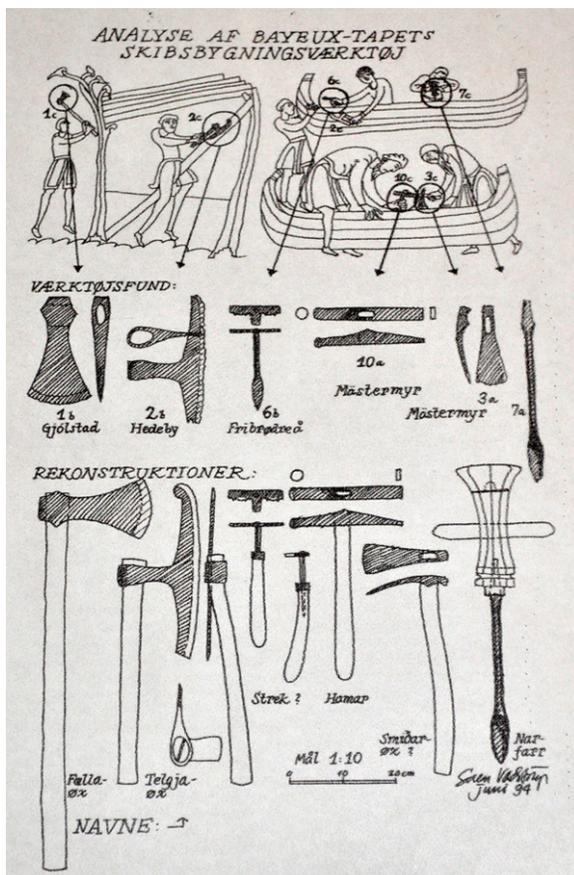


Figure 2.9 : Outils de charpentier illustrés dans la représentation de la Tapisserie de Bayeux. (Crumlin-Pedersen, Ole. 1997)

Lorsque les données archéologiques sont assez détaillées pour effectuer des analyses complètes de la structure d'une coque viking, il apparaît clairement que la sélection du bois de construction était basée sur plusieurs facteurs, comme la forme de la carène, la disponibilité et la proximité des ressources, les circonstances économiques, ainsi que l'expertise et les préférences du charpentier naval. Ces différents facteurs ont donc un impact sur le design architectural et sur la construction navale en soi (Steffy 2000 : 263).

Chapitre 3 Présentation des épaves à l'étude

Depuis la fin du XIX^e siècle, une quarantaine de navires de plus de 10 mètres furent découverts en Scandinavie, datant du VII^e au XII^e siècle. Malheureusement, il n'existe pas plus d'une douzaine de navires scandinaves dont la reconstitution et les plans furent publiés. Encore moins de navires reconstitués datant de l'âge viking possèdent un degré suffisant de conservation permettant d'effectuer les analyses architecturales préconisées dans ce travail. Considérant que la qualité de préservation des vestiges est une donnée fondamentale pour l'évaluation de la fiabilité des relevés, des reconstitutions et évidemment des analyses effectuées dans le cadre de ce mémoire, nous avons dû procéder à une sélection rigoureuse des vestiges offrant une documentation assez complète et accessible traitant de la forme initiale de leur coque. Ces navires vikings, au nombre de trois, sont les épaves de Gokstad (895 ap. J.-C.), de Skuldelev 1 (1030) et de Skuldelev 2 (1042). En cours d'analyse, nous avons ajouté deux épaves supplémentaires au corpus, provenant d'une époque antérieure à celle des Vikings, afin de vérifier l'étendue spatiotemporelle du système architectural observé dans ces trois premiers navires. Ainsi, l'épave de La Madrague (65 av. J.-C.) et celle de Nydam (310 ap. J.-C.) complètent le corpus à l'étude. Soulignons toutefois que ces deux épaves pré-vikings constituent à elles seules un échantillon trop petit pour mener à des propositions solides concernant le rayonnement géographique et l'origine temporelle du système architectural. Cet aspect de la recherche demeure donc exploratoire. Enfin, les cinq épaves composant le corpus seront présentées dans ce troisième chapitre suivant l'ordre chronologique de leur date de construction.

3.1 L'épave de La Madrague de Giens

L'épave de La Madrague de Giens est le plus ancien navire de notre corpus et le seul situé à l'extérieur de l'espace scandinave. Ce vestige méditerranéen de l'époque romaine constitue pour nous un témoin potentiel du partage du savoir maritime entre les espaces méditerranéen et scandinave.

Découverte en 1967 dans le port français de La Madrague, situé dans la presqu'île de Giens près de Toulon, cette épave romaine reposait à environ 20 mètres de profondeur sous une épaisse couverture d'algues. De 1972 à 1982, après onze saisons de fouilles sous la direction de Patrice Pomey et d'André Tchernia du CNRS, l'épave a été mise au jour dans sa totalité. Une imposante cargaison de 6000 à 6500 amphores de vin provenant de la région de Terracina, au sud de Rome, reposait à l'intérieur de l'épave. Des caisses de céramique à glaçure noire de style *campania*, ainsi que des pièces de monnaie et du mobilier domestique furent retrouvés dans la zone de la cabine près de l'étambot à l'arrière du navire. L'analyse du mobilier de bord fournit une datation aux alentours de 65 à 70 avant J.-C. Grâce à l'excellent état de conservation du vestige, les chercheurs ont pu restituer les dimensions de la coque de façon assez précise : 40 mètres de longueur sur 9 mètres de largeur pour une hauteur de 4,5 mètres (McGrail 2001 : 155). Ces fortes dimensions donnent au navire un tonnage d'au moins 400 tonnes, pouvant aller jusqu'à 500 tonnes. Avec une telle capacité, l'épave de La Madrague de Giens était l'un des plus gros navires marchands de l'Antiquité ayant voyagé sur la Méditerranée, connu sous le nom de *myriophoroi*, qui peut se traduire par «navire pouvant transporter 10 000 amphores» (Delgado 1997 : 252).

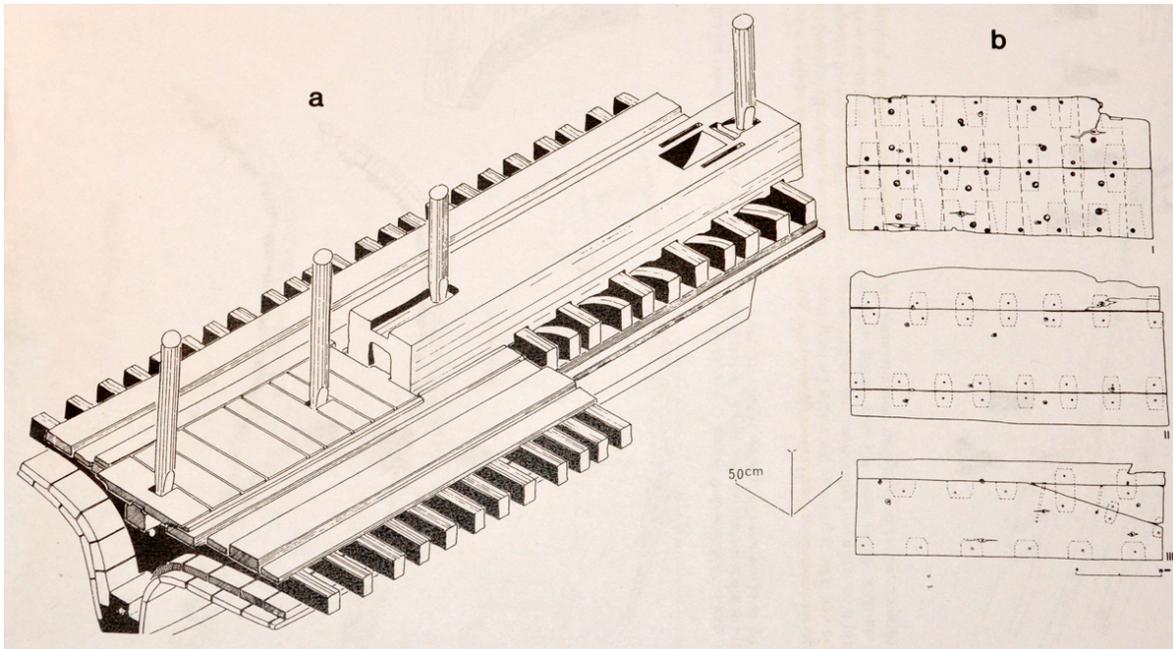


Figure 3.1 : Double bordé construit à franc-bord et système de mortaises et de tenons observés sur l'épave de La Madrague de Giens. (Tchernia, A., P. Pomey et A. Hesnard. 1978)

La coque possède un double bordé construit à franc-bord, assemblé à l'aide de tenons et de mortaises puis recouvert de minces feuilles de plomb (figure 3.1). Ce système de liaison entre les bordages et la présence d'un double bordé étaient assez courants à cette époque en Méditerranée (Pomey 2004 : 30, Steffy 1998 : 63). Le jeu de mortaises et de tenons était tenu en place à l'aide de gournables d'un diamètre variant de 1,5 à 1,8 cm. Les bordages, disposés uniquement à franc-bord, sont assemblés systématiquement les uns aux autres par l'intermédiaire de languettes de bois enfoncées dans des mortaises aménagées dans le clan de chaque bordage (figure 3.2). Une petite cheville, mise en place de façon perpendiculaire au plan du bordage, vient bloquer la languette dans la mortaise. L'espacement moyen des mortaises est d'environ 15 cm (McGrail 2001 : 156). Le rôle des gournables de bois dans le jeu de mortaises et de tenons, rappelle celui des rivets de fer utilisés par les constructeurs vikings. L'emploi d'un double bordé avait plusieurs avantages, tant économiques que techniques. Tout d'abord, il y avait moins de perte en matière première puisque les bordages étaient plus minces que sur les navires à simple bordé. Du même fait, les bordages étaient plus faciles à manipuler pour obtenir la courbe voulue vers

l'étrave et l'étambot. Le bordé externe, d'une épaisseur de 4 cm, absorbait les coups et les dommages. Cela faisait en sorte que le bordé interne, épais de 6 cm et de meilleure qualité, demeurait protégé. De plus, l'usage du double bordé réduisait la tension sur les mortaises et les tenons (McGrail 2001 : 156).

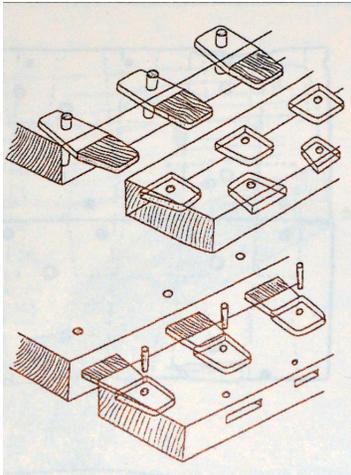


Figure 3.2 : Principe d'assemblage des bordages à l'aide de mortaises et de tenons. (Rieth, É. 1996)

Le navire fut construit dans une variété de bois francs, sauf pour le bordé externe qui était entièrement de sapin. L'orme fut utilisé pour la quille, le vaigrage, les varangues, les demi-couples et le bordé interne. Les genoux et les allonges ont été faits en noyer et l'emplanture de mât fut sculptée dans un bloc de chêne. Le calfatage du navire était composé de laine et de cire, insérées entre les bordages et entre les deux bordés, ce qui assurait l'étanchéité des joints (Pomey 2004 : 31).

La charpente transversale était composée d'un système de membrures alternant varangues et demi-couples (figure 3.3a). Les couples étaient joints au bordé à l'aide de clous et de gournables, mais les différentes membrures composant chaque couple n'étaient pas jointes les unes aux autres. Ainsi, les allonges étaient simplement empattées à la face des varangues, sans y être clouées ou fixées autrement. Lorsque les éléments des couples ne sont pas assemblés, comme c'est le cas ici, on dit que les membrures sont «flottantes». Cette absence de cohérence structurelle est d'ailleurs révélatrice de la fonction secondaire de la charpente transversale au sein de la structure de la carène. Le nombre de membrures apparaît aussi très faible par rapport au fort tonnage du navire.

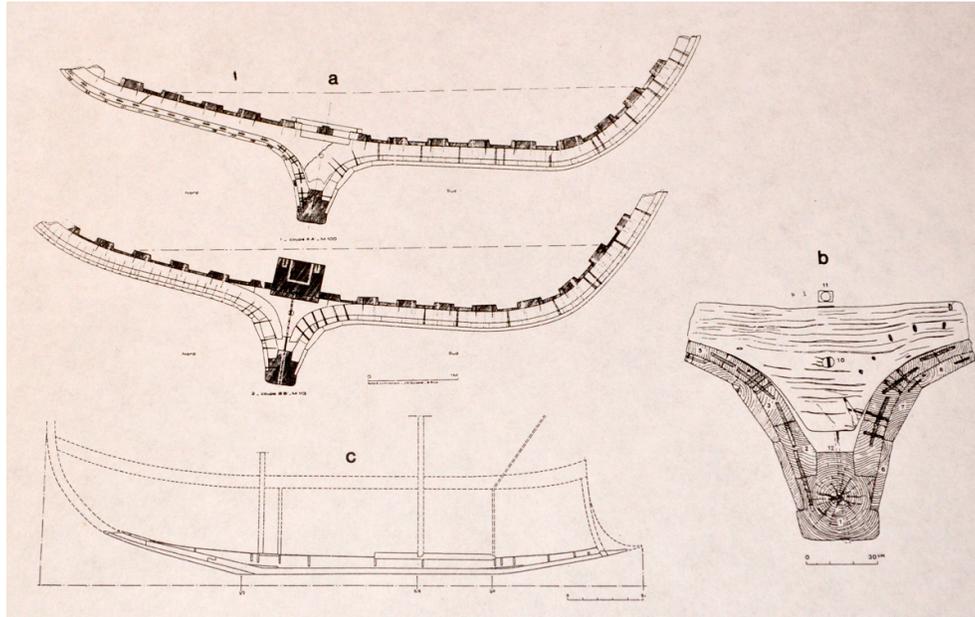


Figure 3.3 : Coupe transversale et détails de la quille de l'épave de La Madrague de Giens. (Tchernia, A., P. Pomey et A. Hesnard. 1978)

Notons aussi l'absence d'assemblage entre les varangues et la quille. Le talon des varangues ne reposait pas directement sur le dos de la quille, ce qui avait pour effet de créer un vide entre les deux pièces pouvant atteindre de 8 à 10 cm (Pomey 2004 : 30). Quelques varangues sont liées au dos de la quille à l'aide d'une broche métallique, mais leur nombre est faible et reste minoritaire par rapport à l'ensemble des varangues (Rieth 1996 : 20). Le fait que certaines varangues soient brochées à la quille pourrait être une indication de leur pré-érection, suggérant que ces varangues aient servi de gabarit. Cependant, sur l'épave de La Madrague, le brochage de certaines varangues, selon Rieth, aurait plutôt répondu à un désir de renforcement de la charpente axiale (Rieth 1998 : 66). Selon Patrice Pomey, il est probable que de nombreux cas de varangues brochées répondent à ce problème de renfort, notamment lorsque le brochage intervient sur les points sensibles de la structure axiale (Pomey 2004 : 29).

Quant à la charpente axiale, composée de la quille, l'étrave et l'étambot, l'épave de La Madrague de Giens montre des galbords sculptés et un profil particulier de quille dont la forme prévoit la conception de la forme du navire. Les galbords internes et externes

venaient s'encastrent dans une double râblure aménagée dans les joues (côtés) de la quille (figure 3.3b). Les galbords participaient donc à la charpente axiale et constituaient, avec la quille, le véritable fondement volumétrique du navire. Enfin, le vaigrage contribuait aussi à renforcer la force longitudinale du navire. Les imposantes dimensions de la coque nécessitaient un renfort de surplus, par lesquels les serres, clouées aux membrures, venaient consolider la coque dans l'axe longitudinal. De plus, la présence d'une large carlingue, jouant aussi le rôle d'emplanture de mât, venait compléter la charpente axiale (Rieth 1998 : 62).

Plus haut dans la carène, c'est la cohérence structurale du bordé qui reléguait la membrure à un rôle secondaire. L'étude du double bordé appuie l'idée du rôle déterminant des bordages dans l'élaboration de la forme de la coque du navire (Pomey 2004 : 31). Entre autres, les différences entre le bordé et les membrures démontrent, à travers le choix des essences, que le bordé faisait l'objet d'une recherche de qualité et d'un soin bien supérieure à celle de la membrure (Pomey et Guibal 1999). Par son homogénéité et sa solidité, le bordé s'impose donc comme étant la structure dominante du navire, alors que la membrure, par la faiblesse de ses liaisons, n'intervient qu'en renfort transversal à la structure de la coque (Pomey 1998 : 52). L'ensemble des éléments observés suggère un procédé de construction qu'on peut qualifier de bordé premier, et aucun indice n'a révélé à ce jour l'existence d'un possible pré-montage de membrures ayant joué un rôle actif dans le projet architectural (Pomey 2004 : 30). Ce n'est qu'à la fin de l'Antiquité, vers le VII^e siècle après J.-C. sur l'épave Yassi Ada 1, que l'on commence à voir apparaître des procédés de construction mixtes, marquant le début du passage en Méditerranée de bordé premier à charpente première (Steffy 1998 : 84, Pomey 1994: 128).

Les premières campagnes de fouilles sur l'épave de La Madrague de Giens ont été réalisées par l'Institut d'Archéologie Méditerranéenne, puis à partir de 1978 par le Centre Camille-Jullian, tous deux des unités du CNRS. Les travaux furent effectués sous la direction de Patrice Pomey et d'André Tchernia, ainsi que d'Antoinette Hesnard pour

l'analyse de la culture matérielle. Même si les fouilles eurent lieu il y a plus de 30 ans, les données enregistrées, les dessins techniques et la publication des rapports furent dirigés et encadrés par un groupe universitaire et scientifique. La restitution des formes de la carène rapportée dans les premières publications à la fin des années 1970 fut maintes fois reproduite dans d'autres ouvrages (Tchernia *et al.* 1978). Éric Rieth reprend ces mêmes dessins dans son livre *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet* pour illustrer la construction navale charpente première à franc-bord en Méditerranée antique (Rieth 1996 : 18-19). Les dessins d'origine, qui représentent les pièces retrouvées *in situ* et possèdent une grande précision scientifique, seront utilisés pour l'analyse de ce mémoire.

L'épave de La Madrague de Giens nous sert donc d'exemple d'une construction de bordé premier à l'intérieur de l'espace méditerranéen, à une époque antérieure à celle des Vikings. L'analyse structurelle de ce navire démontre que la membrure, entrant postérieurement dans la construction, n'a pu donner la forme architecturale à la carène. Cet aspect de construction du navire justifie l'inclusion de l'épave dans notre problématique sur la conception des carènes avant l'apparition des navires à charpente première.

3.2 L'épave de Nydam

Suivant l'ordre chronologique, le second navire retenu pour le corpus fut construit peu avant l'aube de la période viking. En 1859, les vestiges de trois navires furent découverts à Nydam dans la péninsule de Jylland en Schleswig-Holstein, sur la frontière dano-allemande. Le premier navire, fait de pin et de sapin, fut presque entièrement détruit lors de la guerre de 1864 opposant le Danemark à la Prusse. Il possédait une double proue et une double poupe selon une construction rare et encore mal comprise, semblable à celle du navire de Hjortspring (Crumlin-Pedersen 1995). Les deux autres navires relevaient d'une construction très différente. Malheureusement, l'un de ces deux navires fut retrouvé en

morceaux et il n'en subsiste que de rares pièces. Un seul navire fut découvert dans son intégralité et il était construit à clin et entièrement fait de chêne.

La fouille des vestiges de Nydam a été dirigée par l'archéologue danois Conrad Engelhardt de 1859 à 1863. Bien que le site se trouve aujourd'hui sous un marécage, Engelhardt avait déjà dégagé en 1863 la majeure partie du navire en chêne et quelques vestiges matériels du navire de pin. Le contexte archéologique du site demeure fort intéressant : les navires et les artefacts furent déposés en offrande dans un lac sacré, dans le cadre de rituels guerriers probablement lors de la capture de troupes ennemies (Greenhill 1995 : 177). Les dépôts stratifiés dans ce lac, échelonnés de 250 à 500 après J.-C., ont permis de dater plusieurs différences significatives dans les procédés de construction entre les trois navires. Par exemple, sur le navire fait de chêne, l'assemblage de la charpente axiale ainsi que les dimensions des bordages semblent témoigner de techniques de charpenterie plus avancées (Rieck 1994 : 49). D'un point de vue chronologique, d'importantes comparaisons ont donc pu être effectuées et elles sont encore citées aujourd'hui pour illustrer le développement des techniques navales scandinaves (Greenhill 1995 : 178). Ces observations n'entrent toutefois pas dans le cadre du texte qui suit.

L'épave de Nydam est souvent considérée comme l'ancêtre immédiat des navires vikings du Moyen Âge. C'est le tout premier exemple de bateau assemblé à l'aide de clous et de rivets de fer qui caractériseront ultérieurement les navires construits à clin en Scandinavie, développement nautique correspondant au début de l'Âge du fer dans cette même région (Greenhill 1995 : 177). Les auteurs voient dans l'espace maritime scandinave une transition accélérée de l'ancienne technologie des pirogues monoxyles vers la construction évoluée des Vikings, au cours des IV^e et VI^e siècles après J.-C., période pour laquelle l'épave de Nydam est le principal témoin à ce jour (Rieck 1994 : 49). La technique d'assemblage à clin dominera ensuite la construction navale dans le nord de l'Europe durant plus de mille ans, jusqu'à l'émergence des navires construits à franc-bord à la fin de la période médiévale (Delgado 1997 : 50).

Le navire de Nydam traduit des procédés de construction très coûteux en matière première et en main-d'œuvre. Selon les dimensions des bordages, quelques planches seulement pouvaient être tirées d'un seul tronc d'arbre. Le navire fut donc le produit d'un système social bien organisé, riche en bois de qualité et en temps. Le matériel utilisé limitait de beaucoup les formes possibles du navire, se rapprochant ainsi à une pirogue (Greenhill 1995 : 177). En se basant sur les reconstitutions d'Åkerlund, Ole Crumlin-Pedersen émet l'hypothèse que ce grand bateau non ponté du début du IV^e siècle pouvait naviguer en haute mer et s'apparentait aux embarcations ayant servi au transport des Angles et des Jutes lors de voyages côtiers, de même qu'aux vagues de migration jusqu'en Grande-Bretagne entre 300 et 600 après J.-C. (McGrail 2001 : 210, Greenhill 1995 : 177).

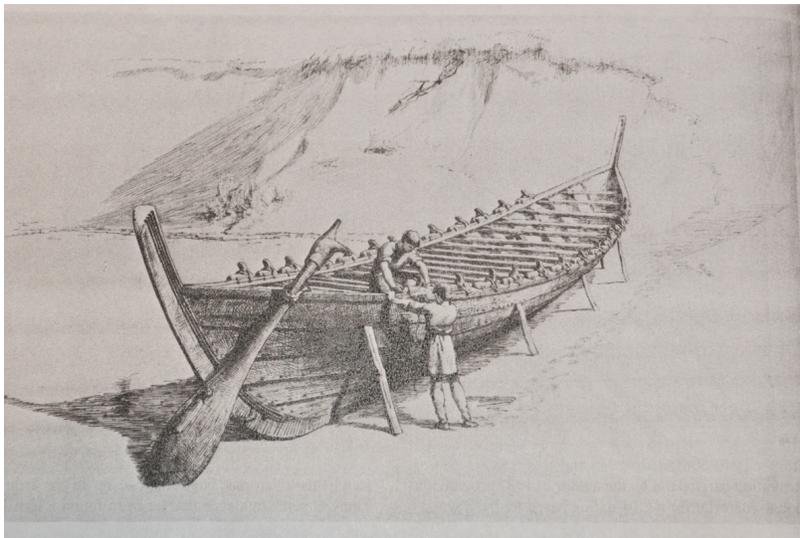


Figure 3.4 : Dessin hypothétique du navire de Nydam. (Flemming, R. 1991)

Allongé et étroit, rappelant la forme d'une pirogue, le navire de Nydam mesure 23,70 mètres de longueur sur 3,75 mètres de largeur, pour une hauteur de 1,20 mètres (figure 3.4). Les analyses dendrochronologiques ont démontré que le navire fut construit à partir de chênes abattus vers 310-320 après J.-C. et qu'il fut déposé dans le lac sacré vers 340-350 après J.-C. (Rieck 1994 : 53, McGrail 2001 : 209). La coque est composée de cinq

bordages de chaque côté, d'une épaisseur moyenne de 3 cm et variant entre 35 et 45 cm de largeur. Le bordage le plus haut est plus épais que les autres et contribue ainsi à maintenir la force longitudinale du navire. Les bordages, posés à clin, furent assemblés à l'aide de rivets et de clous en fer à tête ronde, insérés dans le bordé de l'extérieur vers l'intérieur, en prenant soin de replier la pointe du clou sur une plaque métallique rectangulaire afin de ne pas compromettre l'étanchéité du navire. À l'avant et à l'arrière, chacun des bordages fut cloué à une râblure taillée dans l'étrave ainsi que dans l'étambot. La coque est consolidée de dix-neuf varangues, espacées d'environ 1 mètre, qui furent aménagées dans des pièces de chêne dont la forme naturelle anticipait celle des membrures finies. Les varangues étaient fixées au bordé par le biais d'un système de taquets et de lacets de fibres végétales, qui rappelle les navires de l'Âge de bronze dans le Nord-Ouest de l'Europe. Faisant office de quille, une lourde planche en forme de «T» aplati, taillée de façon à accueillir les galbords de chaque côté, fut apposée au fond du navire. Cette planche de près de 15 mètres de longueur, légèrement incurvée aux deux extrémités, aboutait à l'étrave et à l'étambot, auxquels elle était liée par le biais des virures de chaque côté (Greenhill 1995 : 178). Les joints furent calfatés avec de la tourbe et d'un textile trempé dans de la résine et du goudron. Quinze paires de rames servaient à propulser le navire. Chaque rameur manœuvrait une seule rame, d'une longueur de 3,5 mètres, qui prenait appui contre un tolet apposé sur le dernier bordage. Les rames étaient fixées au tolet à l'aide de lanières tressées de fibres végétales. Les trente rameurs étaient assis deux par deux sur des baux transversaux servant de bancs, et dont les extrémités étaient taillées pour pouvoir s'encaster dans la tête des membrures, transmettant ainsi le stress provenant des baux vers la charpente transversale (McGrail 2001 : 211). Ne possédant pas de voile, aucune emplanture de mât n'était présente au fond du navire. Un gouvernail latéral de 3,20 mètres de longueur était probablement positionné du côté bâbord. Tout comme les premiers navires vikings construits ultérieurement, la coque du navire de Nydam fut conçue de façon à être souple, légère et élastique, qualités essentielles pour une bonne navigabilité.

L'archéologue Conrad Engelhardt, en charge des premières campagnes de fouilles pour le compte du *Royal Collection of Nordic Antiquities*, a réalisé de nombreux croquis et gravures de diverses pièces du navire lors des travaux d'excavation (figure 3.5). Les dessins d'origine¹ se trouvent dans les publications de l'archéologue de 1865 et 1866, ainsi que dans les journaux de la collection de Flensborg (Rieck 1994: 50). La production de ces dessins et de ces gravures revêt certes d'un sens artistique, mais demeure toutefois valable au point de vue technique. Les croquis originaux de Engelhardt présentent des détails de construction importants, bien que l'échelle utilisée ne soit pas indiquée systématiquement sur ses croquis.

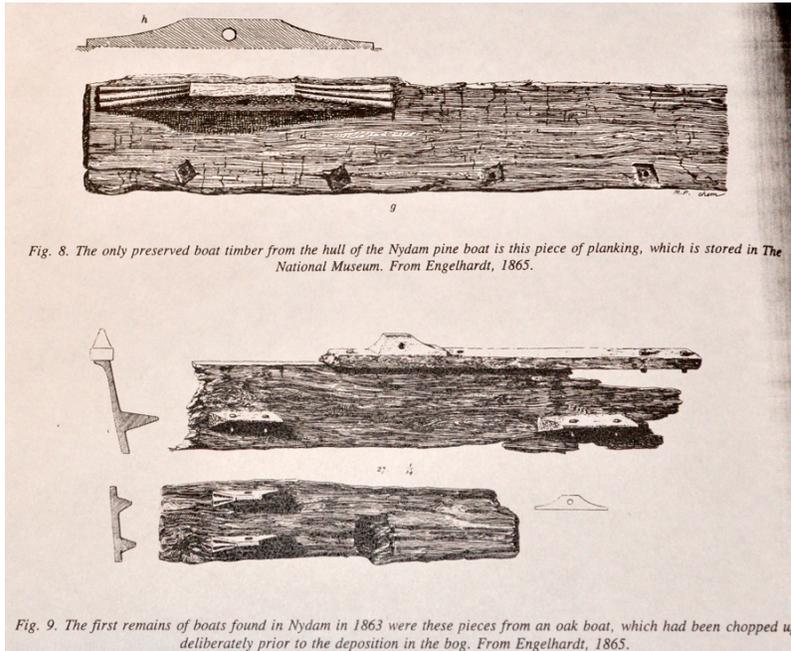


Fig. 8. The only preserved boat timber from the hull of the Nydam pine boat is this piece of planking, which is stored in The National Museum. From Engelhardt, 1865.

Fig. 9. The first remains of boats found in Nydam in 1863 were these pieces from an oak boat, which had been chopped up deliberately prior to the deposition in the bog. From Engelhardt, 1865.

Figure 3.5 : Croquis tirés du carnet de Engelhardt datant de 1865. (Flemming, R. 1991)

l'Allemagne. La région fut réunifiée au Danemark en 1920 et depuis, le site est protégé par le National Museum de Copenhague.

Cependant, le climat politique incertain et l'approche imminente de la guerre incitent Engelhardt à ne laisser derrière lui aucun plan du site archéologique permettant de localiser avec exactitude ses découvertes. En 1864, la guerre prussodanoise mit un terme aux recherches de Engelhardt et le site de Nydam passa aux mains de la Prusse et de

¹ Les dessins originaux des navires de Nydam produits par Engelhardt n'étaient pas disponibles dans le cadre de cette recherche.

Dans son contexte archéologique, le bois du navire était protégé par le milieu humide du marécage. Lors de sa découverte, il était donc relativement en bon état. Cependant, les techniques de conservation de l'époque, probablement très rudimentaires, semblent avoir entraîné quelques dommages irréversibles aux pièces de bois subsistantes. En 1963, presque cent ans après la découverte, c'est au tour de l'archéologue suédois Harald Åkerlund à se pencher sur le casse-tête des navires de Nydam. Åkerlund compare certaines mesures prises en 1863 par Engelhardt sur le navire de chêne avec celles qu'il a lui-même relevées sur ce navire alors exposé au Archaologisches Landesmuseum à Schleswig dans le nord de l'Allemagne. Il observe une différence de 13 à 14% entre certaines données respectives et en déduit que le bois exposé à l'air a rétréci et tordu de façon irrévocable, déformant ainsi la forme du navire (Rieck 1994 : 53). Dans son étude, Åkerlund précise qu'aucune des neuf membrures préservées sur les dix-neuf d'origine n'étaient en assez bonne condition pour statuer avec certitude sur les dimensions exactes du maître-couple du navire (Åkerlund 1963 : 154). Selon lui, le navire de Nydam devait être beaucoup plus large et bien plus profond que celui présenté en exposition (McGrail 2001 : 209). Malgré les distorsions importantes observées sur les pièces du navire exposées au musée de Schleswig, Åkerlund a tout de même produit une reconstitution du maître-couple et c'est d'ailleurs elle qui prévaut dans les études traitant du navire de Nydam. Nous avons sélectionné la reconstitution apparaissant dans l'ouvrage de Sean McGrail *Boats of the World* (2001 : 209) (figure 3.6) pour la qualité de sa publication. McGrail, ainsi que Rupert Bruce Mitford dans son ouvrage sur l'archéologie anglo-saxonne (1975), utilisent la reconstitution du maître-couple du navire de Nydam réalisée par Åkerlund en 1963.

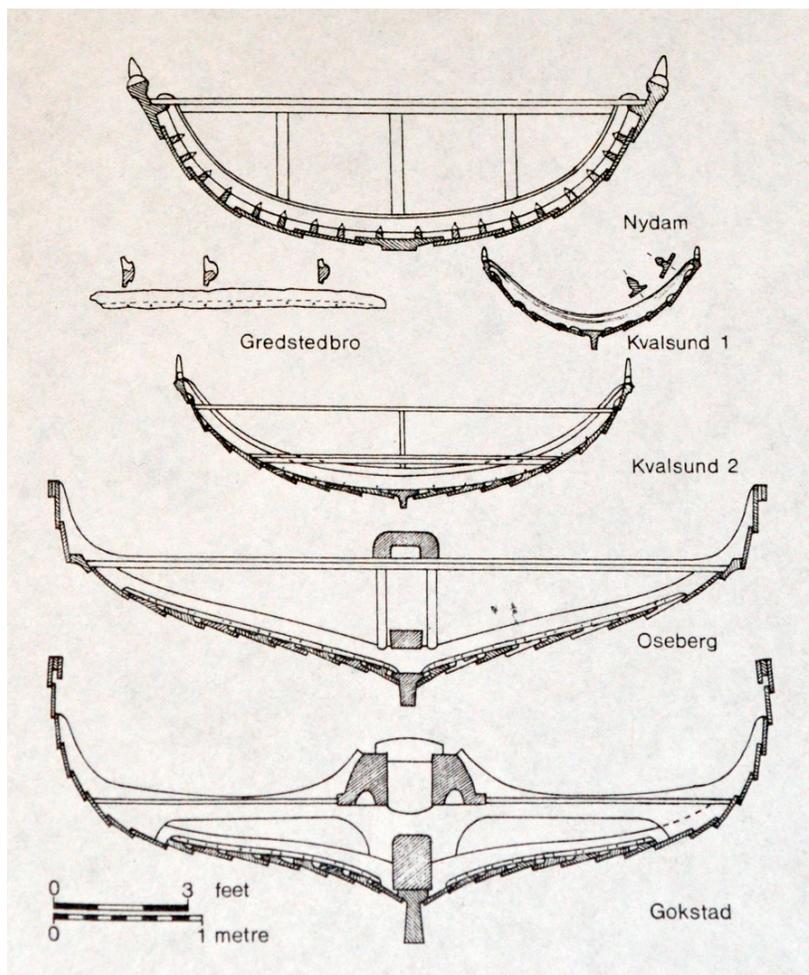


Figure 3.6 : Forme en «U» de la coque du navire de Nydam, en comparaison avec 3 autres navires, dont celui de Gokstad (McGrail, Sean. 2001)

3.3 La barque funéraire de Gokstad

L'exemple suivant de notre corpus de navires construits en bordé premier appartient à la tradition viking à l'apogée de son développement technique. Le navire de Gokstad fut découvert à l'intérieur d'un tumulus funéraire excavé en 1880 par l'archéologue norvégien Nicolay Nicolaysen dans le Vestfold, situé dans le sud de la Norvège près du fjord d'Oslo. À l'intérieur de ce tumulus se trouvait un navire viking sur lequel un homme reposait dans une chambre funéraire. Le navire était accompagné de deux autres petites embarcations,

celles-ci détruites lors du rituel funéraire. La barque principale contenait de nombreuses offrandes, dont un traîneau, un chaudron de cuivre, des lits, des sceaux en bois, un jeu de table et des harnais pour cheval. Des chiens, des paons et des chevaux furent sacrifiés lors de l'inhumation. D'après la richesse des offrandes et la présence de l'imposant navire, le défunt était probablement issu d'une famille très prospère, appartenant à un haut rang de la société viking. Les analyses effectuées sur le squelette ont démontré que l'homme, âgé d'une soixantaine d'années, était gravement atteint d'arthrite. Bien que l'identité de l'homme ne soit pas établie, il est possible que la barque funéraire de Gokstad ait appartenu au roi Olaf Geirstada Alf. Selon les récentes datations dendrochronologiques, la coupe du bois pour la construction du navire remonte à 895 après J.-C., alors que les arbres requis au montage de la chambre funéraire ont été abattus vers 905 après J.-C. Le navire aurait donc été en fonction durant près de dix ans avant l'inhumation (Delgado 1997 : 172).

Le navire de Gokstad demeure une référence importante pour l'étude de l'histoire de la construction navale scandinave et pour l'évolution des navires à clin dans l'aire maritime du nord de l'Europe. C'est un bateau long typiquement viking, offrant généralement une bonne navigabilité et une excellente stabilité (Rieth 1989 : 34). Cependant, les spécialistes de la construction navale scandinave ne s'entendent pas sur la fonction initiale du navire. De type *karve* ou *karfi*, le navire aurait servi de barque personnelle aux nobles et même au roi, pouvant se modifier en navire de guerre ou en cargo selon les situations (Delgado 1997 : 172). De nombreux changements dans la construction navale scandinave surviennent entre le VII^e et le IX^e siècle. Ils renvoient principalement à l'adoption de moyens doubles de propulsion, à la voile et aux rames. Par exemple, la profondeur de la carène et sa forme en «V» deviennent plus prononcées. Outre l'agrandissement de l'espace de chargement, ce changement technique a pour effet d'apporter plus de stabilité aux navires lorsqu'ils sont propulsés à la voile (McGrail 2001 : 214).

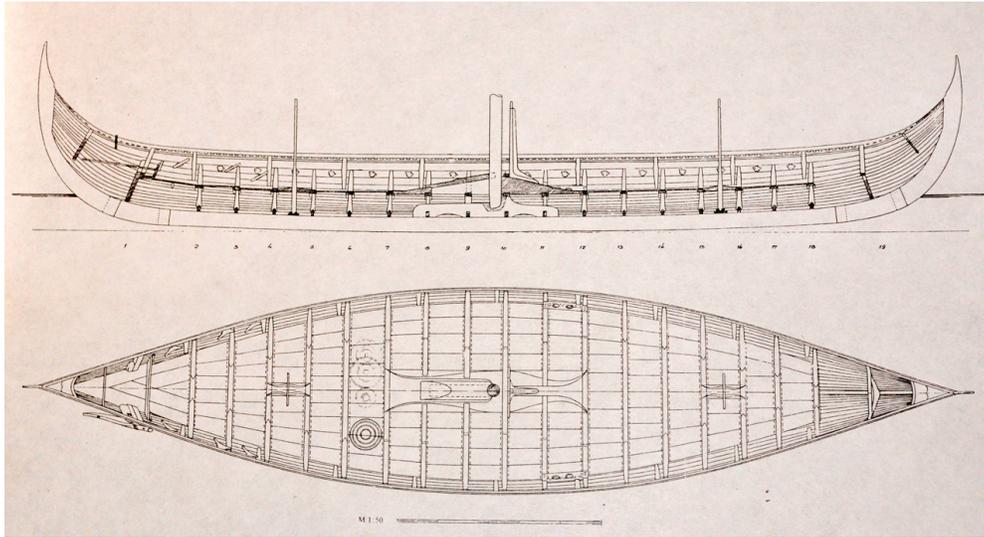


Figure 3.7 : Vue longitudinale et vue en plan du navire de Gokstad.
(Steffy, J. R. 1998)

Possédant une coque légère et flexible entièrement construite en chêne, le navire de Gokstad a une longueur de 23,24 mètres, une largeur de 5,2 mètres et une hauteur d'environ 2,2 mètres (figure 3.7). Ce navire, dont la capacité est estimée à 20,2 tonnes, était propulsé par 16 paires de rames et une seule voile carrée, tissée en laine et d'environ 100 à 120 mètres carrés. Les répliques construites à partir des plans du navire de Gokstad, munies d'une telle voilure, répondent rapidement aux vents et peuvent atteindre une bonne vitesse tout en gardant une excellente navigabilité. La quille, faite d'une seule pièce de chêne de 17,37 mètres de longueur en forme de «T», était légèrement incurvée, comme la lame d'un patin de hockey. Cette particularité avait pour effet d'augmenter la maniabilité du navire au moment de changer de cap (Delgado 1997 : 173). De courtes pièces de bois, assemblées par deux rangées de clous à tête ronde, reliaient les extrémités de la quille à l'étrave et à l'étambot. Ces pièces de transition étaient utilisées afin d'accentuer la courbure de la quille et ainsi diminuer son épaisseur à chaque extrémité. L'étrave et l'étambot, construits eux aussi chacun d'une seule pièce de chêne, demeurent malheureusement moins bien conservés.

Le bordé était composé de seize virures en chêne de chaque côté, assemblées à clin selon la méthode de construction bordé premier alterné. Les bordages étaient fixés les uns aux autres à l'aide de clous en fer à tête ronde et de rivets (*round-headed clinker nails*), tel qu'illustré à la figure 3.8. Selon cette méthode, les bordages étaient d'abord percés d'un trou et des clous, plantés de l'extérieur vers l'intérieur, y étaient insérés. Ces derniers étaient retenus par une plaque de métal carrée (*rove*), sur laquelle leur pointe était repliée (Steffy 1998 : 102). Faisant 1 cm de diamètre, les clous étaient posés à un intervalle de 18,5 cm. Les bordages, selon leur position, avaient une épaisseur variant entre 1,6 cm et 4 cm. Ils étaient obtenus de fûts de chêne, débités radialement en suivant le fil du bois, et possédaient une largeur maximale de 24 cm près du maître-couple pour effeuiller vers les extrémités de la coque. Les galbords étaient rivetés dans les râblures taillées de chaque côté de la quille et dans le deuxième bordage, sans toutefois être attachés aux varangues.

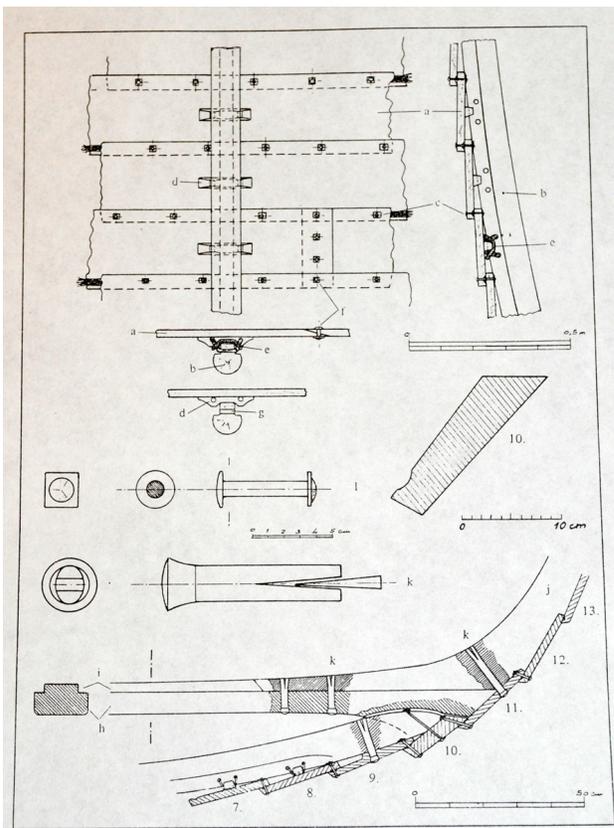


Figure 3.8 : Techniques de liaisons des bordages du navire de Gokstad. (Steffy, J. R. 1998)

La coque contenait une virure particulière appelée le *meginhufr*, séparant les œuvres vives (immergées) des œuvres mortes (émergées) de la carène (figure 3.8). Sa position correspond ici à la dixième virure, ce qui n'est pas sans rappeler l'importance accordée à cette virure par Pomey (2004). Ce bordage, apportant un renfort longitudinal à la carène, était d'ailleurs plus épais que les autres, soit de 4,5 cm (Steffy 1998 : 102). La quatorzième virure était quant à elle percée des sabords de rame, au nombre de seize de chaque côté. Le calfatage entre les bordages était fait de poils d'animal tressés et trempés dans du goudron.

Au total, le navire de Gokstad possède 17 varangues façonnées dans des pièces de bois naturellement incurvées en «V». Elles reposaient sur la surface de la quille sans toutefois y être attachées. Ces membrures situées en dessous de la ligne d'eau, soit jusqu'au neuvième bordage, étaient fixées au bordé à l'aide d'un système de taquets et de lacets fabriqués de racines de bouleau et d'épinette. Ce système rappelle celui du navire de Nydam et, plus anciennement, les traditions navales en Atlantique à l'Âge de bronze. Pour la partie supérieure de la coque, l'assemblage entre le bordé et les membrures se faisait à l'aide de gournables et de rivets de fer. Ce système quant à lui est plus caractéristique des navires vikings. Les 17 varangues étaient surmontées de 17 baux transversaux. Soutenus en leur centre d'un épontille, ces baux, faisant office de bancs, servaient aussi à renforcer l'axe transversal du navire. Afin de solidifier la zone de l'étrave et de l'étambot, la première et la dernière varangue étaient clouées au bordé au lieu d'être lacées. Le gouvernail latéral était attaché à cette dernière varangue, côté tribord, et façonné dans une seule pièce de chêne de 3,3 mètres de longueur (figure 3.9). La barre du gouvernail, longue de près de 1 mètre, était dotée de sculptures gravées (Steffy 1998 : 106).

Positionné au centre du bateau, le mât de 13 mètres de hauteur était constitué d'un seul fût de chêne. Comme sur la plupart des navires datant de la période viking, le mât était amovible. Lorsqu'il était rabattu, il reposait sur cinq supports en «T» installés au milieu des baux transversaux. L'implanture de mât était aménagée dans une carlingue en chêne de 4 mètres de longueur, qui chevauchait quatre varangues au milieu du navire (figure 3.10).

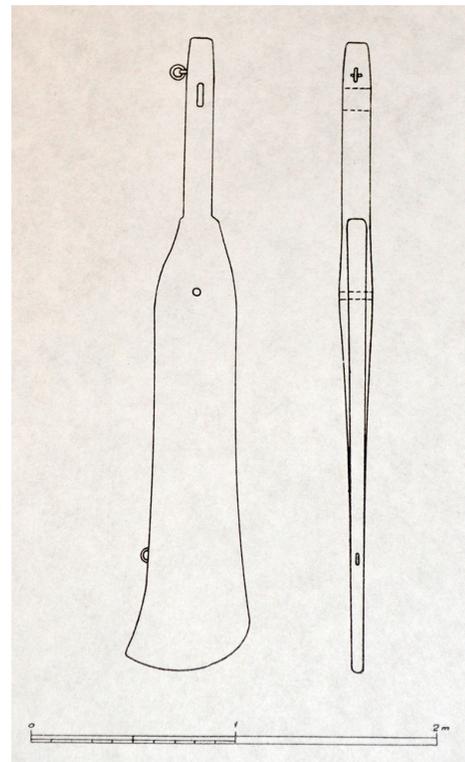


Figure 3.9: Dessin du gouvernail du navire de Gokstad. (Steffy, J. R. 1998)

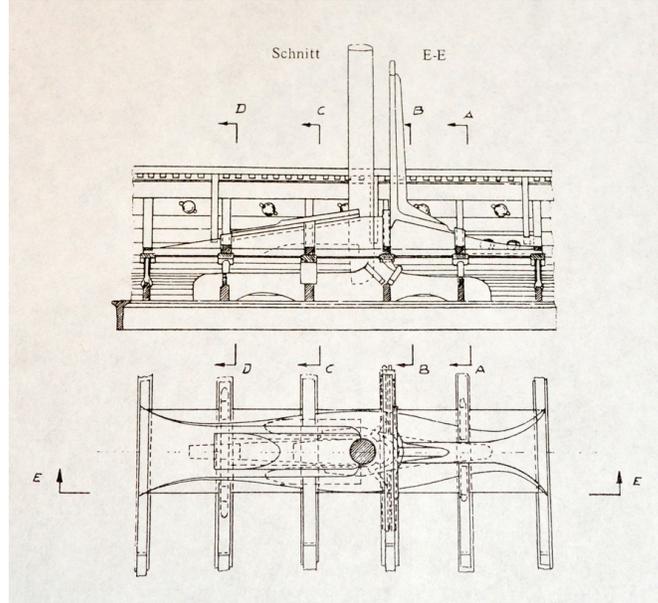


Figure 3.10 : Emplanture de mât reposant sur quatre varangues au centre du navire de Gokstad. (Steffy, J. R. 1998)

Lors de sa découverte, le navire de Gokstad était festonné de 32 boucliers peints en alternance jaune et noir, positionnés de chaque côté le long du seizième bordage (figures 3.11 et 3.12). Ce dernier bordage était aussi décoré de petits triangles incisés, probablement peints jaune et noir comme les boucliers. Cette caractéristique décorative a fréquemment été observée sur les navires représentés par des iconographies médiévales (Delgado 1997 : 174).

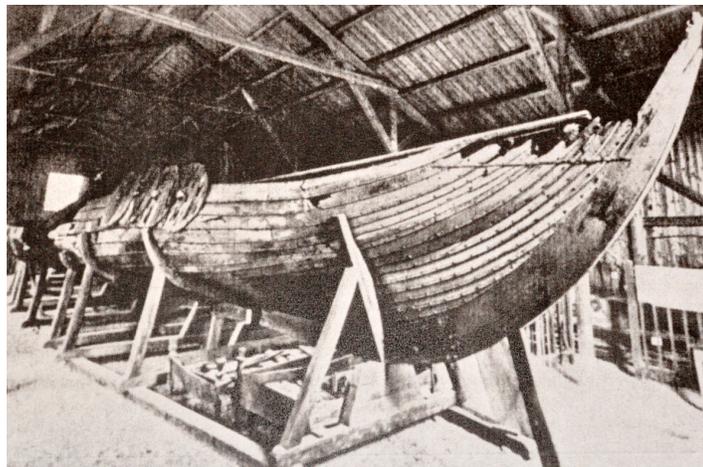


Figure 3.11 : Photo du navire de Gokstad après les fouilles. (Hocker, F. et C. Ward. 2004)

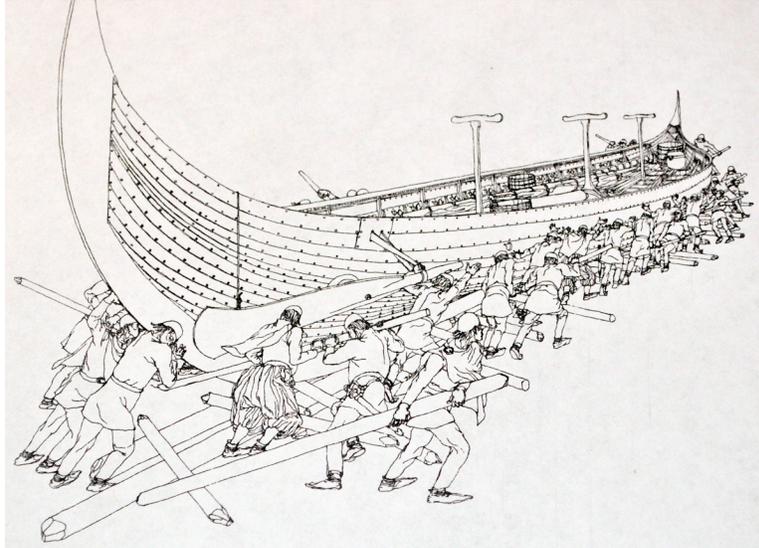


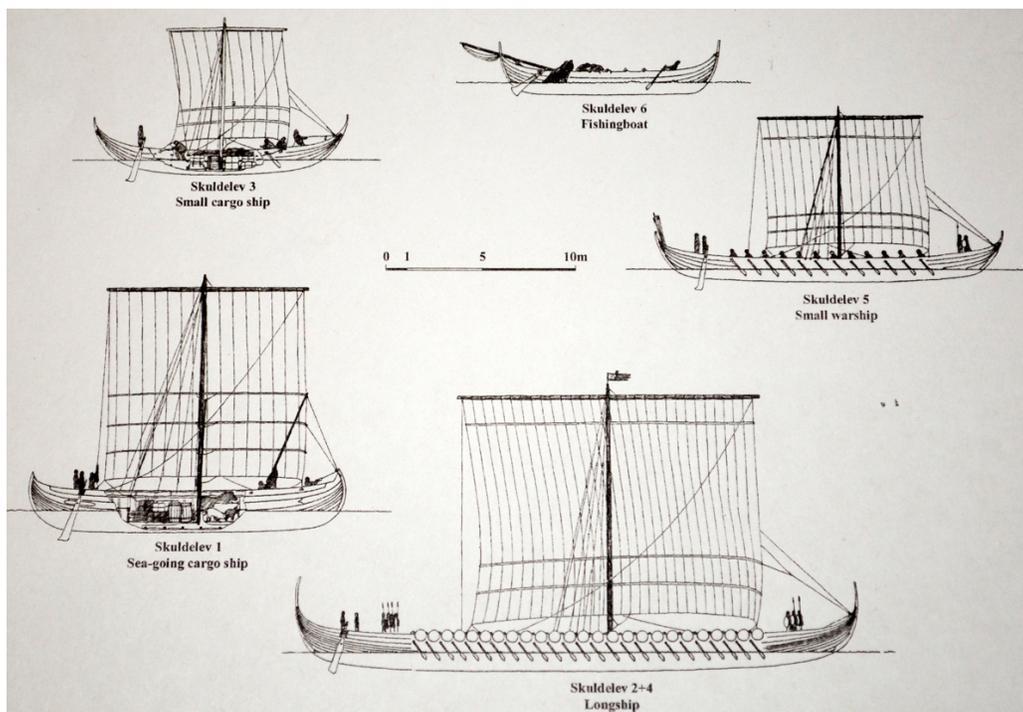
Figure 3.12 : Reconstitution hypothétique du navire de Gokstad lors d'un portage. (Hocker, F. et C. Ward. 2004)

Il semble que seul le maître-couple ait subsisté comme pièce transversale du navire original. Les reconstitutions de Gokstad publiées dans les ouvrages scientifiques qui ont été consultés pour cette étude, sont donc issus de cette pièce maîtresse. La reconstitution du maître-couple d'origine choisie pour l'analyse est tirée de l'ouvrage de Sean McGrail *Boats of the World* (2001 : 209)². Ce dernier utilise les croquis publiés dans l'ouvrage de Richard Steffy *Wooden shipbuilding and the interpretation of shipwrecks* (Steffy 1998). L'ensemble des dessins techniques qui seront utilisés pour ce mémoire proviennent donc du livre de Steffy (1998). Lorsqu'il traite du navire de Gokstad, Steffy reprend les plans et les croquis réalisés par W. Dammann et W. Seiss du *Arbeitskreis historischer Schiffbau* qui rassemblent des groupes de travail en construction navale historique. Ce dessin du maître-couple d'origine a été réalisé avec rigueur selon un souci de précision technique professionnelle.

² Nous avons opté pour le dessin du maître-couple figurant dans l'ouvrage de McGrail (2001) pour la qualité de son impression.

3.4 Le navire de Skuldelev 1

L'avant dernier navire à l'étude est l'épave de Skuldelev 1, datée de 1030. Entre 1957 et 1962, les vestiges de cinq navires vikings ont été excavés dans le fjord de Roskilde au Danemark. Ces navires auraient été coulés volontairement il y a mille ans dans le but de bloquer l'accès au fjord contre des ennemis. Suite à leur découverte, les épaves ont été étudiées, analysées et enfin reconstruites par les spécialistes en architecture navale du Viking Ship Museum à Roskilde (Crumlin-Pedersen 1997, 2002 ; Vinner 2002 ; Olsen et Crumlin-Pedersen 1985 ; Bill 1998). En plus d'apporter une panoplie de nouvelles informations sur le monde des Viking et leurs techniques de construction navale, ces vestiges étoffent de manière tangible l'image des réalisations architecturales issues de la période viking (figure 3.13).



3.13 : Reconstitution des navires de Skuldelev 1 à 5. (Hocker, F. et C. Ward. 2004)

Les bonnes conditions de conservation ont préservé une grande partie des pièces de l'épave de Skuldelev 1. La quille de 12,1 mètres de longueur a été façonnée dans un fût de chêne selon la forme usuelle en «T». Aucune pièce de transition n'est visible entre la quille, l'étrave et l'étambot. Ces derniers étaient sculptés de façon à se joindre parfaitement à la quille (figure 3.14). Les vingt-quatre bordages, composant l'ensemble du bordé, sont en pin de bonne qualité, presque sans nœuds. Ils n'étaient pas aussi longs que ceux en chêne que l'on retrouve habituellement sur les navires vikings. Chaque virure était composée d'environ quatre bordages, joints à l'aide de clous de fer cloués de l'extérieur vers l'intérieur. Enfin, lors des réparations ultérieures, quelques bordages en chêne furent posés à l'extérieur du bordé en pin (Steffy 1998 : 112).

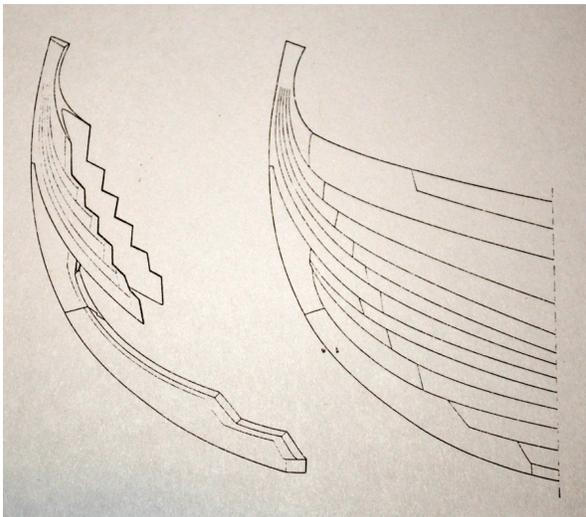


Figure 3.14 : Skuldelev 1. Détails de la proue. (Steffy, J. R. 1998)

Les analyses tracéologiques effectuées sur les bordages de l'épave de Skuldelev 1, démontrent que le tronc d'origine fut fendu dans le sens de la longueur à l'aide d'une hache en suivant la direction des fibres du bois. Les traces d'outillage visibles sur le bois ressemblent de très près à celles retrouvées sur les autres navires vikings. Ainsi, l'utilisation du rabot, des ciseaux à bois et de la hache a laissé des marques caractéristiques, comme les «avant-trous»

en triangle pour les rivets laissés par l'herminette ou un ciseau à bois. Le navire de Skuldelev 1 était un cargo de près de 24 tonnes naviguant en haute mer. Ce *knarr* de 16,5 mètres de longueur possédait un système complexe de membrures combinant varangues, genoux et allonges (figures 3.15 et 3.16).

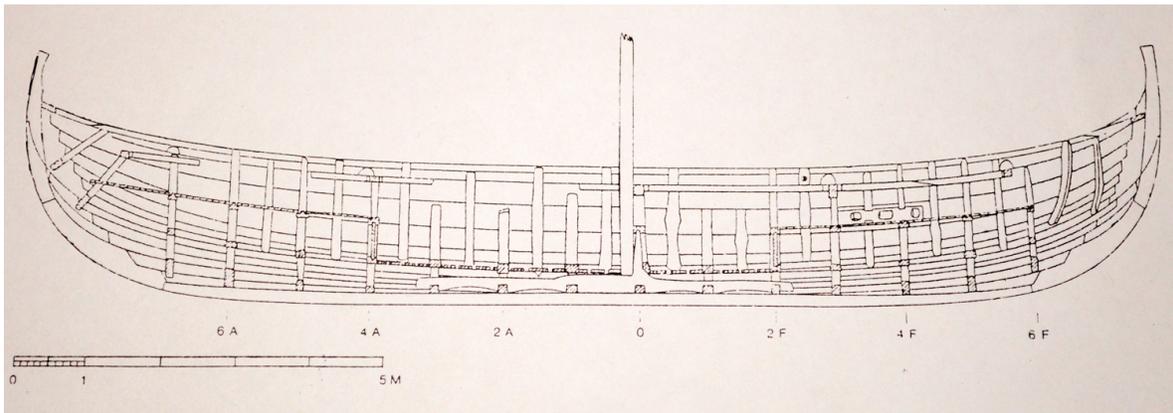


Figure 3.15 : Skuldelev 1. Coupe longitudinale. (Steffy, J. R. 1998)

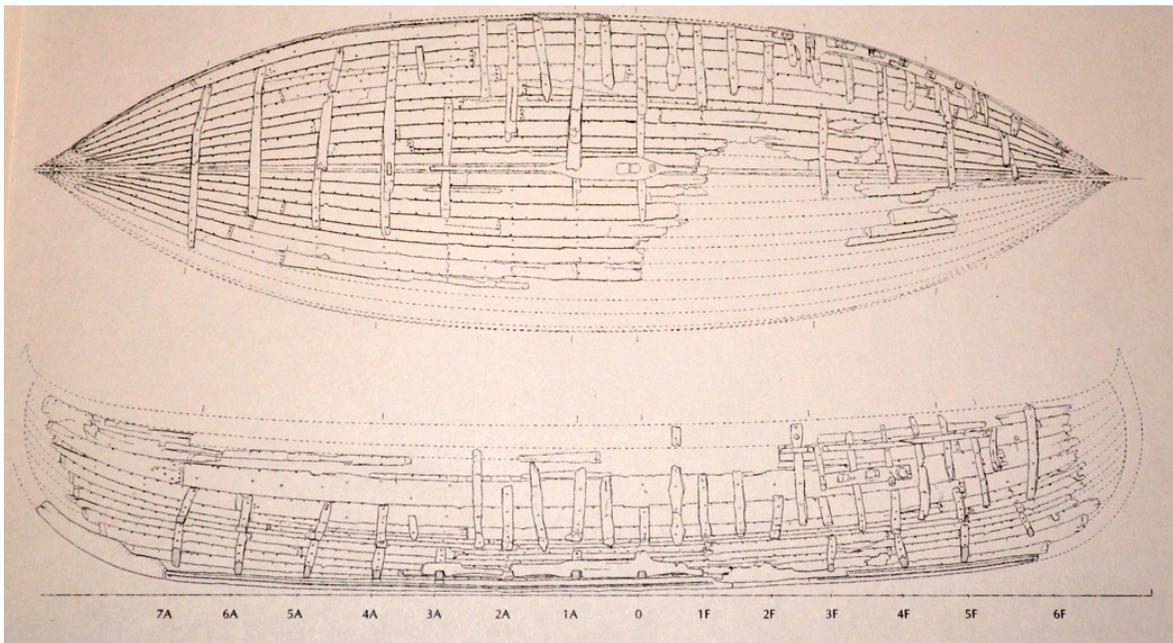


Figure 3.16 : Reconstitution du navire de Skuldelev 1. (Crumlin-Pedersen, Ole. 2002)

D'une largeur de 4,5 mètres pour 2,1 mètres de hauteur, le navire fut assemblé selon la méthode du bordé à clin. Des rivets de fer et des clous à tête ronde ont été utilisés comme technique de liaison des bordages. L'extrémité de chacun des bordages a été sculptée afin qu'ils s'insèrent mieux les uns dans les autres. Faites de chêne, les quatorze varangues reposant sur la quille recouvrent les cinq premiers bordages de chaque côté jusqu'au

meginhufr. Ce bordage taillé, plus épais que les autres, sert à consolider la structure longitudinale du navire, tel qu'observé dans la construction du navire de Gokstad. L'intervalle entre les membrures varie entre 0,83 et 0,99 m. Pour plusieurs des membrures, on peut déceler la forme naturelle de la branche de l'arbre. Cela démontre donc une extraction sélective des matériaux en fonction de la forme naturelle des arbres. Les différentes étapes de la chaîne opératoire du bois sont donc encore bien visibles et elles sont toujours identifiables des siècles après l'enfouissement de ce navire viking.

Comme il a été cité précédemment, le chêne était dominant dans la construction navale partout où il était disponible. L'alternative la plus souvent rencontrée dans les pays nordiques était le pin, du moins pour les bordages. On retrouve donc fréquemment du pin dans la composition des navires en Norvège par exemple, alors qu'au Danemark son usage semble beaucoup plus rare (Gardiner 1996 : 85). La reconstitution de l'épave de Skuldelev 1 aura donc permis de retracer certaines influences culturelles dans les détails de sa conception.

Les campagnes de fouilles des navires de Skuldelev furent effectuées dans un cadre de recherches supervisées par de nombreux archéologues et spécialistes en architecture navale. Le projet fut principalement dirigé par Ole Crumlin-Pedersen qui a aidé à mettre sur pied le Viking Ship Museum à Roskilde. Des techniques de fouilles sur le terrain à la réalisation des reconstructions grandeur nature et à la publication des résultats, l'ensemble des travaux archéologiques a été fait en suivant une rigueur scientifique des plus exigeantes (Steffy 1998 : 108). Grâce à la numérisation des données, à la modélisation en trois dimensions et à la production informatique des maquettes, l'étude des navires de Skuldelev 1 et 2 effectuée à Roskilde représente un outil majeur à notre recherche. Ainsi, pour notre analyse géométrique du navire de Skuldelev 1, nous avons sélectionné la reconstitution du couple 4A réalisée par Ole Crumlin-Pedersen dans son ouvrage *The Skuldelev ships 1* (2002 : 131).

3.5 Le navire de Skuldelev 2

Le dernier navire composant le corpus à l'étude est l'épave de Skuldelev 2, retrouvée elle aussi dans le fjord de Roskilde au Danemark. Ce navire de guerre ou *drakkar* fut construit dans la région de Dublin en Irlande, mais selon les traditions scandinaves de charpenterie. Seulement 25% du navire est aujourd'hui préservé. Toutefois, puisque les éléments conservés proviennent de différents endroits sur la coque, il fut possible de calculer avec assez de précision les dimensions du navire.

D'une longueur de 30 mètres, ce navire à fonction militaire avait une largeur de 3,7 mètres et une hauteur de 1,6 mètres. De 60 à 80 guerriers pouvaient prendre place à bord, actionnant environ 30 paires de rames. La carlingue, aménagée dans un fût de chêne abattu en 1042 dans les îles britanniques, mesurait 13,3 mètres de longueur. Le navire a probablement passé ses 25 premières années sur la mer d'Irlande, prenant part aux multiples opérations vikings dans la région. Des réparations furent effectuées en Irlande autour de 1060, pour la majorité en chêne et en pin (Crumlin-Pedersen 2002: 340). Il s'agit donc du navire le plus récent de notre corpus. Ce navire arborant un mât amovible et une voilure carrée, possédait une coque en «V» étroite et peu profonde (figure 3.17).



Figure 3.17 : L'épave Skuldelev 2, exposée au Viking Ship Museum de Roskilde. (<http://www.vikingskibsmuseet.dk/fr/expositions/les-bateaux-de-skuldelev/le-skuldelev-2/>)

Le bordé était composé de douze virures en chêne de chaque côté, d'une largeur moyenne de 24 à 27 cm, assemblées à clin selon le procédé de construction de bordé premier alterné. Les bordages étaient fixés les uns aux autres à l'aide de clous en fer à tête ronde et de rivets. Le navire de Skuldelev 2 possédait environ 44 varangues façonnées dans des pièces de chêne naturellement incurvées en «V», et positionnées à un intervalle de 0,7 mètre. Les varangues recouvraient les sept premières virures et étaient fixées au bordé à l'aide de gournables en saule. Une serre était aussi fixée à l'aide de gournables à la huitième virure. L'épave était dotée d'un pont soutenu par un *biti*, un système venant renforcer les baux transversaux sur lesquels les rameurs prenaient place (figure 3.18). Ce système est connu aussi sur d'autres épaves vikings dont celles de Skuldelev 3 et de Hedeby 1. La conception de la coque assurait vitesse et stabilité, idéale pour la navigation en haute mer lors des raids.

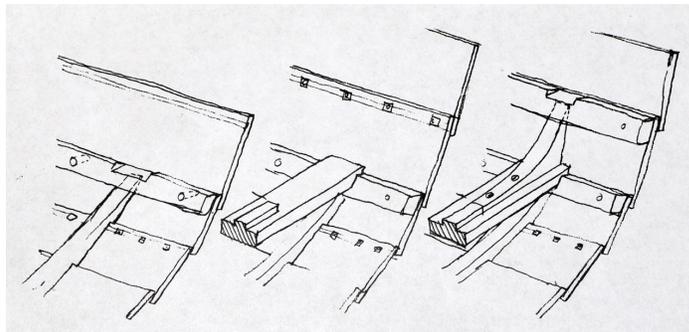


Figure 3.18 : Détails du *biti* sur l'épave Skuldelev 3. (Hocker, F. et C. Ward. 2004)

Ce dragon des mers irlandais aurait effectué sa traversée jusqu'à Roskilde lors des affrontements de 1066 opposant l'Angleterre et Guillaume le Conquérant. Il aurait permis d'escorter les enfants du roi d'Angleterre Harald Godwinson, venus en mission diplomatique auprès de leur oncle Sven Estridsson, le roi du Danemark (Crumlin-Pedersen 2002: 340). Ce *langship* fut coulé en 1070 avec cinq autres navires dans le fjord de Roskilde pour créer un barrage contre l'invasion ennemie. Une reconstitution à grandeur nature de cet immense navire fut réalisée au Viking Ship Museum à Roskilde. Après quatre années de labeur, le *Sea Stallion*, le plus gros navire viking moderne construit à ce jour, quitta le fjord de Roskilde en 2007 pour rejoindre Dublin, port qui avait vu naître le navire de Skuldelev 2.

Tel que mentionné précédemment dans la présentation de Skuldelev 1, les fouilles de l'épave de Skuldelev 2 ont pu bénéficier du cadre de recherche sous l'égide du Viking Ship Museum de Roskilde. La production des plans et des coupes qui seront utilisés pour ce mémoire a été effectuée par de nombreux spécialistes en architecture navale (Crumlin-Pedersen 1997, 2002 ; Vinner 2002 ; Olsen et Crumlin-Pedersen 1985). La reconstitution du maître-couple de Skuldelev 2 utilisée pour notre analyse est issue de l'ouvrage d'Ole Crumlin-Pedersen *The Skuldelev ship 1* (2002 : 174).

Les navires de notre corpus furent avant tout choisis en fonction de la possibilité d'étudier leur mode de conception architecturale. C'est par le biais des reconstitutions fidèles de ces épaves qu'il sera possible d'analyser leur maître-couple. Les vestiges devaient donc être assez complets et la documentation rigoureuse et adéquate pour pouvoir réaliser des analyses géométriques probantes. Nous devons retenir des épaves de tradition scandinave, mettant l'accent sur l'ère viking, mais aussi choisir un exemple plus ancien provenant de l'espace méditerranéen afin de valider certaines hypothèses sur l'éventuel transfert de méthodes de conception vers l'espace viking.

Chapitre 4 Le système de conception des carènes à la Renaissance, archéologie et textes anciens

Les plus anciens traités d'architecture navale connus datent de la Renaissance et sont apparus dans les grands centres maritimes de l'époque, à Venise, Londres, Lisbonne et Séville. L'ensemble de ces textes, dont font parti notamment *O livro da fábrica das naos* rédigé en 1570 au Portugal par Fernando Oliveira et *Fragments of Ancient English Shipwrightry* de Mathew Baker vers 1580, constitue la première manifestation d'une tradition écrite en architecture navale en Europe occidentale (Barker *et al.* 2009 : 35). L'étude de ces textes anciens révèle l'existence d'une méthode de conception des carènes basée sur un système géométrique d'arcs de cercle et de tangentes droites. Les archéologues ont découvert des traces tangibles de l'utilisation de ce système géométrique dans plusieurs vestiges terrestres de l'Antiquité (Loewen 2007 : 12).

4.1 Le système géométrique et les premiers traités d'architecture navale

Ce n'est que depuis la Renaissance que les textes sur le savoir des constructeurs navals sont connus des historiens. Déjà, la construction de navires était un métier nécessitant de longues années d'apprentissage, où le savoir technique et artisanal était transmis d'une génération de constructeur à une autre. Toutefois, au cours de la Renaissance, un changement radical s'opère à l'intérieur de ce corps de métier : l'architecture navale émerge en tant que discipline théorique, qui s'occupe de la conception volumétrique des carènes, un métier distinct de ceux de la foresterie et de la charpenterie navale. La profession d'architecte naval se développa grâce aux mathématiques et à la géométrie et acquit ainsi le même statut que l'architecture civile et militaire. Répondant à la croissance économique et à l'effervescence du commerce maritime, la conception du navire se dissocie de sa construction et permet à l'élite scolarisée de s'emparer du contrôle de la chaîne opératoire de la production navale.

Les traités d'architecture navale issus de la Renaissance ont avant tout l'objectif de décrire la construction navale, et ce, à l'aide de dessins, de croquis et de calculs mathématiques. On doit à Mathew Baker, architecte naval sous le règne d'Élisabeth 1^{ère}, *Fragments of Ancient English Shipwrihty* (Baker 1580), un manuscrit présentant à l'aide de textes et d'images les détails des navires construits par ce dernier entre 1570 et 1580 (figure 4.1). Selon l'approche de Baker, le navire doit d'abord être dessiné sur papier et c'est à partir de principes géométriques que les divers éléments architecturaux du navire peuvent être manipulés par le concepteur. Deux auteurs de la péninsule ibérique ont grandement apporté leur contribution au développement des connaissances théoriques naissantes en architecture navale. Mathématicien et cosmographe de formation, le Portugais João Baptista Lavanha rédigea *Livro primeiro da architectura naval* au tournant du XVII^e siècle (Lavanha 1598-1620) et Fernando Oliveira, également d'origine portugaise, publia *O Livro da fábrica das naos* vers 1570 (Oliveira 1570). On retrouve dans ces documents un ensemble de règles géométriques à suivre pour concevoir les navires, puis de les construire selon les dimensions de la quille et des membrures, de l'étrave et de l'étambot, la façon d'assembler les éléments de la charpente, de même que les essences de bois à privilégier pour certaines pièces du navire.

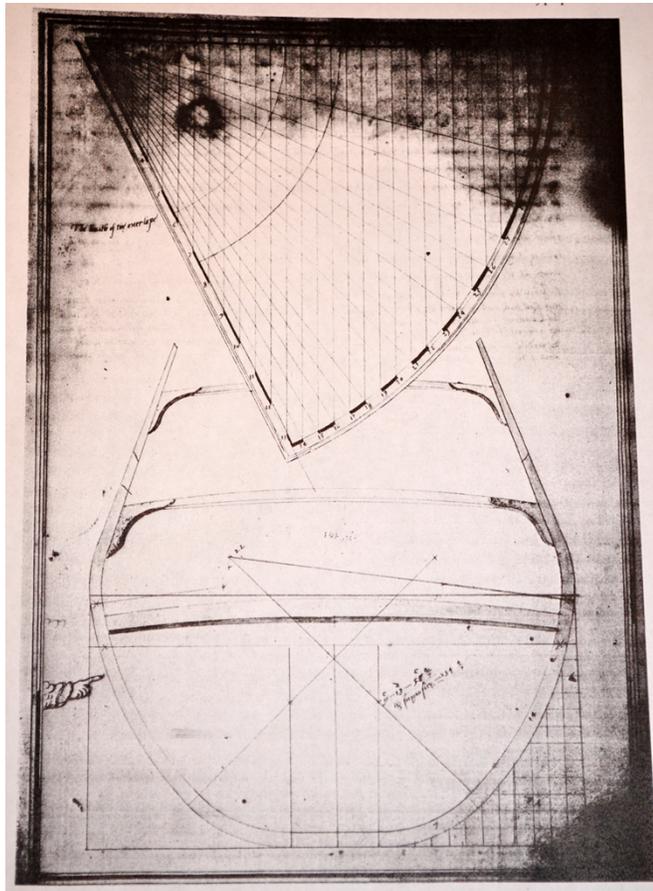


Figure 4.1 : Le maître-couple de Mathew Baker, tiré de *Fragments of Ancient English Shipwrihty*, c. 1580. (Loewen, Brad. 2007)

Selon ces textes anciens, il y avait trois grandes étapes dans le processus de conception des carènes : instaurer les dimensions de la carène, concevoir le maître-couple et créer les membrures à l'avant et à l'arrière de ce dernier (Loewen 2007 : 4). La première étape consistait à établir les dimensions générales de la carène, en fonction de proportions relativement standard. La largeur maximale (bau), la hauteur du pont principal (creux), la longueur de la quille, et la longueur totale du navire de l'étrave à l'étambot étaient calculées selon un rapport de proportions pouvant varier d'une région maritime à l'autre. Par exemple, si certains constructeurs ou marins basques utilisaient un ratio de 1 : 2 : 3 pour le bau, la quille et la longueur totale, d'autres comme Juan de Escalante de Mendoza, un pilote sévillan, privilégia le rapport de 2 : 5 : 7 (Loewen 2007 : 4). Ces dimensions de base étaient également utilisées pour calculer la capacité de charge, ou tonnage, du navire à construire. Un constructeur pouvait donc se référer à ces proportions, à l'unité de tonnage désirée de même qu'aux performances nautiques recherchées afin d'établir les dimensions exactes du navire. La variabilité des proportions montre que les connaissances traditionnelles influençaient encore les auteurs des traités navals.

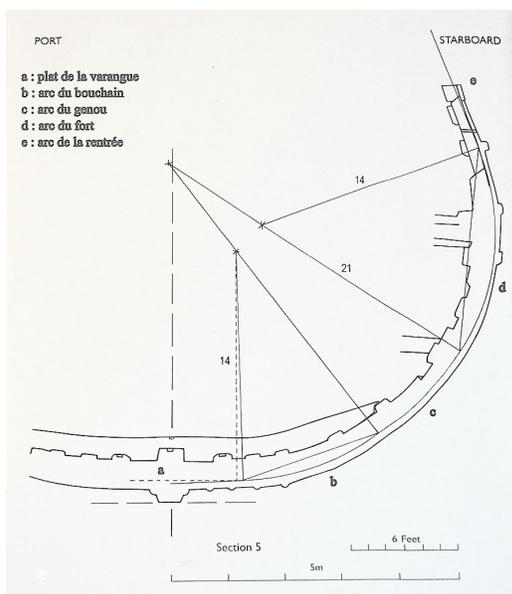


Figure 4.2 : La géométrie du maître-couple du *Mary Rose* et ses arcs circulaires tangentiels. (Barker, R. et al. 2009)

Une fois les dimensions de la carène établies, la deuxième étape consistait à définir la forme du maître-couple, conçue à partir des dimensions du bau et du creux. Le maître-couple reposait sur la quille, au centre du bâtiment. La géométrie du maître-couple est composée de trois ou quatre arcs circulaires tangentiels successifs, nommés à des fins d'analyse l'arc du bouchain, l'arc du genou, l'arc du fort et l'arc de la rentrée, partant du bas vers le haut (figure 4.2). Le tracé du maître-couple débute par une ligne de base droite horizontale tracée à la face supérieure de la

quille. Cette ligne se nomme le plat de la varangue. C'est à partir de cette ligne que se dessinent les arcs de cercle tangentiels à rayons distincts, formant le maître-couple de façon symétrique par rapport à l'axe central de la quille. Dans tous les traités navals de la Renaissance, ce même procédé est répété, suggérant une origine similaire plus ancienne pour ce savoir.

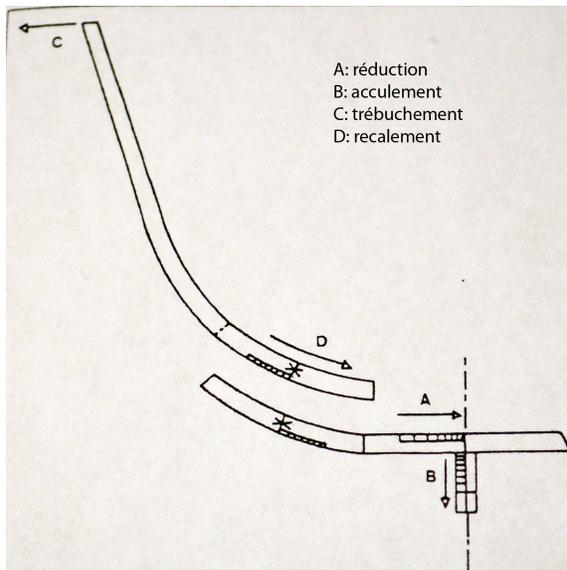


Figure 4.3 : Différents procédés pour modifier les couples à l'avant et à l'arrière du maître-couple. (Rieth, Éric. 1998)

Le maître-couple servait de modèle de base ou de gabarit aux autres couples composant le navire. En effet, la troisième étape se résumait à concevoir les couples gabariés situés à l'avant et à l'arrière du maître-couple, en modifiant progressivement leur forme selon quatre procédures distinctes (figure 4.3). La première (A) se nomme la «réduction du plat» et s'effectuait en diminuant progressivement la longueur du plat de la varangue entre le bouchain et la quille. Les dimensions de chaque membrure

étaient modifiées et délimitaient ainsi le rétrécissement du fond du navire. La seconde modification (B) est «l'acculement du plat» et consistait à relever progressivement le plat dans les couples successifs à l'avant et à l'arrière du maître-couple. Ces deux modifications produisaient ensemble le pincement du fond du navire vers la proue et vers la poupe. La troisième modification apportée au maître-couple dans la conception des couples gabariés est appliquée sur les genoux à partir du bouchain jusqu'à la plus grande largeur du navire. Pour ce faire, les concepteurs avaient le choix entre deux méthodes, le «trébuchement» (C) et le «recalement» (D). Les deux visaient à évaser les flancs du navire au niveau du sommet des genoux, afin d'augmenter la largeur du navire à la ligne d'eau. Cet évasement à la ligne d'eau compensait en effet la réduction de la largeur du plat au niveau du bouchain. On conservait ainsi le volume et la flottabilité du navire à la proue et à la poupe. Les

constructeurs anglais, selon les textes de Baker (c. 1580), obtenaient le résultat désiré en réduisant la corde de l'arc du bouchain et en augmentant réciproquement celle de l'arc du genou. La touche³ inférieure du genou était donc «recalée» vers le bas sur chacun des couples, ce qui modifiait l'angle de projection du genou. Il s'agit du recalement ou *hauling down the futtock* (figure 4.4). Les anciens textes ibériques décrivent plutôt la procédure du trébuchement ou *espalhamento*, qui consistait simplement à incliner le genou vers l'extérieur à partir du bouchain (*covado*), augmentant ainsi l'angle d'inclinaison de couple en couple (Loewen 2007 : 7). Cette inclinaison, à partir de la touche inférieure du genou, créait cependant une rupture qu'il fallait corriger dans la suite géométrique des arcs de cercle tangentiels, contrairement au recalement qui la conservait. À la Renaissance, ces deux variantes semblent indiquer des différences régionales entre la Méditerranée et le Nord-Ouest européen.

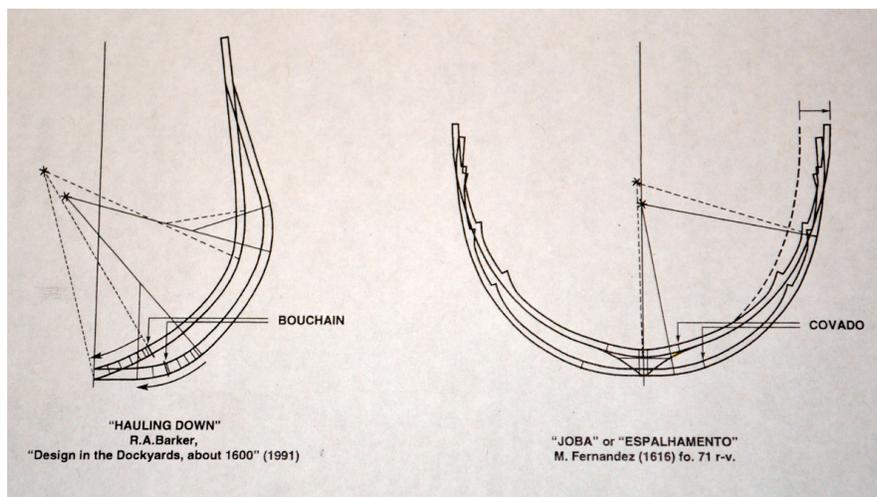


Figure 4.4 : Deux méthodes pour modifier la forme du maître-couple aux couples de balancement. (Loewen, Brad. 2007)

La conception du maître-couple, à l'intérieur de règles géométriques précises, laissait toutefois place à une grande marge de créativité au concepteur et à son expérience. Notre compréhension des trois grandes étapes dans la conception des carènes repose principalement sur les traités illustrés d'architecture navale issus de la Renaissance, comme

³ Le mot «touche» utilisé dans ce mémoire fait référence à la définition mathématique du terme «point d'inflexion».

ceux cités précédemment. Cependant, des exemples plus récents viennent également enrichir nos connaissances sur la conception ancienne des carènes, comme ceux étudiés par Éric Rieth dans *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet. Essai sur la conception non-graphique des carènes du Moyen Âge au XX^e siècle* (Rieth 1996). L'histoire de la construction navale a beaucoup évolué grâce aux recherches internationales en archéologie subaquatique, ainsi qu'aux études historiques traitant de la conception des carènes durant la Renaissance. Une analyse géométrique sur la conception des carènes a pu être réalisée pour la toute première fois vers la fin des années 1990 par Éric Rieth sur l'épave du caboteur de Culip VI (1998). D'autres essais ont été effectués dans ce domaine au cours des années 2000 dans le cadre des travaux sur le navire de *Red Bay* (Grenier *et al.* 2007). Les travaux réalisés par Barker et Loewen sur la conception architecturale des carènes, dont celle du *Mary Rose* (Barker *et al.* 2009), en sont de bons exemples. Ces auteurs ont participé à l'avancement des connaissances sur la conception architecturale des navires antiques. Leurs récents travaux, combinant les épaves et les traités d'architecture navale issus de la Renaissance, sont riches en informations concernant le savoir maritime de l'époque et nous ont conféré l'essentiel de notre approche méthodologique.

4.2 Les variantes observées dans le système géométrique

Tel que mentionné au quatrième chapitre, la théorie de la conception architecturale des navires, reconstruite à partir des textes de la Renaissance, comporte trois grandes étapes. La première est l'établissement des proportions générales du navire selon le tonnage désiré. Ensuite, la deuxième étape consiste en la conception géométrique du maître-couple qui s'effectue à partir de la ligne horizontale du plat de la varangue. L'arc du bouchain, l'arc du genou et l'arc du fort sont organisés de façon à ce qu'ils soient tangents les uns par rapport aux autres. Enfin, dans la troisième étape de conception, les concepteur-charpentiers apportaient des modifications au maître-couple sur les membrures situées à l'avant et à l'arrière de ce dernier (figures 4.5 et 4.6). Ils effectuaient ces modifications à

l'aide de trois procédés, soit l'acculement, la réduction du plat de la varangue et le choix entre deux procédés, le recalement ou le trébuchement (Rieth 1996, 1998 ; Barker 2009).

En effet, le procédé du recalement consistait à réduire la corde de l'arc du bouchain pour augmenter celle de l'arc du genou. La «touche» entre les deux arcs voisins était donc déplacée vers le bas sur chacun des couples, ce qui modifiait l'angle de projection du genou. C'est ce que les Anglais appellent *hauling down the futtock*. Dans l'espace méditerranéen, les textes décrivent plutôt la procédure du trébuchement ou *espalhamento*, qui consistait à incliner ou à évaser le genou vers l'extérieur à partir du bouchain, augmentant ainsi lentement l'angle d'inclinaison d'un couple à l'autre (Loewen 2007 : 7). Notre analyse n'a pas porté sur cet aspect du système géométrique, principalement parce que les dessins techniques de diverses épaves comportent généralement la seule coupe centrale.

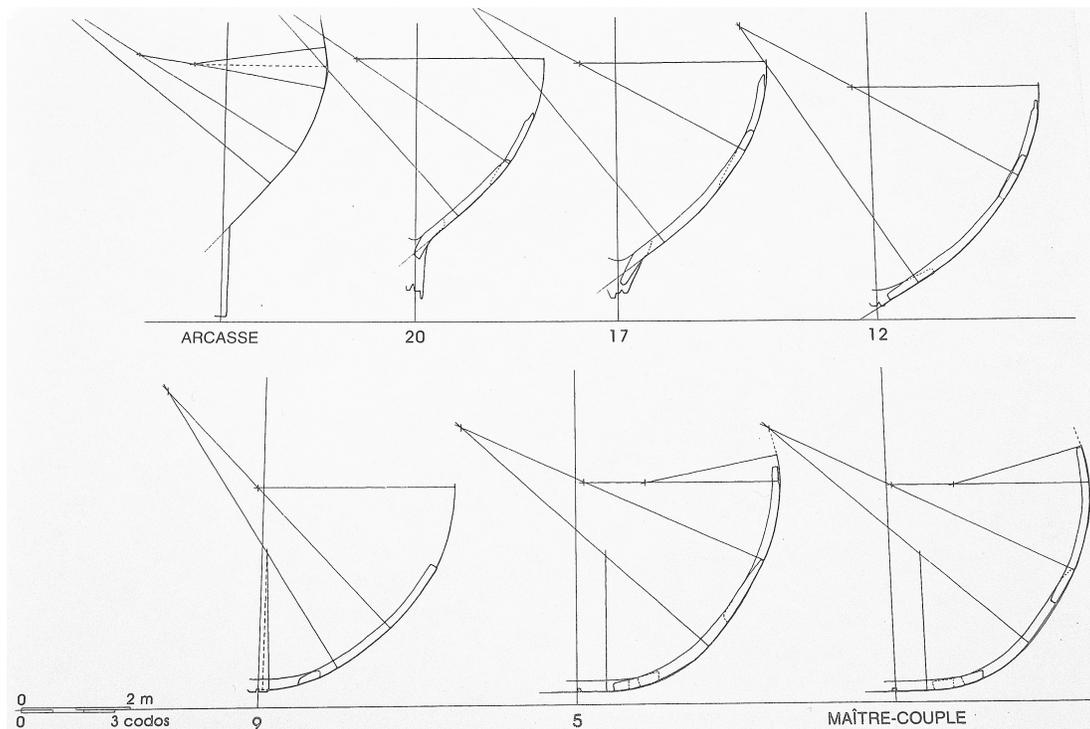


Figure 4.5 : Combinaison des arcs de cercle du maître-couple, pour former les modifications systématiques des couples vers l'arrière du navire de Red Bay. (Loewen, Brad. 2007)

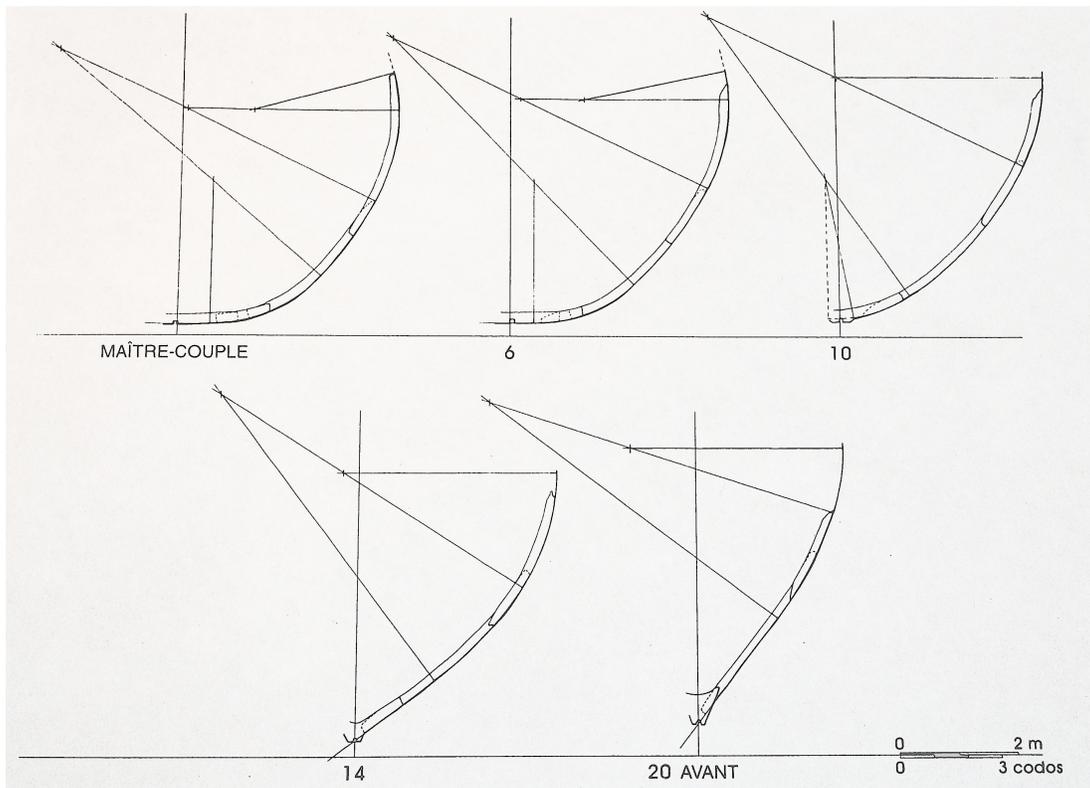


Figure 4.6 : Combinaison des arcs de cercle du maître-couple, pour former les modifications systématiques des couples vers l'avant du navire de Red Bay. (Loewen, Brad. 2007)

4.3 Les unités de mesure

Les traités navals précisent également les unités de mesure servant à la conception des carènes dans leur région. Au Portugal et en Espagne, par exemple, on voit que les constructeurs utilisaient des *codos* propres à leur métier, tandis que les constructeurs anglais utilisaient le pied standard de leur pays. Pour l'analyse des navires vikings, on doit aussi s'interroger sur l'existence d'une unité «standard», sans laquelle il serait ardu de tester notre hypothèse sur la présence du système géométrique dans les épaves.

La métrologie signifie au sens global l'étude des poids et des mesures. Les anciens systèmes de mesure furent formalisés afin de réglementer le commerce. Dans le cadre de

toute recherche archéologique, il importe de s'intéresser à la métrologie dite historique afin d'identifier plus facilement les unités de mesure culturelles associées aux vestiges architecturaux et aux artefacts. Dans son étude de la métrologie retrouvée archéologiquement en Amérique du Nord, Lester Ross explique que pour n'importe quel système de mesure (soit de capacité et de poids pour les matières sèches et liquides, soit de longueur, de surface, ou de volume), des systèmes métrologiques pouvaient apparaître simultanément dans une même société et varier selon les régions et les courants du commerce (Ross 1983 : 38). Les mesures anciennes possèdent donc une spécificité régionale qui devient un outil de provenance des plus importants pour l'archéologue. Toutefois, Ross précise également que :

Le fait de pouvoir se baser sur des étalons de masse, de capacité et de longueur pour divers types de systèmes de mesure est extrêmement important [...] De plus, les étalons utilisés pour mesurer des artefacts doivent être bien connus et il faut pouvoir travailler avec eux facilement afin que les unités culturelles discrètes et les rapports de ces unités puissent être facilement reconnus par le chercheur (Ross 1983 : 12).

Bien que les recherches archéologiques soient rarement orientées sur la métrologie et les systèmes de mesure culturels, il n'en demeure pas moins que la détermination des unités de mesure est essentielle dans l'entreprise de notre analyse. Quelques unités de mesure employées anciennement dans la construction navale sont connues, tel que le *rumo* portugais, le *codo* espagnol ou le *codo de ribera* utilisé sur le littoral basque (Loewen 2007 : 18). Quelles unités de mesure utilisaient les Vikings dans la construction de leurs navires? Est-ce que les pays scandinaves médiévaux, alors sans écriture, possédaient des mesures coutumières et est-ce que ces mesures variaient selon les régions et les villes portuaires commerciales? Il est difficile de savoir avec certitude quelles unités de mesure étaient employées par les peuples scandinaves à l'époque viking. Suite à de nombreuses recherches, l'archéologue danois Ole Crumlin-Pedersen en est venu à la conclusion qu'une

unité d'environ 30 cm pour un pied scandinave était plausible (Crumlin-Pedersen 1986 : 145). Cette mesure semble exister dans les navires vikings étudiés par Crumlin-Pedersen. En outre, elle correspond approximativement au pied hollandais, danois et norvégien de 31,4 cm, au pied anglais et d'Amsterdam faisant 30,48 cm et au pied suédois et finlandais issu du *pous* grec mesurant 29,69 cm. Le pied scandinave proposé par Crumlin-Pedersen demeure toutefois une approximation : c'est pourquoi il est arrondi à 30 cm. Nous avons employé cette mesure dans l'analyse des arcs concentriques, équivalant à un «pied» viking. Cette mesure permet d'ordonner les rayons des arcs successifs selon une échelle métrologique, sans perdre la précision de la méthode pour les rayons plus grands.

4.4 Méthodologie

Selon notre méthodologie, nous voulons analyser les maître-couples des épaves vikings pour vérifier si la méthode géométrique de la Renaissance s'y trouve. Afin de déterminer la composition géométrique du maître-couple des vestiges archéologiques retenus pour cette recherche, une procédure inspirée des travaux de Rieth (1996, 1998) et de Loewen (2007, 2009) a du être instaurée. Déterminer les unités de mesure utilisées par les constructeurs de navires vikings constituait donc la première étape de notre démarche. Ensuite, après avoir pris en considération les déformations possibles subies par les pièces du navire lors de leur conservation, la deuxième étape consiste à chercher des segments d'arcs circulaires apparaissant de manière répétée dans les membrures et le maître-couple. Pour ce faire, sur du papier calque transparent à l'aide d'un compas, nous avons dessiné une suite d'arcs concentriques dont les rayons correspondent aux multiples du pied viking de 30 cm. Ensuite, suivant un processus d'essais et erreurs, nous avons superposé ces arcs sur le dessin technique du maître-couple du navire, et ce, afin de chercher des segments d'arc circulaire similaires dans le maître-couple. Cette première étape sert à élaborer une hypothèse générale sur l'existence d'arcs de cercle et leur utilisation systématique.

Suivant la découverte possible d'arcs circulaires dans le maître-couple, nous avons vérifié si des arcs successifs possédaient entre eux une relation tangentielle. En dessinant deux arcs de rayons différents dans un rapport tangentiel sur le papier calque, il s'avère possible de reconnaître la touche de ces arcs dans les vestiges de l'époque avec une très grande précision, soit dans l'ordre de 1 cm à l'échelle nature. Finalement, nous avons reporté les touches et le point central de ces arcs sur le dessin du maître-couple (Barker *et al.* 2009 : 39). Ainsi, il est possible de reconstituer le système géométrique de conception du maître-couple, mais aussi de démontrer graphiquement les modifications progressives du maître-couple dans les autres couples. Soulignons qu'il est plus difficile de reconstituer la logique de l'évolution des formes de la carène à partir du maître-couple, que de retrouver le maître-couple à travers les couples restitués. Afin de compléter la procédure, il s'agit de décrire les modifications successives dans la corde des arcs concernés, correspondant à la distance en ligne droite entre les touches. Ces étapes sont décrites par Barker et Loewen dans leur ouvrage sur l'épave du *Mary Rose* (Barker *et al.* 2009). Dans ce mémoire toutefois, l'analyse se limite à celle du maître-couple en raison des contraintes imposées par la disponibilité et l'accessibilité des vestiges étudiés (dessins et coupes publiés). Nous allons donc tenter de démontrer, par le biais de l'analyse des formes de la carène, si le concepteur du navire a utilisé des arcs de cercle en rapport tangentiel dans sa conception du maître-couple du navire.

Chapitre 5 L'existence d'une méthode de conception du maître-couple chez les Vikings

La géométrie des carènes fut documentée à l'époque de la Renaissance mais, selon l'analyse des épaves du XVI^e siècle, plonge ses racines dans les pratiques de construction navale plus anciennes (Pomey, 1994 ; Loewen, 1998). L'objectif premier de ce mémoire est de vérifier l'existence du système géométrique dans la conception des navires vikings construits bordé premier par une société sans écriture. Nous avons donc examiné notre corpus d'épaves datant du Moyen Âge scandinave en fonction de la forme de la coque et, plus précisément, celle des membrures, ces éléments transversaux installés en deuxième ordre mais qui pourraient quand même révéler un système de conception architecturale. Nous avons alors vérifié l'existence ou l'absence de ce système géométrique dans une épave antique, une épave pré-viking, et trois épaves de l'âge viking. Les étapes de l'analyse seront présentées à l'aide de dessins réalisés d'abord à la main et mis au propre par ordinateur. L'étude de la forme de la carène des navires sélectionnés pour le corpus doit se baser sur un ensemble de détails architecturaux. Les données recueillies lors des fouilles des cinq épaves et les dessins techniques réalisés par les archéologues serviront à restituer les procédures par lesquelles ces navires ont été conçus et construits.

La forme de la coque et la conception des membrures de chacune des épaves seront présentées dans l'analyse qui suit. En effet, ce sont les formes des membrures et leur position qui sont les données les plus utiles pour reconstituer le système de conception des couples et du maître-couple. Un couple est constitué d'une varangue, d'un genou et d'une ou deux allonges selon la taille du navire (figure 5.1). La varangue est la plus basse des membrures. Elle correspond à la section inférieure qui repose sur la quille. Généralement en forme de «V» ou de «U», la varangue évolue vers la forme d'un «Y» à mesure qu'elle se rapproche des extrémités du navire, soit de la proue et de la poupe.

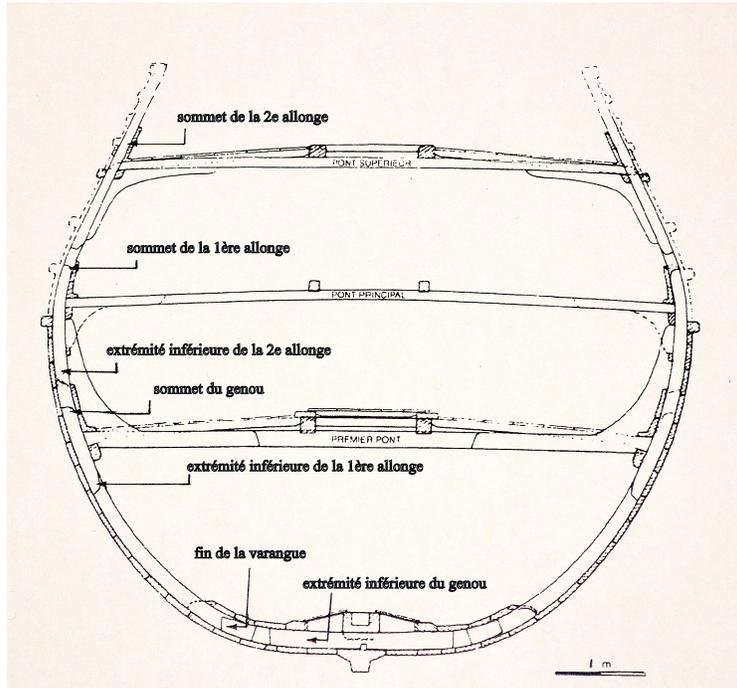


Figure 5.1 : Maître-couple du navire de *Red Bay* et ses composantes. (Grenier *et al.* 2007)

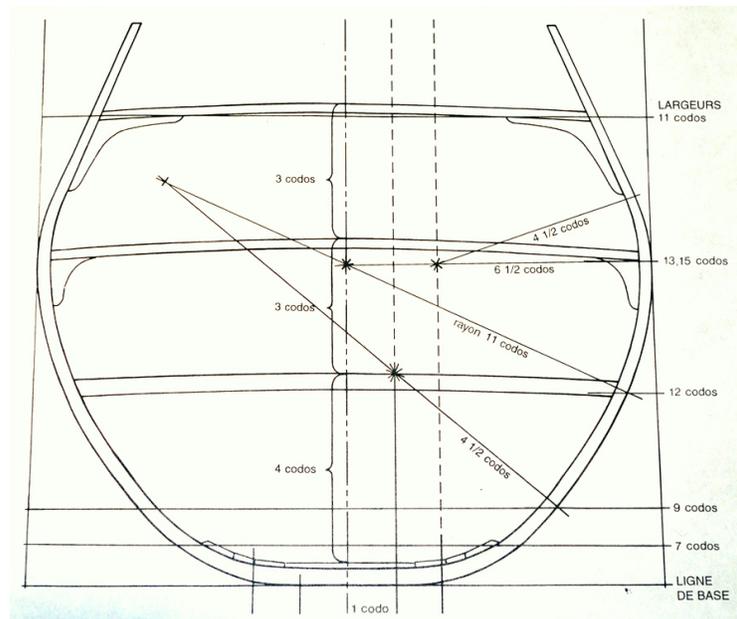


Figure 5.2 : Conception géométrique du maître-couple du navire de *Red Bay*. (Grenier *et al.* 2007)

La varangue est recourbée vers le haut, à ses extrémités : c'est à cet endroit que débute l'arc du bouchain (figure 5.2). Dans le prolongement de cet arc, prend place le genou, une pièce courbée qui s'emboîte à chaque extrémité de la varangue. C'est la deuxième membrure la plus basse après la varangue. La partie inférieure du genou vient donc compléter l'arc du bouchain et la partie supérieure du genou reçoit quant à elle une allonge, la dernière pièce à assembler pour terminer le profil d'un couple. Selon la capacité de charge et la taille du navire, une ou deux allonges sont posées sur la partie supérieure du genou. Contrairement aux varangues, la forme des allonges varie peu d'une extrémité à l'autre du navire.

Dans la présentation de l'analyse de la géométrie de chaque carène à l'étude, il est nécessaire de se référer aux figures analytiques que nous avons préparées. Nous avons la possibilité de présenter les résultats des analyses par le biais d'un logiciel informatique (*Adobe Illustrator*), ou de reproduire les dessins sous forme manuscrite. Toutefois, le problème majeur rencontré avec l'utilisation de ce genre de logiciel de conception, est que la vectorisation des arcs risque de déformer les arcs de cercle en arcs d'ovale ou irréguliers. Bien qu'il soit possible de créer des arcs de cercle avec *Adobe Illustrator*, plusieurs manipulations sont nécessaires afin d'éviter la déformation de ces arcs. Nous avons donc opté pour les dessins réalisés à la main à l'aide d'un compas et d'une règle. De cette façon, nous nous assurons que les arcs circulaires demeurent fidèles à l'analyse. Les détails observés sur les membrures feront l'objet de ce chapitre.

5.1 La barque funéraire de Gokstad

Rappelons que l'épave de Gokstad est le plus ancien des exemples vikings à l'étude, datant de 895 de notre ère. L'analyse visuelle de la coupe centrale montre une largeur totale, jusqu'à la face interne du bordage supérieur, de précisément 16 pieds vikings (figure 5.3). La hauteur, du bas de la quille jusqu'au plat-bord, est de 6,5 pieds vikings. Ces valeurs

tendent à confirmer l'hypothèse d'un pied viking de 30 cm, et les dimensions de d'autres pièces massives abondent dans le même sens (Crumlin-Pedersen 1986 : 145). L'emploi d'un système de mesures cohérent est en soi un indicateur d'un projet architectural organisé.

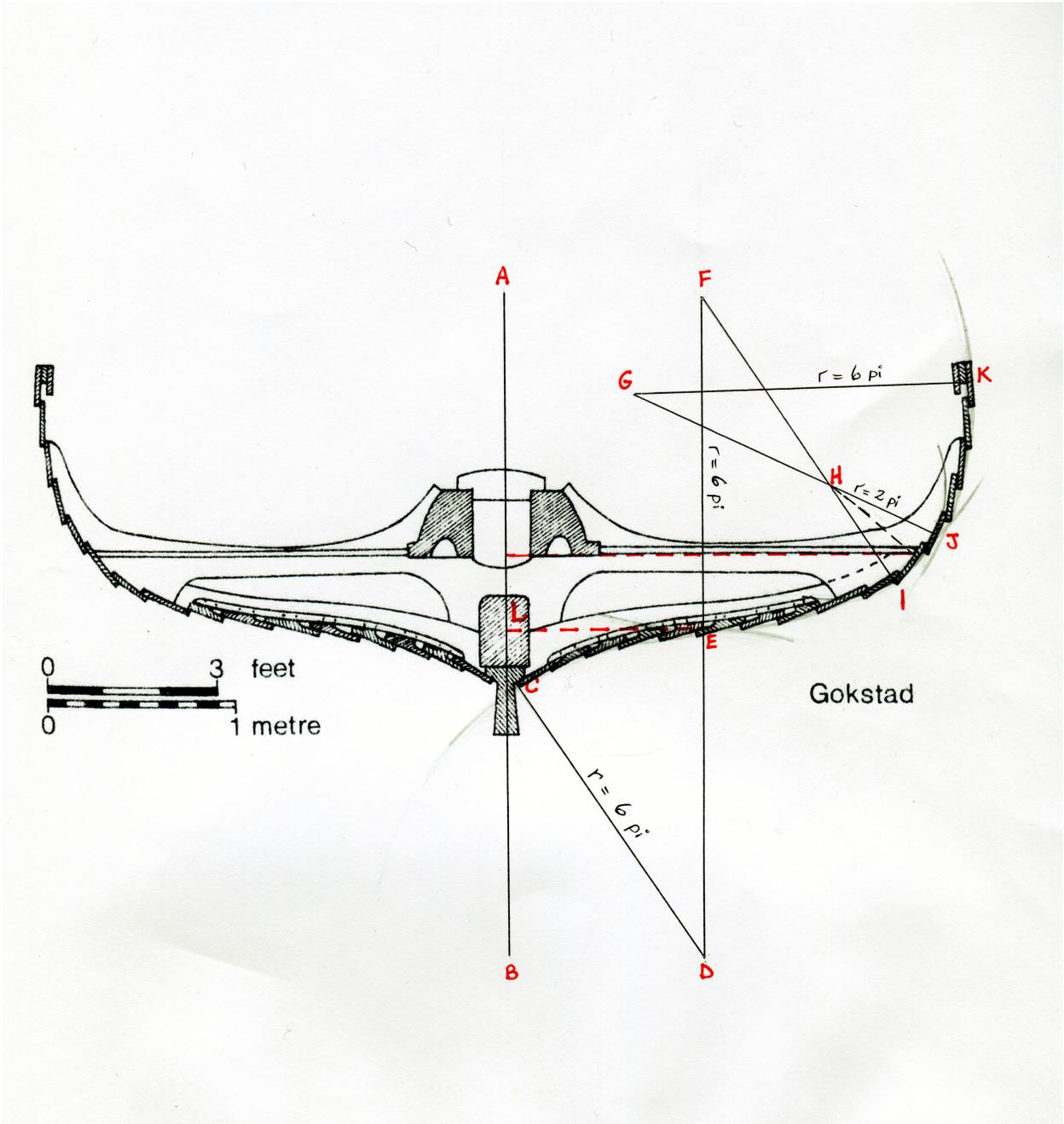
Dans notre analyse, nous privilégions l'arc formé en reliant les adents sur la face externe du couple, soient les crêtes entre deux entailles aménagées par les charpentiers afin d'épouser les clins internes du bordé. Cette méthodologie nous confronte cependant au fait que les bordages 2 à 8, à partir de la quille, présentent en coupe une forme complexe, tandis que les bordages 9 à 16 ont une forme rectangulaire simple. Cette rupture entre les virures 8 et 9, que l'on peut observer à la figure 5.3, rappelle l'observation de Pomey sur l'existence d'un bordage de référence à cette hauteur dans plusieurs épaves antiques (Pomey 2004). Dans le cas du navire de Gokstad, la forme polyèdre des bordages 2 à 8 n'est pas reflétée dans la forme externe du couple, bien que la transition entre les virures 8 et 9 soit assez frappante. Le couple s'insère donc dans les creux entre les bordages à clin sculptés en polyèdre (2 à 8).

Notons que le bordage 1, le galbord, a une coupe rectangulaire simple, à l'instar des bordages 9 à 16. Il s'insère dans la râblure, l'encoche dans la joue de la quille. Il nous apparaît logique de considérer la râblure, et plus précisément le coin au fond de cette encoche, comme le point de départ du système géométrique du couple puisque c'est à cet endroit que débute l'assemblage du bordé formant la structure de la carène.

Enfin, il est évident que la coupe centrale de la carène de Gokstad n'a pas de fond plat, contrairement au système géométrique décrit dans les textes de la Renaissance. Le plat de la varangue, s'il existait dans la conception, serait donc absent dans la charpenterie du navire de Gokstad. Ce fait n'est toutefois pas problématique en soi, car certains documents de la Renaissance, notamment celui de Lavanha (1620), décrivent que les concepteurs et charpentiers ajoutaient un «relèvement» théorique au maître-couple, à partir duquel ils projetaient le plat de la varangue horizontale. Ensuite, pour compléter l'arc concave dans la zone du relèvement du plat de la varangue, ils inversaient le gabarit pour tracer un arc de

revers. Notre analyse a donc cherché le plat de la varangue théorique, que nous avons indiqué avec une ligne pointillée (LE). Dans un dernier temps, nous avons cherché à comprendre la logique, qu'elle soit théorique, empirique ou les deux, dans le tracé de l'arc de revers.

La reconstitution de la coupe transversale utilisée pour l'analyse du navire de Gokstad est basée sur le dessin du maître-couple original réalisé par W. Dammann et W. Seiss du *Arbeitskreis historischer Schiffbau*. Ce même croquis a été repris par les auteurs Richard Steffy (1998) et Sean McGrail (2001). Nous avons choisit l'image de la coupe apparaissant dans l'ouvrage de McGrail pour la qualité de son impression (McGrail 2001 : 209). La reconstitution du maître-couple du navire de Gokstad est donc issue de relevés de terrain originaux. En étudiant la conception de cette pièce maîtresse, il s'est avéré possible de déceler un système géométrique semblable à celui décrit dans les textes du XVI^e et XVII^e siècle. L'analyse du tracé du maître-couple de Gokstad a permis de découvrir la présence de quatre arcs de cercle tangentiels, soient les arcs CE, EI, IJ et JK avec leurs points centraux respectifs identifiés par les lettres D, F, G et H.



1 pi = 30 cm

Figure 5.3 : Analyse géométrique du maître-couple du navire de Gokstad. (McGrail, Sean. 2001)

La conception géométrique du maître-couple débute par le plat de la varangue, représenté par la ligne horizontale LE, d'une longueur de 3,5 pieds, au bout de laquelle se dessine un premier arc EI. La hauteur de la ligne du plat de la varangue LE se situe donc au point d'inflexion ou point de contact entre les arcs CE et EI. Vient ensuite l'arc du bouchain IJ. D'un rayon de 2 pieds, on observe que cet arc est très prononcé. L'arc du bouchain est tangent à l'arc EI par le point de contact I (la touche). L'arc du bouchain est également beaucoup plus petit que le troisième arc, celui du genou, par un ratio de 1 : 3. La courbe du maître-couple se termine au sommet de l'arc du genou JK. D'un rayon de 6 pieds, l'arc du genou est tangent à l'arc du bouchain au point de contact J (la touche). C'est la ligne GHJ qui marque cette tangente. Enfin, l'angle FEL formé par le point central de l'arc EI, le plat de la varangue (LE) et la touche (E) entre le plat et l'arc EI forme un angle droit. En positionnant la ligne du plat de la varangue à la hauteur où débute l'arc du bouchain, nous avons observé que cela avait pour effet de créer un angle droit entre cette ligne théorique et le rayon de l'arc du bouchain⁴.

On note la présence d'un quatrième arc de forme concave et situé sous le plat de la varangue. L'arc de cercle CE possède un rayon de 6 pieds, identique à l'arc du genou. L'arc du plat de la varangue EI et l'arc CE sont tangentiels à la touche marquée par la lettre E, par la ligne DEF. Le centre du cercle formé par l'arc CE est représenté par la lettre D, située à l'extérieur du tracé du maître-couple.

Tous ces agencements d'arcs de cercle mis en relation tangentielle ne sont pas l'œuvre du hasard. Ils sont la preuve tangible que la conception du maître-couple du navire de Gokstad fut effectuée à partir des principes du même système géométrique documenté à l'époque de la Renaissance. Les arcs de cercle CE, EI, IJ et JK sont conformes aux critères géométriques requis puisque leurs rayons correspondent à des multiples du pied viking et qu'ils sont tangentiels les uns par rapport aux autres. Nous avons vu précédemment que,

⁴ La présence de cet angle droit a été observée systématiquement sur chacune des épaves, à l'exception du navire de Nydam. Ce détail architectural dans la structure des carènes analysées ne semble pas être un reflet de la nature des vestiges, mais serait plutôt causé par la méthode d'analyse elle-même.

lorsque deux arcs adjacents sont en relation tangentielle, trois points précis doivent se retrouver sur une même ligne droite : les points centraux de ces deux arcs et leur point de contact, leur touche. Ainsi, les lignes DEF, IHF et JHG marquent les tangentes entre les arcs successifs, en passant sur les points centraux des arcs adjacents. Ce rapport confirme la relation tangentielle des arcs de cercle successifs.

Les courbes CE et JK suivent une ligne reliant les adents, ou les crêtes externes de la membrure, aux endroits où se situent les joints à clin du côté interne du bordé. Selon cette observation, les membrures furent dessinées selon la plus grande dimension du bois au moment de leur conception, c'est-à-dire, selon leur dimension d'origine. Elles auraient été ensuite entaillées pour épouser la forme interne du bordé à clin. Notons que notre analyse ne cherche pas à établir l'ordre d'assemblage des membrures et du bordé, mais bien de déceler la géométrie de conception. En analysant la conception du maître-couple du navire de Gokstad, d'autres preuves de l'utilisation du système géométrique deviennent évidentes. Ainsi, la projection horizontale du plat de la varangue (LE) s'aligne sur la surface supérieure de la varangue à la quille, alors que le milieu de l'arc du bouchain correspond à la face supérieure du renfort transversal. Enfin, soulignons que le pied viking qui régit les dimensions générales du navire est aussi à la base du système géométrique reconstitué. Ce constat appuie la proposition émise par Ole Crumlin-Pedersen sur le pied viking de 30 cm.

Ces détails architecturaux ne sont pas l'œuvre du hasard, mais bien celle des constructeurs. Par la démonstration de notre analyse, il est maintenant possible d'affirmer que la conception géométrique du maître-couple de Gokstad suit les principes décrits dans les textes des XVI^e et XVII^e siècles. L'existence du système géométrique d'arcs circulaires tangentiels dans la conception du navire de Gokstad apparaît alors très réelle. Il reste cependant à savoir si ce résultat pourra être obtenu sur d'autres épaves.

5.2 Le navire de Skuldelev 1

L'épave de Skuldelev 1 fait partie d'un ensemble de navires découverts dans le fjord de Roskilde au Danemark. Ce *knarr* datant du début du XI^e siècle a été conçu dans la plus pure tradition viking : propulsé d'une grande voile carrée, il fut assemblé à clin à l'aide de rivets de fer selon la méthode de construction bordé premier. L'analyse visuelle de la coupe centrale montre une largeur totale, jusqu'à la face interne du bordage supérieur, de 14,5 pieds vikings de 30 cm (figure 5.4). La hauteur du bau, du bas de la quille jusqu'au plat-bord, est de 6,25 pieds vikings. Bien que la coupe centrale ne montre pas de fond plat, contrairement au système géométrique décrit dans les textes de la Renaissance, le plat de la varangue est bien représenté dans la charpenterie de ce navire. En effet, un renfort (*biti*) d'une longueur de 3,15 pieds vikings, suivant le plat de la varangue, fut inséré dans la construction de ce navire. Ces dimensions relevées, comme pour celles de l'épave de Gokstad, tendent à confirmer l'hypothèse d'un pied viking de 30 cm environ (Crumlin-Pedersen 1986 : 145).

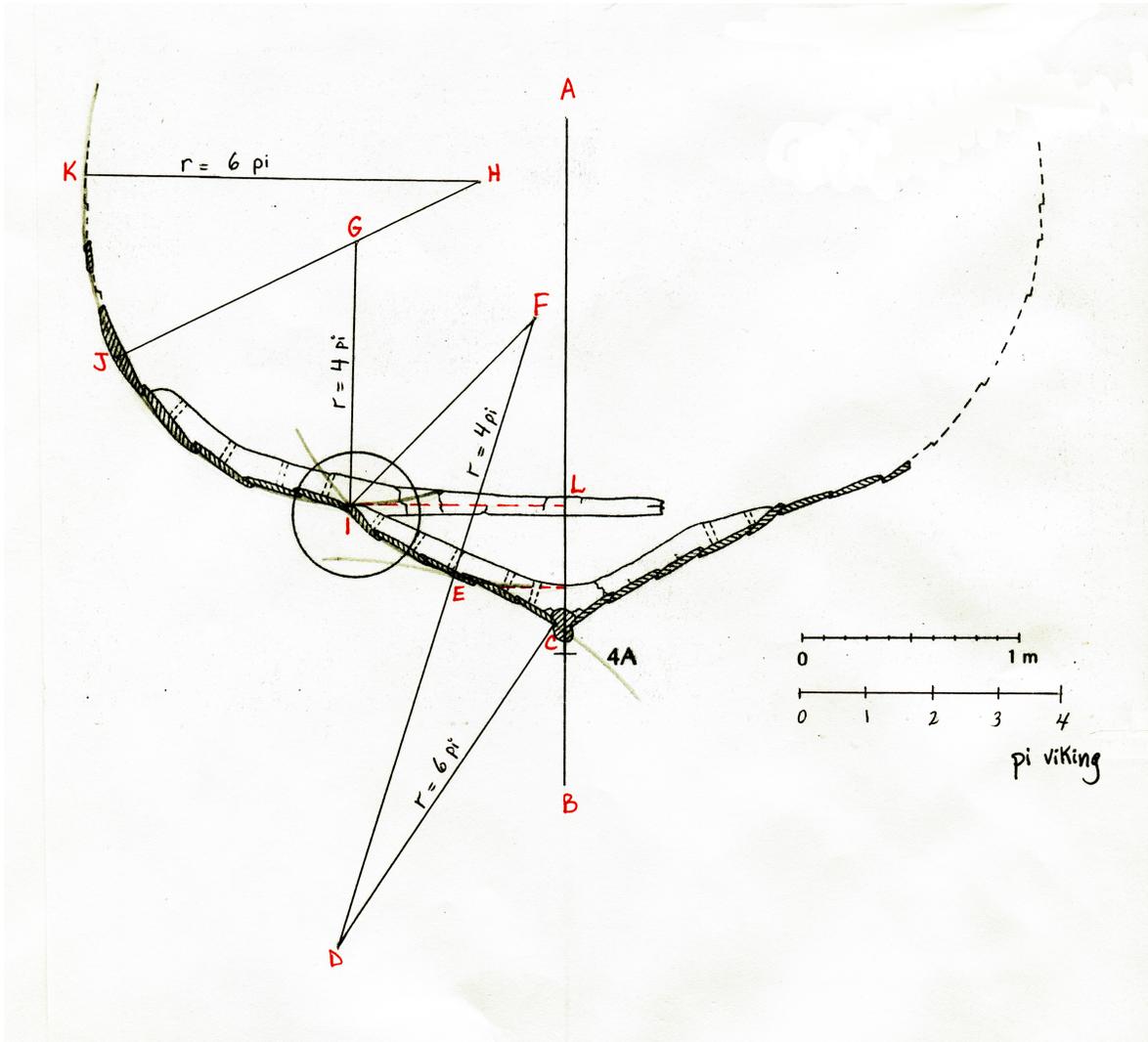
L'analyse de la coupe centrale du navire de Skuldelev 1 démontre des traces d'utilisation d'un système élaboré de conception. La présence du *biti* comme élément de transition entre le haut et le bas de la carène en est un exemple. Le *biti* (figure 3.18) est une pièce horizontale d'une longueur correspondant à la largeur interne de la carène, qui, posée au-dessus des membrures, apporte un renfort aux baux transversaux. Selon le procédé de construction bordé premier, la charpente axiale est d'abord assemblée, suivie des bordages du fond, les cinq premiers dans le cas de Skuldelev 1. Les varangues montent jusqu'au cinquième bordage de chaque côté de la quille et viennent donc soutenir les bordages déjà assemblés. Plus haut, un assemblage de genoux et d'allonges s'occupe de renforcer les bordages 6 à 12. Dans la coupe centrale, on note une rupture flagrante dans la courbe de la membrure aux virures 5 et 6. Le cinquième bordage a été taillé et positionné de façon à augmenter la force longitudinale de la carène. Il joue un rôle particulier dans le processus de construction. Le *biti*, inséré à la hauteur du cinquième bordage, renforce et lie le bas du

bordé (bordages 1 à 4) au haut du bordé (bordages 6 à 12). Comme dans le cas du navire de Gokstad, ce renfort participe à la conception de la coupe centrale. Ces observations laissent présager l'emploi d'un système de conception architecturale particulier, propre aux charpentiers vikings, dont la logique repose dans la coupe transversale.

Également relevé sur le navire de Gokstad, le premier bordage du navire de Skuldelev 1, le galbord, a une coupe rectangulaire simple et s'insère dans la râblure (l'encoche pratiquée dans la joue de la quille). Nous considérons donc la râblure, et plus précisément le coin au fond de cette encoche, comme le point de départ de notre analyse.

Nous privilégions pour notre analyse l'arc formé en reliant les adents sur la face externe du couple, laissés en place par les charpentiers lorsqu'ils entaillaient les membrures, afin d'accueillir les clins internes du bordé. Les bordages 1 à 4, à partir de la quille, ont une forme rectangulaire simple, tandis que les bordages 6 à 12 ont en coupe une forme complexe. Le cinquième bordage possède une forme particulière à lui seul. Cette rupture entre les virures 5 et 6, à la hauteur du *biti*, rappelle l'observation de Patrice Pomey sur l'existence d'un bordage de référence faisant le lien entre le haut et le bas du bordé dans plusieurs épaves antiques méditerranéennes (Pomey 2004).

La coupe centrale utilisée pour l'analyse de la carène du navire de Skuldelev 1 est tirée de l'ouvrage de Ole Crumlin-Pedersen, *Skuldelev Ships I*, publié en 2002 (Crumlin-Pedersen 2002: 131). La reconstitution «lissée» de la coupe (ou *torso-drawing*), publiée à l'échelle de 1 : 80, provient de l'étude définitive de l'épave. Sa préparation, au Viking Ship Museum de Roskilde, a été réalisée en plusieurs étapes. D'abord, toutes les pièces retrouvées sur l'épave sont dessinées à l'échelle 1 : 1 sur papier transparent afin d'y noter le plus grand nombre de détails possibles (traces d'outillage, position des clous, etc.). Ensuite, chacun de ces dessins est réduit à une échelle de 1 : 10 pour être découpé et monté sur une maquette en carton. Cette maquette servira ultérieurement de modèle à la conception d'une maquette en bois à l'échelle 1 : 10 à laquelle les gréements et la voilure sont ajoutés. Enfin, cette démarche permet la construction grandeur nature du navire.



1 π = 30 cm

Figure 5.4 : Analyse géométrique du couple 4A du navire Skuldelev 1. (Crumlin-Pedersen, Ole. 2002)

Les vestiges étant plus complets pour le couple 4A que pour le maître-couple, nous avons donc sélectionné cette membrure pour notre étude. Elle se nomme ainsi puisqu'elle occupe la quatrième position située à l'arrière du maître-couple, vers l'étambot. Tout comme pour le navire de Gokstad, la mesure de 30 cm pour le pied viking fut utilisée afin d'estimer le rayon des arcs constituant ce couple (Crumlin-Pedersen 1986 : 145). On distingue au total deux paires d'arcs circulaires tangentiels dans la conception du couple à l'étude. Les arcs CE et EI, avec leurs points centraux respectifs D et F, forment la première paire située sous la ligne du plat de la varangue (LI). Les arcs IJ et JK, avec leurs points centraux respectifs G et H, forment la seconde paire d'arcs circulaires tangentiels au-dessus du plat de la varangue.

La ligne verticale ALB correspond à l'axe central du navire. Le tracé du couple débute par une ligne horizontale LI, le plat de la varangue, relevée à une hauteur de 2 pieds au-dessus de la base de la quille. Au bout du plat, se projète l'arc du bouchain IJ. Cet arc circulaire d'un rayon de 4 pieds est suivi de l'arc du genou, possédant quant à lui un rayon de 6 pieds. Ces deux arcs circulaires sont tangentiels à la touche indiquée par la lettre J. Les arcs JK et IJ sont alors en relation tangentielle puisqu'on retrouve sur la ligne JGH les points centraux de ces arcs, G et H, et leur point de contact J. Similaire au navire de Gokstad, on note les observations suivantes : 1- le rayon de l'arc du genou est de gabarit supérieur à celui de l'arc du bouchain, et 2- l'angle GIL formé par le point central de l'arc du bouchain, le plat, et la touche entre le plat et l'arc du bouchain, est à angle droit⁵. La courbe de la membrure se termine au sommet de l'arc du genou, qui correspond au 12° bordage du bordé à clin.

Revenons maintenant à la paire d'arcs circulaires tangentiels, se trouvant sous la ligne du plat de la varangue. Il s'agit des arcs CE et EI. L'arc du plat de la varangue EI est de même rayon que l'arc du bouchain, soit 4 pieds. En effet, les arcs voisins EI et IJ forment un seul et même arc, qui est brisé, ou «trébuché», de précisément 45° au point de basculement I (l'angle FIG est de 45°). L'arc de cercle CE, débutant dans la râblure de la

⁵ Se référer à la note explicative située au bas de la page 82.

quille, est inversé par rapport aux trois autres. C'est pourquoi on retrouve son centre, identifié par la lettre D, à l'extérieur du tracé du couple 4A. L'arc CE, d'un rayon de 6 pieds, est de même gabarit que l'arc du genou JK. L'arc CE est tangent à l'arc EI au point de contact E. La ligne DEF marque cette relation tangentielle, puisqu'on y retrouve les points centraux D et F ainsi que la touche identifiée par la lettre E. Si on compare la mesure du rayon de chacun de ces arcs, il apparaît clairement qu'ils respectent un ratio de 2 : 3, et qu'ils peuvent être basés sur une unité de 30 cm de longueur.

La lettre I marque la position d'un point important dans l'architecture du navire. Elle se situe à la fin de la ligne du plat de la varangue et au début de l'arc du bouchain, lesquels sont disposés selon l'angle droit GIL. La lettre I correspond à la position du 5^e bordage dans la construction du bordé à clin, appelé *meginhufr* (Steffy 1998: 105). Ce bordage a la particularité d'être taillé légèrement plus épais que les autres, afin de consolider la force longitudinale du navire. Il joue un rôle important dans la structure de la carène, comme élément de transition entre le haut et le bas du bordé. Les constructeurs ont fait monter les varangues jusqu'au *meginhufr* de chaque côté (Crumlin-Pedersen 2002 : 131). De cette façon, elles viennent donc renforcer et soutenir les cinq premiers bordages. Un assemblage de genoux et d'allonges s'occupent de supporter les bordages du haut (6 à 12). Skuldelev 1 fut construit selon le procédé de construction bordé premier alterné. Les varangues n'ont été insérées qu'une fois la charpente axiale mise en place, après la pose des cinq premiers bordages.

Le couple analysé du navire Skuldelev 1 a permis de découvrir que sa conception a suivi la séquence classique du système géométrique : le plat de la varangue horizontal, l'arc du bouchain et l'arc du genou. En outre, sous le plat de la varangue, on voit aussi l'emploi d'un système géométrique basé sur les mêmes arcs de cercle, mais dont l'originalité dans notre corpus empêche d'en saisir parfaitement le procédé. Les preuves de l'utilisation du système géométrique des arcs de cercle sont donc bien présentes dans la conception du navire de Skuldelev 1. Dans ce cas, toutefois, le tracé du couple 4A démontre un point de

rupture volontaire dans la suite d'arcs tangentiels. En effet, les arcs voisins EI et IJ, de rayon identique, forment un arc brisé à la lettre I. Ce point de rupture n'est pas sans rappeler le point de basculement que certains textes de la Renaissance associent au «trébuchement» (Rieth 1996). Ce procédé démontre alors un aspect supplémentaire du savoir architectural naval retrouvé dans les textes du XVI^e et XVII^e siècle, mais dans un navire viking à clin du XI^e siècle.

5.3 Le navire de Skuldelev 2

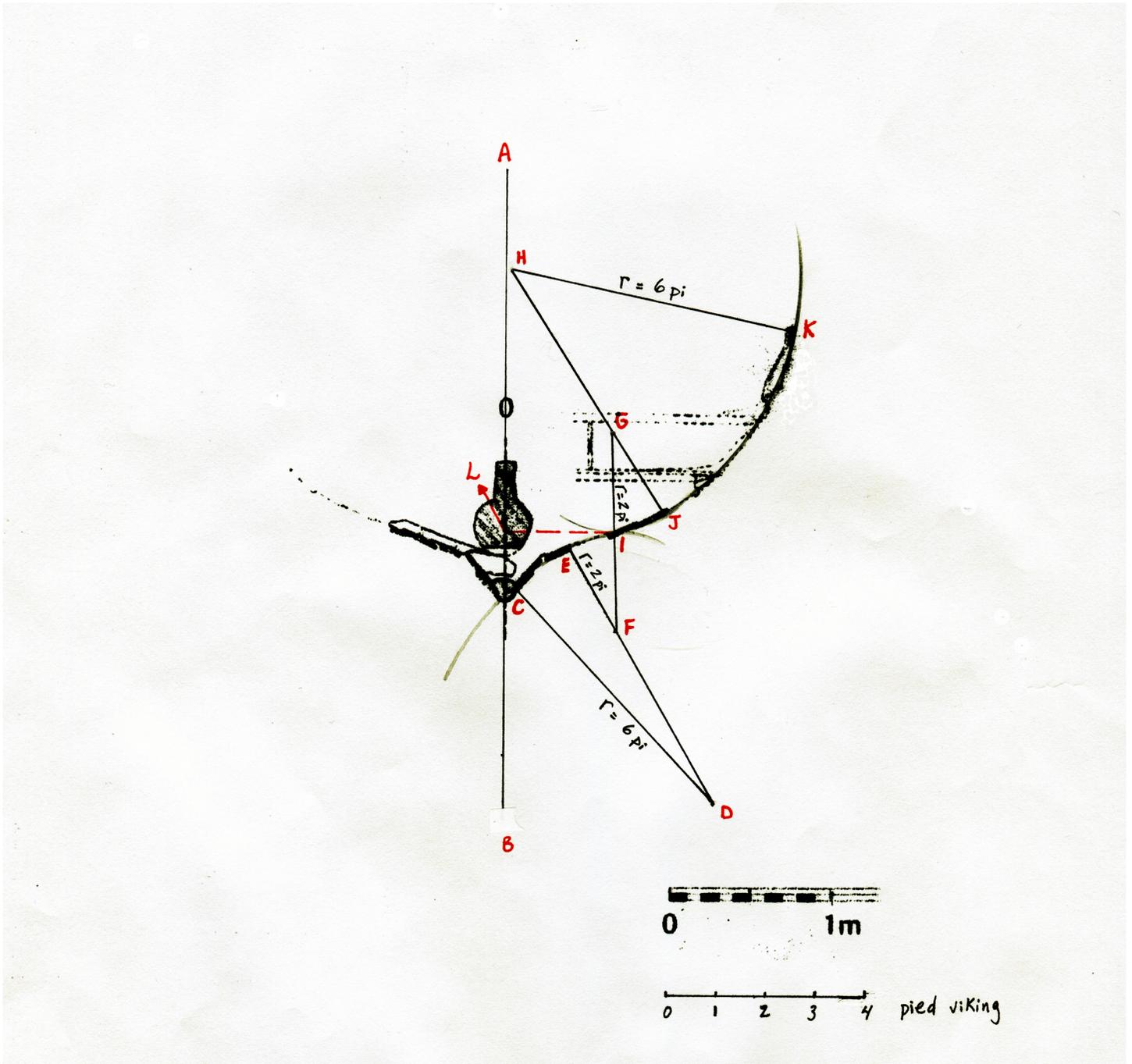
L'épave du navire de Skuldelev 2 fait partie du même contexte de découverte que Skuldelev 1. Coulé intentionnellement en 1070 avec cinq autres navires dans le fjord de Roskilde pour créer un barrage contre l'ennemi, Skuldelev 2 est un *drakkar*, ou *langship*, un navire de guerre construit autour de 1040 en Irlande selon les traditions scandinaves de charpenterie. Les bordages, assemblés à clin selon le procédé de construction bordé premier alterné, étaient fixés les uns aux autres à l'aide de clous en fer à tête ronde et de rivets. Arborant un mât amovible et une voilure carrée, ce navire possédait une coque en «V» étroite et peu profonde. La forme de sa carène alliait vitesse et stabilité, une formule idéale pour la navigation en milieu côtier lors des raids, et même en haute mer. Sa date de construction le positionne comme le navire le plus récent de notre corpus. La forme de la carène de ce navire a pu être restituée par le biais des mesures prélevées sur les vestiges de l'épave. Comme l'exemple précédent traitant du navire de Skuldelev 1, les relevés de terrain ont par la suite fait l'objet de maquettes (carton et bois) à l'échelle 1 : 10. Cependant, vu l'état partiel des vestiges (25 %) ayant servi à produire cette reconstitution «lissée»⁶ de Skuldelev 1, les résultats de notre analyse sont moins confiants. Nous nous sommes demandés quelles conclusions nous pouvions obtenir à partir de données plus fragmentaires tout en jugeant la démarche des chercheurs du musée de Roskilde défendable et rigoureuse.

⁶ Fait référence au terme *torso-drawing* utilisé en anglais.

L'analyse visuelle de la coupe centrale révèle une largeur totale, au niveau du bordage supérieur, de 12 pieds vikings de 30 cm (figure 5.5). Sa hauteur, du bas de la quille jusqu'au plat-bord, est de 6 pieds vikings. Comme dans les cas de Gokstad et de Skuldelev 1, ces dimensions tendent à confirmer la mesure de 30 cm pour 1 pied viking (Crumlin-Pedersen 1986 : 145). Tel que décrit précédemment dans l'analyse des navires de Gokstad et de Skuldelev 1, nous considérons la râblure de la quille comme le point de départ du système géométrique du couple analysé. Conforme à notre méthodologie, nous privilégions pour l'analyse du navire de Skuldelev 2 l'arc formé en reliant les arêtes, ou adents, sur la face externe du couple, qui séparent les entailles où les clins internes du bordé s'encastrent.

Comme chez les navires précédents, la coupe centrale de la carène de Skuldelev 2 n'a pas de fond plat. Le plat de la varangue est donc absent dans la charpenterie de ce navire. Rappelons que cette absence ne semble pas constituer un problème de conception, puisque certains auteurs de la Renaissance présentent la méthode utilisée par les charpentiers pour ajouter, de façon théorique, un «relèvement» au maître-couple. C'est à partir de cette ligne théorique qu'ils projetaient ensuite le plat de la varangue (Baptista Lavanha 1620). Pour compléter la forme de la varangue sous le plat, ils inversaient le gabarit de l'arc du bouchain pour tracer un arc concave, dit de revers. Notre analyse de la coupe du navire de Skuldelev 2 a donc relevé le plat de la varangue théorique, que nous avons indiqué avec une ligne pointillée (LI).

La reconstitution du maître-couple du navire de Skuldelev 2 à l'échelle 1 : 80 a été publiée dans *Skuldelev Ships 1* (Crumlin-Pedersen 2002: 174). Toutefois, compte tenu du faible pourcentage (25%) de conservation des vestiges de ce navire, la valeur scientifique de sa reconstitution s'en trouve affectée et par conséquent, cela remet en doute la fiabilité de notre analyse. Soulignons que la qualité de préservation des vestiges est une donnée fondamentale pour l'évaluation de la qualité scientifique des relevés et des reconstitutions. Sous cette réserve, nous avons relevé la présence de quatre arcs circulaires tangentiels dans la conception du maître-couple du navire de Skuldelev 2 : les arcs CE, EI, IJ et JK.



1 pi = 30 cm

Figure 5.5 : Analyse géométrique du maître-couple du navire Skuldelev 2. (Crumlin-Pedersen, Ole. 2002)

Suivant la séquence géométrique, le tracé du maître-couple débute par la ligne horizontale du plat de la varangue LI. Deux arcs circulaires tangentiels se succèdent au-dessus de cette ligne : l'arc du bouchain IJ et l'arc du genou JK. Leurs rayons mesurent respectivement 2 et 6 pieds vikings. La lettre H représente le centre du cercle formé par l'arc du genou JK, et la lettre G le point central de l'arc du bouchain IJ. L'arc du bouchain et l'arc du genou sont en relation tangentielle par la ligne HGJ, sur laquelle sont présents les deux points centraux de ces arcs et la touche identifiée par la lettre J. Notons l'angle droit GIL, impliquant le centre de l'arc du bouchain et la ligne du plat. La présence d'un angle droit formé par la ligne théorique du plat de la varangue et le rayon de l'arc du bouchain a également été relevée dans l'analyse des autres navires à l'étude⁷. Le tracé du maître-couple se termine au sommet de l'arc du genou. Les résultats de l'analyse géométrique du navire de Skuldelev 2 démontrent que les rapports de proportions entre ces deux arcs circulaires sont conservés : l'arc du bouchain a été dessiné à partir d'un rayon plus petit que celui de l'arc du genou. Cette observation a aussi été relevée dans l'analyse des navires de Gokstad et de Skuldelev 1. Dans le cas du navire de Skuldelev 2, le ratio entre le rayon de l'arc du bouchain et celui de l'arc du genou est de 1 : 3.

Sous la ligne du plat de la varangue, nous proposons l'existence de deux autres arcs de cercle tangentiels successifs, soient les arcs CE et EI. Leurs points centraux respectifs sont marqués par les lettres D et F. L'arc inversé CE, partant au fond de la râblure, possède un rayon de 6 pieds, alors que le rayon de l'arc du relèvement EI mesure 2 pieds. Les arcs CE et EI sont en relation tangentielle par l'existence de la ligne DFE, le long de laquelle on retrouve le point de contact E et les centres D et F.

La ligne verticale formée par les lettres ALB situe l'axe central du navire. De plus, on note que l'arc du relèvement EI a le même rayon de 2 pieds que l'arc du bouchain IJ. Le concepteur-charpentier aurait donc utilisé un gabarit identique pour dessiner ces deux arcs de cercle, sauf qu'il l'aurait inversé pour créer l'arc du relèvement situé sous la ligne du plat

⁷ Se référer à la note explicative située au bas de la page 82.

de la varangue. Ces deux arcs, EI et IJ, sont en relation tangentielle par le tracé de la ligne FIG, où l'on retrouve leurs points centraux F et G, ainsi que la touche I.

Notre analyse du maître-couple du navire de Skuldelev 2 révèle, tout en considérant la qualité discutable de sa reconstitution, quatre arcs circulaires successifs. Ces derniers observent tous un rapport tangentiel. Les mesures des rayons de ces arcs de cercle tangentiels respectent un ratio de 1 : 3, alors que les dimensions des éléments structuraux analysés, telle que la hauteur et la largeur du navire, ont été établies à partir d'un ratio 1 : 2. Ces ratios tendent également à conforter l'hypothèse de l'emploi d'un système proportionnel et géométrique par les constructeurs. En effet, pour que leurs navires aient atteint un niveau de performance et de polyvalence inégalé à l'époque, les charpentiers vikings se devaient de respecter certains principes de flottabilité communs à toutes embarcations. Par exemple, les arcs circulaires présents dans la conception de la coque d'un navire doivent être tangentiels et positionnés de façon successive afin de former une structure géométrique et équilibrée apte à naviguer. De ce fait, l'analyse de la forme de la carène des trois navires vikings retenus pour notre étude doit s'appuyer sur un ensemble de données archéologiques. Les vestiges d'épaves retrouvés dans leur contexte maritime et les résultats des fouilles archéologiques entreprises, servent de fil conducteur pouvant mener à la restitution des méthodes de construction avec lesquelles ces navires ont été conçus.

5.4 Deux autres exemples à l'extérieur de l'espace-temps viking

L'emploi apparent du système d'arcs de cercle tangentiels dans la conception du maître-couple des navires vikings analysés, soulève la question de l'origine temporelle et spatiale de ce savoir que possédaient vraisemblablement les Vikings. Rappelons que la première description de ce système de conception géométrique apparaît dans les traités d'architecture navale de la Renaissance. Afin de tenter une possible réponse, nous avons

analysé une épave scandinave datant d'une époque antérieure aux navires vikings et une seconde épave provenant d'un autre espace maritime.

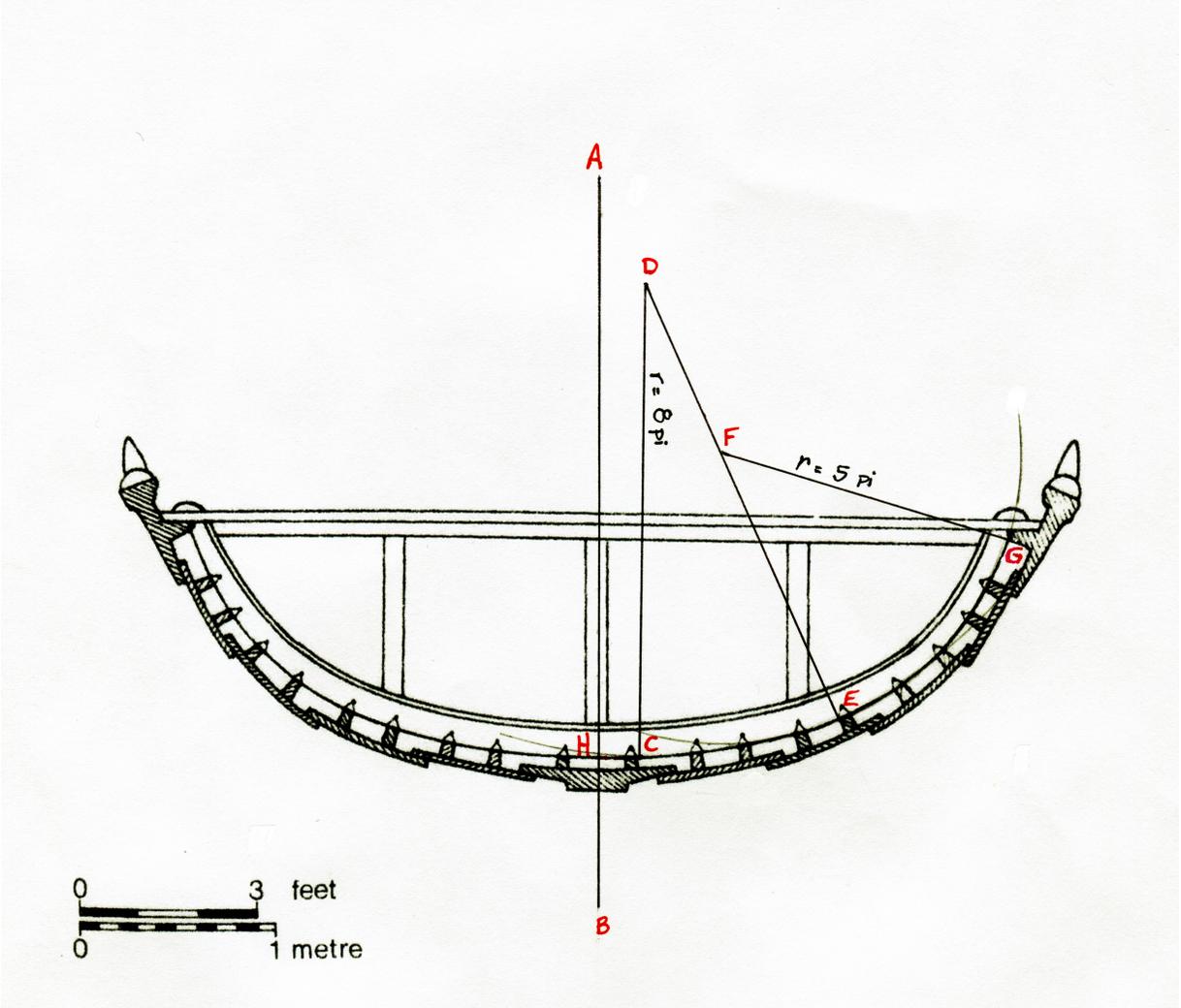
5.4.1 Le navire de Nydam

Le navire de Nydam, considéré comme l'ancêtre immédiat des navires vikings du Moyen Âge, est le tout premier exemple de bateau construit à clin assemblé à l'aide de clous et de rivets de fer, qui caractériseront ultérieurement les navires vikings en Scandinavie (Greenhill 1995 : 177). Certains auteurs voient dans l'espace scandinave une transition accélérée de l'ancienne technologie des pirogues monoxyles vers la construction évoluée des Vikings, au cours des IV^e et VI^e siècles après J.-C., période pour laquelle l'épave de Nydam est le principal témoin à ce jour (Rieck 1994 ; Greenhill 1995). Afin de trouver l'origine temporelle de ce savoir que possédaient vraisemblablement les Vikings, nous proposons d'analyser cette épave datant d'une époque pré-viking, mais qui présente des caractéristiques structurelles scandinaves.

Le navire de Nydam relève d'une construction peu commune, qui combine une membrure non entaillée et un bordé à clin surmonté de taquets, qui forment le plan de contact avec la membrure. Soulignons la présence de vides entre les bordages à clin et la membrure, de l'épaisseur des taquets. L'analyse portera alors sur la face externe de la membrure, qui n'est pas entaillée. Pour notre analyse, nous avons utilisé la reconstitution de Åkerlund (1963) produite d'après son étude des relevés de terrain originaux de Engelhardt et des pièces conservées au Archaologisches Landesmuseum de Schleswig. Cette même reconstitution est illustrée dans l'ouvrage de Sean McGrail *Boats of the World* (McGrail 2001: 209) et nous avons retenus cette publication pour la qualité de son impression⁸.

⁸ L'information sur l'échelle utilisée par Åkerlund pour reconstituer le maître-couple du navire de Nydam est manquante. Nous avons alors opté pour l'échelle métrique inscrite dans les ouvrages de Rupert Bruce Mitford (1975) et de Sean McGrail (2001).

Comme pour les navires vikings de notre corpus, nous avons privilégié l'utilisation du pied viking de 30 cm (Crumlin-Pedersen 1986 : 145). En effet, l'analyse de la coupe centrale montre une largeur totale, jusqu'à la face externe du bordage supérieur, de précisément 16 pieds vikings (figure 5.6). La hauteur, du bas de la quille jusqu'au plat-bord, est de 4,5 pieds vikings. On observe que la quille, une lourde planche en forme de «T» évasé, a été taillée de façon à accueillir les galbords de chaque côté. Les quatre premiers bordages ont une forme rectangulaire simple, alors que le cinquième bordage est plus massif que les autres et contribue de cette façon à maintenir la force longitudinale du navire. Ce dernier bordage possède une forme complexe, qui lui permet d'accueillir l'extrémité des baux transversaux servant de bancs aux rameurs. Le charpentier aurait donc taillé le dernier bordage de façon à ce que le stress occasionné sur les baux soit transmis dans le renfort transversal des membrures (McGrail 2001 : 211).



1 pi = 30 cm

Figure 5.6 : Analyse géométrique du maître-couple du navire de Nydam. (McGrail, Sean. 2001)

Nous avons débuté l'analyse en projetant la ligne horizontale du plat de la varangue, que nous avons indiquée par la ligne pointillée HC. Notre analyse a ensuite noté l'existence de deux arcs circulaires tangentiels dans la conception de la coupe centrale du navire de Nydam, de rayons respectifs de 8 et de 5 pieds vikings. La ligne verticale AHB correspond à l'axe central du navire. Le tracé du couple débute par la ligne horizontale du plat de la varangue HC, relevé d'environ 5 cm au-dessus de la quille par les taquets d'espacement. Au bout de cette courte ligne, se dessine l'arc du bouchain CE d'un rayon de 8 pieds vikings. Ensuite, l'arc du genou EG possède quant à lui un rayon de 5 pieds vikings. Ces deux arcs de cercle successifs sont en relation tangentielle par la présence de la ligne DFE, sur laquelle on retrouve les points centraux de ces arcs, D et F, ainsi que leur point de contact identifié par la lettre E. La longueur du plat de la varangue, soit la distance entre les points H et C, est de 1 pied viking environ. La courbe de la membrure se termine au sommet de l'arc du genou EG, au niveau du cinquième bordage du bordé à clin. Dans l'analyse du navire de Nydam, contrairement à celle des navires vikings de notre corpus, on observe que l'arc du bouchain est de gabarit supérieur à celui de l'arc du genou.

L'analyse de la coupe centrale du navire de Nydam semble montrer un exemple des premiers balbutiements du processus d'adaptation du système géométrique à une construction unique à clin, avec des membrures sans entaille et des taquets d'espacement. Mais d'où provient ce nouveau système de conception navale ? En faisant abstraction qu'il existe assurément des principes physiques régissant les lois de la flottabilité, l'application de notions géométriques dans la conception de ce navire suggère peut-être que les constructeurs vikings s'appuyaient sur une tradition régionale de savoir architectural. Au fil du temps, ces derniers l'auraient développé et manipulé avec plus d'expertise que les constructeurs du navire de Nydam.

Bien que nous soyons devant une embarcation de moindre envergure, l'analyse de la maîtresse-section de Nydam ne permet pas de dégager l'utilisation d'un système de conception élaboré tel que nous l'avons vu sur les navires précédents. Nous avons

cependant relevé deux arcs de cercle dans le tracé reconstitué du maître-couple du navire de Nydam. Toutefois, leurs rayons de 8 et de 5 pieds vikings entrent difficilement dans un rapport de proportions simples. La forme très arrondie du maître-couple amène aussi à questionner la stabilité du navire, tel qu'il fut dessiné. Doit-on pour autant douter de la validité de la reconstitution du navire de Nydam? À des fins critiques d'analyse, nous nous rangeons du côté de Sean McGrail (2001 : 209) et de Ole Crumlin-Pedersen (1990 : 113) et jugeons le dessin d'Åkerlund le plus proche de la réalité.

Avant de conclure ce chapitre avec l'analyse de l'épave de La Madrague de Giens, rappelons les principaux points saillants des résultats obtenus sur les épaves originaires de l'espace scandinave. D'abord, soulignons la présence plausible du système géométrique des arcs de cercle tangentiels dans la conception des navires vikings, conformément aux critères géométriques décrits dans les traités d'architecture de la Renaissance et présentés précédemment au chapitre 4. L'analyse du tracé du maître-couple du navire de Gokstad a permis de relever l'existence de quatre arcs circulaires successifs. Ces arcs, positionnés les uns par rapport aux autres, établissent trois relations de tangente.

L'étude du navire de Skuldelev 1 a fait ressortir des traces d'utilisation d'un système de conception élaboré. Outre l'emploi de quatre arcs circulaires tangentiels dans le tracé du couple analysé, on note le rôle architectural du *biti*, cette pièce de bois insérée au niveau du cinquième bordage, qui sert d'élément de transition entre le haut et le bas du bordé.

Le tracé du maître-couple du navire de Skuldelev 2, moins bien conservé, peut avoir été conçu à l'aide de quatre arcs circulaires successifs positionnés en relation tangentielle. La coupe centrale de ce navire montre un arc du relèvement de rayon identique à celui de l'arc du bouchain, qui est inversé par rapport à ce dernier. Le charpentier-concepteur a utilisé un gabarit similaire pour tracer ces deux arcs, mais il a inversé ce même gabarit pour créer l'arc du relèvement situé sous la ligne du plat de la varangue. Cette méthode est aussi décrite dans les textes de la Renaissance.

Bien que les trois épaves vikings ne possèdent pas de fond plat, le plat de la varangue théorique est tout de même représenté dans leur charpenterie. Dans la conception de ces navires, la ligne du plat de la varangue et l'arc du bouchain maintiennent un rapport tangentiel parfait. Ce détail architectural démontre le haut degré de précision technique atteint par les Vikings dans la conception de leurs navires. Ils utilisaient des règles de proportions connues afin d'établir les dimensions de base appropriées pour la carène et les ratios requis selon le type de navire à construire. Ils avaient également des idées préconçues sur la façon d'optimiser la capacité de charge d'un navire et d'augmenter la performance de la voilure. Enfin, précisons que les dimensions générales des navires vikings analysés et les rayons de leurs arcs, calculés en pieds vikings de 30 cm, ont été établies à partir d'un système de mesures cohérent, représentatif d'un métier bien organisé de construction navale. Le système de mesures, les dimensions proportionnelles des navires et les détails du système géométrique transversal, concordent parfaitement avec les écrits de la Renaissance et avec les navires à carvelle du XVI^e siècle.

La présence d'un système rudimentaire de conception géométrique dans le tracé du maître-couple du navire de Nydam, suggère que les Vikings possédaient, dès le début du IV^e siècle, certains acquis de ce savoir nautique sans toutefois les maîtriser parfaitement.

5.4.2 Le navire de La Madrague de Giens

Tournons nous maintenant vers un navire construit à l'extérieur de l'espace viking, afin de bâtir une hypothèse sur l'origine du système architectural des Scandinaves. L'épave antique trouvée à La Madrague de Giens fut construite en Méditerranée durant le premier siècle avant J.-C. Cet immense navire marchand d'une quarantaine de mètres est le plus ancien vestige de notre corpus. En cherchant la présence du système des arcs de cercle dans la conception du maître-couple de ce navire, nous voulions voir si l'utilisation de ces règles géométriques en architecture navale remontait à l'Antiquité méditerranéenne. Si c'est le cas,

ce savoir naval aurait donc pu rayonner de la Méditerranée vers la Scandinavie, entre les époques romaine et anglo-saxonne.

Le navire de La Madrague possédait un double bordé, assemblé à franc-bord, à l'aide d'un système de liaison composé de mortaises et de tenons. La charpente transversale était composée de membrures flottantes, dont les éléments des couples n'étaient pas assemblés entre eux. On note aussi l'absence d'assemblage entre les varangues et la quille ; le talon des varangues ne reposant pas directement sur le dos de la quille, ceci ayant pour effet de laisser un vide entre les deux pièces. Cette absence de cohérence structurelle est considérée par Pomey comme révélatrice de la fonction secondaire de la charpente transversale au sein de la structure de la carène, voir au sein de sa conception architecturale (Pomey 2004 : 31).

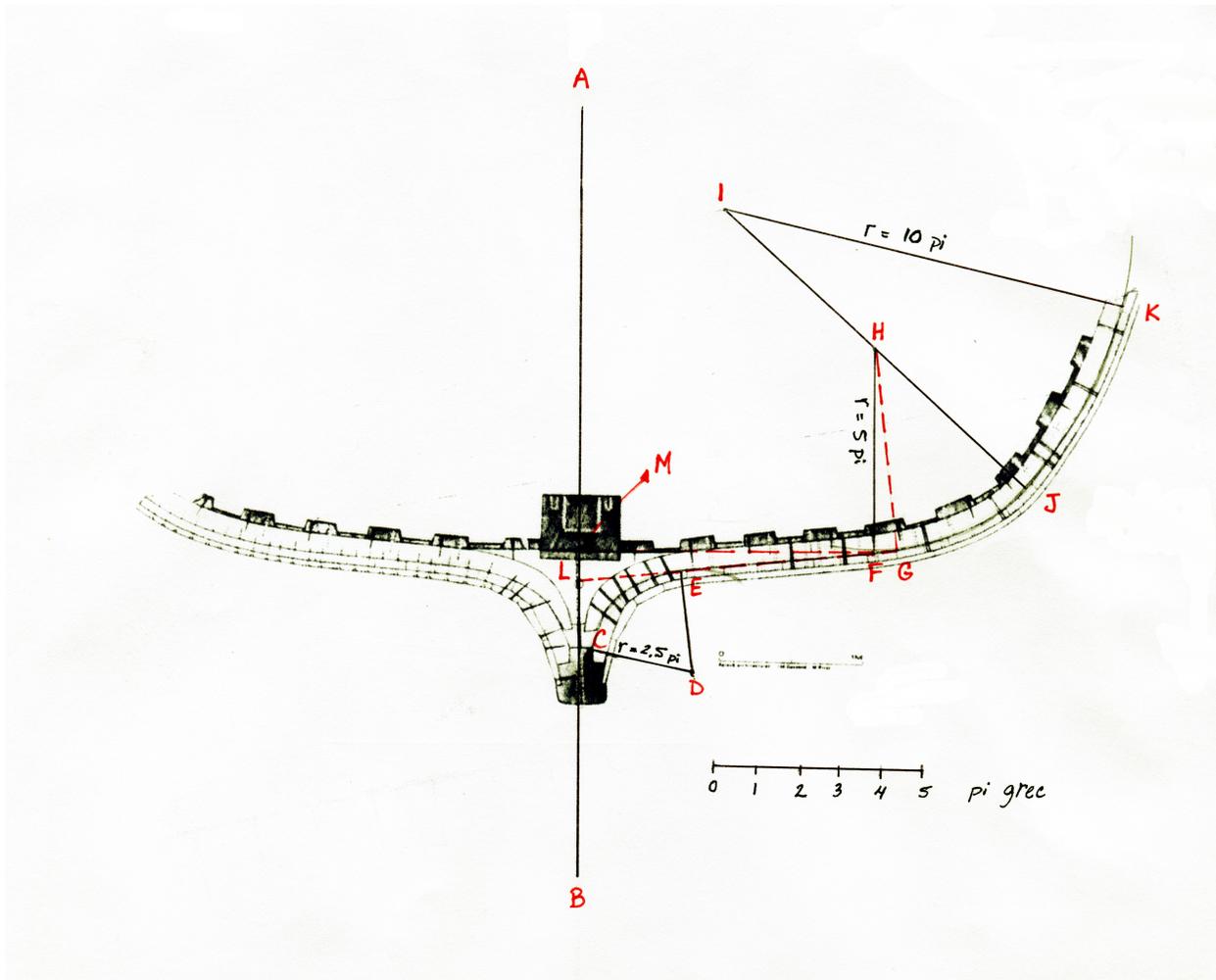
La reconstitution des formes de la carène du navire de La Madrague de Giens utilisée pour notre analyse provient de l'article de Patrice Pomey dans l'ouvrage collectif dirigé par Éric Rieth *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux* (Rieth 1998: 52). Cette reconstitution a été réalisée à partir des relevés de terrain de l'équipe d'André Tchernia et publiée pour la première fois dans leur ouvrage paru en 1978⁹. Afin d'estimer le rayon des arcs circulaires constituant le maître-couple de ce navire, la mesure de 29,69 cm pour 1 pied grec fut utilisée (Crumlin-Pedersen 1986 : 145).

L'analyse visuelle de la coupe montre une largeur totale, jusqu'à la face interne du dernier bordage, d'exactly 30 pieds grecs (figure 5.7). La hauteur, du bas de la quille jusqu'au plat-bord, est de 15 pieds grecs. Nos analyses ont été réalisées sur le bordé interne du navire, c'est-à-dire sur la face externe de la membrure. Le navire montre des galbords sculptés et un profil particulier de quille, arborant une double râblure. Nous considérons le coin supérieur de la râblure située sur le haut de la quille comme le point de départ du

⁹ Dans cet ouvrage, les dessins originaux du navire sont représentés uniquement par une échelle graphique, laquelle apparaît au bas de la figure 5.7.

système géométrique à l'étude. Patrice Pomey rappelle l'importance de l'ensemble quille-râblures-galbords dans la séquence de construction, qui amène à «supposer une exécution précise de la taille des râblures et du façonnage des galbords, et donc de leur contrôle» (Pomey 1998 : 61). Il considère à cet effet l'emploi de gabarits d'exécution réalisés à partir d'un modèle connu.

Tout d'abord, notons que la coupe centrale de la carène de La Madrague n'a pas de fond plat. Nous avons alors projeté le plat de la varangue, indiqué par la ligne pointillée MF. Les charpentiers-concepteurs ont peut-être ajouté une hauteur théorique à la quille, à partir de laquelle ils pouvaient projeter le plat de la varangue horizontale, et ensuite les arcs du bouchain et du genou. Enfin, sous le plat, ils avaient la possibilité de tracer une ligne droite en pente jusqu'au point L situé sur l'axe central du navire, qu'ils connectaient ensuite à la râblure par un arc de revers CE. L'emploi plausible de cette ligne droite (LEF) a introduit des particularités aux points E et F, où elle connecte avec les arcs CE et FJ. En effet, la droite montante DE de l'arc de revers forme un angle droit avec le tracé de la ligne LEF au point E.



1 pi = 29,69 cm

Figure 5.7 : Analyse géométrique du maître-couple de l'épave La Madrague de Giens. (Tchernia, A. *et al.* 1978)

La ligne AMB correspond à l'axe central du navire. Le tracé du maître-couple de La Madrague débute par la projection du plat de la varangue MF. Au bout du plat, se dessine l'arc du bouchain FJ, suivi de l'arc du genou JK. Les rayons de ces arcs circulaires sont de 5 et 10 pieds respectivement. Ces arcs voisins se trouvent au-dessus du plat de la varangue. L'arc du bouchain et l'arc du genou sont en relation tangentielle à la touche identifiée par la lettre J. La ligne IHJ, sur laquelle se trouvent les points centraux de ces deux arcs et leur point de contact, établit cette tangence. Le tracé du maître-couple analysé se termine au sommet de l'arc du genou JK. Ce dernier demeure toutefois fragmentaire dans le tracé analysé. On observe un ratio de 1 : 2 entre les rayons de ces deux arcs circulaires tangentiels.

Dans notre analyse, nous avons observé un relèvement de 2,5 pieds grecs entre le haut de la quille (C) et la ligne du plat de la varangue MF. La hauteur du relèvement est identique au rayon de l'arc de revers CE situé près de la quille. La ligne du plat est coupée de façon perpendiculaire par l'axe AMB, et produit ainsi l'angle droit AMF. Enfin, nous avons noté une hauteur de précisément 3 pieds entre la lettre L et le bas de la quille.

Le dernier arc de cercle présent dans la conception du maître-couple de ce navire est l'arc de revers CE situé sous le plat de la varangue. Cet arc possède un rayon de 2,5 pieds grecs et respecte le ratio de 1 : 2 par rapport à l'arc du bouchain FJ. Le point central de l'arc CE est identifié par la lettre D. Ne partant pas du fond de la râblure, mais bien de son coin supérieur, la courbe de l'arc CE est à l'image de la flexibilité dont dispose le charpentier à l'intérieur du système géométrique. Ce dernier utilise son expérience pour obtenir la forme désirée de la carène.

Au terme de notre analyse, nous constatons que les arcs circulaires organisés dans le tracé de la coupe centrale de l'épave de La Madrague de Giens respectent les mêmes principes géométriques d'architecture navale que ceux observés dans l'analyse des trois navires vikings. L'arc du bouchain et l'arc du genou sont positionnés en relation tangentielle, et l'arc de revers est lié à l'arc du bouchain par le biais de la ligne empirique

LEF. Nous retrouvons donc des preuves tangibles de l'utilisation du système géométrique de conception basé sur les arcs de cercle tangentiels dans la conception de ce navire. Suite à notre démonstration, il semble plausible que la conception du maître-couple du navire de La Madrague de Giens s'apparente aux principes décrits dans les traités d'architecture navale des XVI^e et XVII^e siècles, et ce, dans l'espace méditerranéen à une époque antérieure à celle des Vikings.

Afin de retracer l'origine probable du système géométrique en Méditerranée, nous avons intégré l'épave de La Madrague de Giens dans notre corpus. L'analyse réalisée sur la coupe centrale de ce navire construit bordé premier, démontre que le système de conception transversale, basé sur l'utilisation d'arcs de cercle et de tangentes, était déjà connu durant l'Antiquité. Le fait que nous ayons relevé la présence du système géométrique dans la construction de cette épave, suggère donc un partage du savoir maritime entre les espaces méditerranéen antique et scandinave médiéval. Les procédés géométriques décrits dans les traités d'architecture navale de la Renaissance relèvent ainsi d'un savoir-faire très ancien, qui a vraisemblablement voyagé et perduré en Europe durant plus de mille cinq cents ans.

L'architecture de la carène des épaves retenues pour notre étude témoigne vraisemblablement de certains procédés géométriques similaires à ceux que l'on retrouve dans les traités d'architecture de la Renaissance. Par exemple, la figure de leur maître-couple est composée de 3 à 4 arcs tangentiels de rayons distincts formant un ensemble continu de la quille jusqu'au plat-bord. La conception des navires analysés semble également suivre les trois phases principales illustrées dans ces anciens manuscrits, soit l'établissement des dimensions de la carène en vertu de proportions préétablies selon la fonction recherchée du navire, la conception géométrique du maître-couple à l'aide d'arcs tangentiels successifs débutant à la ligne horizontale du plat de la varangue, et finalement, la conception des couples à l'avant et à l'arrière du maître-couple en utilisant celui-ci comme élément de référence. De plus, nous observons que les rapports de proportions entre l'arc du bouchain et l'arc du genou sont fidèles aux anciens traités : pour le navire de

Gokstad, on relève un ratio de 1 : 3 entre ces deux arcs, des ratios de 2 : 3 et 1 : 3 ont été observés pour les navires de Skuldelev 1 et Skuldelev 2 respectivement, et enfin, un ratio de 1 : 2 pour l'épave de La Madrague. Par le biais des résultats issus de nos analyses, il est maintenant possible d'appuyer l'existence de ce système géométrique basé sur les arcs de cercle tangentiels dans la conception des navires vikings de Gokstad, de Skuldelev 1 et dans celle du navire antique de La Madrague de Giens. L'état partiel des vestiges résiduels de Skuldelev 2, de même que la mauvaise qualité de leur état de conservation, remettent cependant en question la fiabilité de l'analyse réalisée sur cette épave. En tenant compte de ces facteurs, la reconstitution moins raffinée de Skuldelev 2 place les résultats obtenus dans un état provisoire. Rappelons que la qualité des données joue un rôle déterminant sur les conclusions de l'analyse. Concernant l'épave pré-viking de Nydam, sa conception architecturale semble être trop rudimentaire pour affirmer avec certitude la présence d'un système de conception aussi élaboré au sein de son maître-couple.

Nos analyses démontrent qu'il est possible d'utiliser un système transversal de conception géométrique pour des navires construits bordé premier et assemblés à clin, et par le fait même, remettent en question la proposition de Patrice Pomey entre l'ordre de construction et le mode de conception d'un navire (Pomey 1994, 1999, 2004). Rappelons qu'au sein de la littérature maritime, la technique de construction bordé à carvelle est associée à la séquence de construction dite charpente première, et qu'à l'opposé, la technique d'assemblage à clin est associée à la séquence de construction bordé premier. Dans une construction de charpente première, les membrures sont assemblées en premier lieu et elles déterminent la forme du navire avant l'ajout des bordages. Pour un navire construit bordé premier, l'assemblage des bordages s'effectue avant l'insertion des membrures. Partant de ce constat sur l'ordre de construction, Patrice Pomey proposait que lorsque le bordé s'impose comme la structure initiale et dominante d'un navire, le système architectural de sa conception relève d'une conception «longitudinale», inscrite dans le bordé. Nous avons testé l'hypothèse de Pomey en étudiant l'emploi d'un système «transversal» de conception sur cinq navires construits bordé premier, dont quatre

assemblés à clin. Les résultats de nos analyses démontrent qu'un navire construit bordé premier et assemblé à clin peut être dessiné à partir d'un système «transversal» de conception. Nous tenons toutefois à préciser que l'opposition de systèmes «longitudinal» et «transversal» nous paraît en soi inexacte, car tout système de conception doit être tridimensionnel. L'apport de Patrice Pomey, en identifiant des éléments longitudinaux comme la virure de référence, demeure sans contredit un avancement des plus significatifs dans la compréhension architecturale des navires antiques et médiévaux. Notre problématique de recherche demeure donc tout à fait pertinente dans l'état actuel des recherches en architecture navale occidentale. Elle questionne justement l'une des faiblesses de la thèse de Patrice Pomey et sa notion de «conception longitudinale» des carènes. À ce jour, il n'existe pas de preuve entièrement satisfaisante de l'existence d'un système de contrôle des formes pour les navires construits bordé-premier, même si l'on suppose que des piquets, des cordes ou d'autres guides peuvent avoir été utilisés.

Conclusion

Plusieurs types de navire ont été construits par le peuple marin viking : des bateaux conçus pour la navigation fluviale et les mers intérieures, des navires de guerre utilisés pour le transport d'unités militaires, ou encore des vaisseaux adaptés pour la colonisation de contrées lointaines pouvant accueillir familles entières et animaux domestiques. Les Vikings ont construit des bateaux légers qui pouvaient être transportés par voie de terre en cas de nécessité, de même que de grands et lourds navires capables d'affronter les tempêtes de l'Atlantique. En Scandinavie, la construction navale est une tradition très ancienne et fut sans cesse développée pour obtenir des bateaux de plus en plus performants. En tant que culture maritime, les Vikings possédaient une connaissance approfondie de la navigation et disposaient de tout le savoir-faire de leurs ancêtres. Ils fabriquaient des navires évoluant au rythme de leurs besoins.

Cette présente recherche s'intéressait à une question qui préoccupe les spécialistes de la construction navale comprise entre 700 et 1500 après J.-C. Suite aux réflexions d'Olof Hasslöf sur la construction navale scandinave, nombreux sont ces spécialistes qui considèrent que la conception architecturale des navires construits bordé premier, comme les navires vikings, doit se matérialiser dans les éléments longitudinaux de la carène. À l'inverse, notre recherche proposait de tester la présence d'un système transversal de conception connu, soit celui des arcs circulaires tangentiels, dans l'architecture de cinq navires construits bordé premier. Pour ce faire, nous avons colligé les données concernant la conception architecturale des navires, telle que la restitution du système géométrique et les éléments du maître-couple, afin de pouvoir établir une association entre la conception des navires analysés et les principes associés au système géométrique décrit dans les traités d'architecture navale de la Renaissance. La méthodologie préconisée consistait à effectuer l'analyse de dessins techniques du maître-couple des navires sélectionnés pour notre étude, selon le profil de la carène de chacun de ces navires.

Les résultats de nos analyses semblent indiquer que les carènes de ces navires construits bordé premier doivent leur forme caractéristique à la maîtrise d'un système de conception transversale et ce, malgré la dominance structurale du bordé longitudinal. Ce constat remet alors en question la proposition de Patrice Pomey sur l'opposition entre l'emploi d'un système transversal de conception dans la séquence de construction charpente première pour un bordé assemblé à franc-bord, et l'utilisation d'un système de conception longitudinal dans la séquence bordé premier pour les constructions à clin. Rappelons qu'aucun mode de conception longitudinale n'a été confiée à la postérité et qu'aucune méthode concrète n'a pu être reconstituée à partir des vestiges archéologiques. L'existence d'une telle méthode n'a toujours pas été démontrée.

L'analyse du maître-couple des navires de Nydam, de Gokstad et de Skuldelev 1 et Skuldelev 2 nous permet donc de renforcer notre hypothèse sur l'existence du système géométrique des arcs de cercle, tel que décrit dans des traités navals des XVI^e et XVII^e siècles, dans la conception des navires vikings construits entre 400 et 1100 après J.-C. Nous avons ici montré que ces quatre navires construits bordé premier, une séquence de construction associée à une conception longitudinale par Pomey, auraient pu être conçus à partir d'un système transversal de conception. L'analyse du navire antique de La Madrague de Giens a aussi démontré que le savoir relatif à la conception géométrique des navires était déjà connu à une époque bien avant la Renaissance.

À la lumière des résultats obtenus lors de nos analyses géométriques sur les cinq épaves de notre corpus, il appert que les traités d'architecture navale de la Renaissance ne témoignaient pas de nouvelles connaissances originales. Au contraire, ce courant de pensée ayant dominé l'Europe au cours du XV^e et XVI^e siècle, aurait alors permis à la construction navale, un savoir déjà existant, de se manifester sous forme écrite et organisée. Compte tenu du faible nombre d'épaves pré-vikings échantillonnées pour notre corpus, notre recherche ne prétend pas avoir résolu la question de l'origine temporelle du système géométrique. Nous avons cependant démontré qu'elle remontait à une époque plus ancienne

que celle du navire de Nydam dans le Nord-Ouest européen, et possiblement avant celle du navire de La Madrague de Giens dans l'espace méditerranéen. Selon les résultats provisoires de notre recherche, la Méditerranée pourrait donc être le berceau du système de conception géométrique décrit dans des traités navals des XVI^e et XVII^e siècles.

Dans le cadre de cette recherche, nous ne pouvons expliquer le transfert «temporel» de ce savoir nautique particulier entre l'Antiquité et la période viking. Cependant, puisqu'il y a vraisemblablement une correspondance entre la forme caractéristique de la carène des navires vikings et le système géométrique d'arcs de cercle, nous pouvons en déduire que les Vikings connaissaient déjà cette méthode et donc qu'ils possédaient l'héritage de ce savoir-faire nautique. Afin d'expliquer le transfert «géographique» de ce savoir de la Méditerranée à l'espace scandinave, il est utile de se rapporter à deux concepts développés par l'anthropologue Christer Westerdahl, le «paysage culturel maritime» et les «zones de transport» (Westerdahl 1992, 1994, 1998, 2006).

Westerdahl définit le «paysage culturel maritime» comme l'ensemble de la culture matérielle, des éléments du paysage et des stratégies de subsistances régionales de tout espace maritime (Westerdahl 1994 : 266). Ce concept réunit donc les pratiques socioculturelles associées aux activités maritimes, les installations côtières et portuaires, l'écosystème des littoraux et les ressources liées à l'environnement maritime, de même que le développement de moyens de transport adaptés aux plans d'eau navigables. Les paysages culturels maritimes représentent une sorte de continuum de traits d'occupation, caractéristiques à un territoire, qui sont repris par plusieurs générations. Ils demeurent l'expression de l'évolution des valeurs humaines, du comportement humain et du respect que les gens accordent à la nature qui les entoure. La synergie particulière qui intervient au sein des zones côtières semble avoir joué un rôle important dans la création d'une conscience collective, propre à l'identité culturelle qui unit les peuples liés à la mer. Les Vikings, en tant que culture maritime, n'y font pas exception.

Selon Westerdahl, le rôle des systèmes fluviaux a été primordial dans le développement de la vie sociale et culturelle des sociétés passées. Les détails visibles dans la construction des différents types de navire scandinave démontrent que ces derniers étaient adaptés non seulement à leur environnement, mais aussi à leur «zone de transport». Une zone de transport propre à une région géographique fait référence à l'aspect traditionnel et vernaculaire d'une culture, puisque les différences au sein des techniques de construction navale sont visibles dans la conception architecturale des formes de la coque des navires (Crumlin-Pedersen 1995 : 213). De plus, les limites des zones de transport se sont parfois développées à l'intérieur de frontières préétablies séparant deux aires culturelles. «*It has been possible to demonstrate that the borders between transport zones sometimes correspond to cultural borders*» (Westerdahl 1992 : 6).

Afin de mieux saisir le concept des zones de transport, Christer Westerdahl transpose son propos en effectuant la division d'un territoire scandinave en trois grandes zones distinctes (Westerdahl 1994, 1998 ; Crumlin-Pedersen 1995 : 220). La première correspond à la bande de terre formée par les littoraux, *the waterfront zone*, qui s'étend généralement jusqu'à 1 kilomètre du rivage vers l'intérieur des terres en passant par les grandes rivières. C'est dans cet espace riverain, où l'on retrouve les navires hauturiers pontés, que se situe la majorité des centres culturels maritimes, ces derniers permettant le changement d'embarcation pour un type plus approprié propre à la navigation sur les zones intérieures. Puisque l'on retrouve de grandes similarités entre les cultures maritimes qui habitent cette zone, on peut y détecter des traits caractéristiques dans l'architecture de leurs navires qui sont liés à la mise en pratique de traditions vernaculaires. La deuxième grande zone de transport maritime est représentée par les terres côtières habitées, ou *the coastal zone*, qui s'enfonce en moyenne de 40 à 50 kilomètres des côtes vers l'intérieur du territoire où les gens subsistent généralement de la chasse et de la pêche. On retrouve dans cette zone intermédiaire des navires à fond plat, à voile et à rames. La troisième zone de navigation est la plus éloignée des côtes. *The inland zone* comprend une immense superficie, soit près de 400 kilomètres à travers toute la Scandinavie. Traversée en hiver en skis et en traîneau,

cette dernière zone de transport requière l'emploi d'embarcations à fond plat, légères et facilement portables pour naviguer sur les rivières (Westerdahl 1992 : 7-8).

À l'intérieur de ce concept, l'auteur avance la mise en place d'un système de centres culturels maritimes, ou niches maritimes, localisés en des endroits où la navigation s'effectue plus difficilement et requiert une certaine assistance. La transmission orale du savoir architectural s'effectuait généralement dans l'espace restreint de ces centres culturels maritimes, alors que les expériences de navigation étaient autrefois transmises principalement de père en fils à l'intérieur d'une même communauté (Westerdahl 1994: 267). À partir des idées amenées par Westerdahl, il semblerait donc que les centres maritimes étaient des lieux de contact entre les zones de transport, où les connaissances relatives à la navigation passaient d'une zone à l'autre et étaient ainsi conservées au fil des générations. D'un point de vue social, les niches maritimes étaient des points de convergence où se regroupaient en un lieu commun pêcheurs, marchands, constructeurs et autres artisans. Ces endroits, nés de leur proximité avec un espace riverain, étaient des lieux d'échanges multiples et de circulation d'idées comme la conception des carènes. Tel qu'illustré à la figure 2.3 (p. 27), la distribution des routes commerciales et des réseaux d'échanges utilisés par les Vikings suivait le cours naturel des fleuves et des rivières. En adaptant leur moyen de transport aux différentes zones de navigation qu'ils avaient à emprunter, c'est-à-dire, en utilisant de petits navires nécessitant un faible tirant d'eau, les Vikings ont pu ainsi atteindre le centre de la Russie et le royaume byzantin et négocier avec les groupes qui contrôlaient alors l'accès aux routes de commerce menant à l'Asie centrale.

Les centres culturels maritimes, visibles dans la topographie du paysage, étaient donc des établissements stratégiques situés près des cours d'eau majeurs, et marquaient des lieux de passage importants et des endroits frontaliers entre deux zones de transport. En d'autres termes, les centres culturels maritimes représentent la dimension sociale du paysage culturel maritime.

Le rôle joué par les centres culturels maritimes, foisonnant d'activités et d'artisans, et l'existence des zones de transport comme vecteurs de diffusion du savoir nautique, pourraient bien être la source de ce savoir-faire partagé entre l'espace méditerranéen et scandinave. Les connaissances géométriques en construction navale auraient donc pu être transmises entre les charpentiers et les réparateurs de navires, entre les voyageurs de passage et les artisans œuvrant au sein des niches maritimes établies le long des grandes voies de circulation. Bien entendu, cette proposition demeure une avenue de recherche qui pourrait faire l'objet de plus amples travaux.

L'utilisation de navires hautement performants comme moyen de transport, mais aussi comme outil de communication du savoir, demeure sans contredit un avantage des plus significatifs des Vikings. Grâce à leur conception et leur durabilité, les navires vikings pouvaient longer le littoral, remonter aisément les fjords et les rivières menant à l'intérieur des terres, et traverser de longues étendues sur l'océan. La tradition maritime de ce peuple viking, inscrite dans la fabrication de leurs navires, a joué un rôle primordial dans leur conquête territoriale et dans le développement impressionnant de leurs réseaux commerciaux.

Bibliographie

ADAMS J. et J. Ronnby. «Kuggmaren 1: The first cog find in the Stockholm archipelago, Sweden», *International Journal of nautical archaeology* 31, 2 (2002), pp. 172-181.

ÅKERLUND, Harald. *Nydamskeppen. En studie i Tidig skandinavisk skeppsbyggnadskonst*. Göteborg : Elanders Boktryckeri Aktiebolag, 1963.

ALLAN, Tony. *Viking. La bataille de la fin des temps*. Paris : Éditions Gründ, 2002.

ALLEN, Peter S. «Hedeby: The Salvage of a Viking Ship», *Archaeology* 42, 6 (1989), pp.78-80.

BAKER, Mathew. «Fragments of ancient English shipwrightry», c. 1580. Cambridge, Magdalene College, Pepsyian Library, Ms. 2820.

BALLU, Jean-Marie. *Bois de marine. Les bateaux naissent en forêt*. Paris : Éditions de Gerfaut, 2000.

BARKER, Richard. «English shipbuilding in the sixteenth century : evidence for the processes of conception and construction», dans Rieth, É. (dir.), *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998, pp. 109-126.

BARKER, R., B. Loewen et C. Dobbs. «Hull design of the Mary Rose», dans Marsden, P. (dir.), *Mary Rose your noblest shippe. Anatomy of a Tudor warship. Archaeology of the Mary Rose vol. 2* (Portsmouth: The Mary Rose Trust Ltd, 2009), pp. 34 à 65.

BASAS FERNÁNDEZ, Manuel. *El seguro marítimo en Burgos, siglo XVI*. Estudios de Deusto, Bilbao, 1963.

BEKKER NIELSEN, H., P. Foote et O. Olsen. «Proceedings of the Eighth Viking Congress», dans *Århus 24-31 August 1977* (Odense: Odense University Press, 1981).

BELTRAME, Carlo. «Boats, ships and shipyards», dans *Proceedings of the Ninth International Symposium on Boat and Ship Archaeology*, Venice, 2000 (Oxford: Oxbow Books, 2003).

BILL, Jan. «Shallow-water craft from medieval Denmark. The identification of a specialized regional type», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du*

Septième Colloque International d'archéologie navale (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp. 87-98.

BJORNSTAD, T. «Sinking Viking ship? Coring detects a layer of wood», *Archaeology*, 1 (1998), p. 25.

BONDE, N. et A. E. Christensen. «Dendrochronological dating of the Viking Age ship burials at Oseberg, Gokstad and Tune, Norway», *Antiquity* 67, 256 (1993), pp. 575-579.

BONNAMOUR, Louis. *Archéologie des fleuves et des rivières*. Paris : Errance, 2000.

BOYER, Régis. *La vie quotidienne des Vikings : (800-1050)*. Paris : Hachette, 1992.

BOYER, Régis. *Les Vikings : histoire et civilisation*. Paris : Plon, 1992.

BRADLEY, R. et al. «Climate in Medieval time», *Science* 302 (2003), pp. 404-405.

BRIARD, J. et J. L'Helgouach. *Systèmes fluviaux, estuaires et implantations humaines, de la préhistoire aux grandes invasions*. Paris : Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2001.

BRISSON, Réal. *La charpenterie navale à Québec sous le Régime français*. Québec : Institut Québécois de Recherche sur la Culture, Collection Edmond-de-Nevers no 2, 1983.

BURROUGHS, J. William. *L'encyclopédie du climat*. Lausanne : Éditions Delachaux et Niestlé, Les encyclopédies du naturaliste, 2000.

CASSARD, Jean-Christophe. *Le siècle des Vikings en Bretagne*. Paris : Éditions Jean-Paul Gisserot, 1996.

CASSON, Lionel. *Ships and Seafaring in Ancient times*. Austin : University of Texas Press, 1994.

CEDERLUND, Carl Olaf. *Postmedieval boat and ship archaeology : papers based on those presented to an International Symposium on Boat and Ship Archaeology in Stockholm in 1982* (Oxford : B.A.R., 1985).

CHEKIN, L. «Mappae-mundi and Scandinavia and medieval world maps», *Scandinavian Studies* 65, 4 (1993), pp. 487-520.

CHRISTENSEN, A. E. «Scandinavian Ships from Earliest Times to the Vikings», dans Bass, G. F. (dir.), *A History of Seafaring based on Underwater Archaeology*, New York, 1972.

CHRISTENSEN, A. E. et L. Basch. «Ancient wrecks and the archaeology of ships- A comment», *International Journal of Nautical Archaeology* 2,1 (1973), p. 140.

CLERMONT, Normand. «Le contact avec les Vikings», dans Clermont, N. (dir.), *L'anthropologie du contact. Actes du colloque du département d'anthropologie* (Montréal : Université de Montréal, 1996), pp. 86 à 89.

COOKE, B., C. Christiansen et L. Hammarlund. «Viking woollen square-sails and fabric cover factor», *International Journal of Nautical Archaeology* 31, 2 (2002), pp. 202-210.

CROWLEY, Thomas. «Causes of climate change over the past 1000 years », *Science* 289 (2000), pp. 270-276.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. «Danish Cog-finds», dans McGrail, S. (dir.), *The Archaeology of Medieval Ships and Harbours in Northern Europe* (Oxford: British Archaeological Reports, International Series 66, 1979), pp. 17-34.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. et R. Finch. «From Viking ship to Victory», *International Journal of Nautical Archaeology and underwater exploration* 9, 2 (1980), p. 175.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. et al. *Sailing into the Past. Proceedings of the International Seminar on Replicas of Ancient and Medieval Vessels, Roskilde, 1984*, Roskilde, 1986.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. «A note on the speed of Viking ships: comment», *International Journal of Nautical Archaeology and underwater exploration* 17, 3 (1988), pp. 270-271.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. *Shipshape*. Roskilde: The Viking Ship Museum, Olaf Olsen, Jan Skamby Madsen et Flemming Rieck (dirs.), 1995.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. *Viking-age ships and shipbuilding in Hedeby/ Haithabu and Schleswig*. Roskilde: The Viking Ship Museum, Ships and boats of the North vol. 2, 1997.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. «Viking-age ships and shipbuilding in Hedeby», *Scandinavian Studies* 71, 2 (1999), pp. 243-245.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. «To be or not to be a cog: The Bremen Cog in perspective», *International Journal of Nautical Archaeology* 29, 2 (2000), pp. 230-246.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. «The Hedeby Ships 1», dans J. Litwin (dir.), *Down the River to the Sea. Eighth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk, 1997*. Gdansk : Polish Maritime Museum, 2000, pp. 213-218.

CRUMLIN-PEDERSEN, O. *The Skuldelev ships 1*. Roskilde: The Viking Ship Museum, Ships and boats of the North, vol. 4.1, 2002.

CUNLIFFE, Barry. *Facing the Ocean. The Atlantic and its Peoples 8000 BC-AD 1500*. New York : Oxford University Press, 2001.

DAEFFLER, Michel. «La conception des formes de carène sur les galères de la fin du XVII^e siècle», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp.253-258.

DELGADO, James P. *Encyclopedia of underwater and maritime archaeology*. London: Yale University Press, 1997.

ENGLEHARDT, C. *Nydam Mosefund*, Copenhagen, 1865.

ESPER, Jan et al. «Low frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability», *Science* 295 (2002), pp. 2250-2253.

FITZHUGH, W. et E. I. Ward. *Vikings. The North Atlantic Saga*. Washington: Smithsonian Institution Press, National Museum of Natural History, 2000.

FLATMAN, Joe. «Cultural biographies, cognitive landscapes and dirty old bits of boat: theory in maritime archaeology», *The International Journal of Nautical Archaeology* 32, 2 (2003), pp. 143-157.

FOOTE, P., G. Wilson et M. David. *The Viking achievement : the society and culture of early medieval Scandinavia*. London: Sidgwick and Jackson, 1980.

FRIEL, Ian. *The good ship. Ships, shipbuilding and technology in England 1200-1520*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1995.

GALINIÉ, Henri. *Les mondes normands (VIII^e-XII^e siècle)*, *Actes du Deuxième Congrès International d'Archéologie Médiévale, Caen 1987*, Caen : Société d'archéologie médiévale, 1989.

GARDINER, Robert. *The earliest ships. The evolution of boats into ships*. London : Conway's history of the ship, Naval Institute Press, 1996.

GARDINER, R. et R. Unger. *Cogs, caravels, and galleons : the sailing ship, 1000-1650*. Annapolis MD : Naval Institute Press, 1994.

GOODBURN, D. et C. Thomas. «Reused medieval ship planks from Westminster, England, possibly derived from a vessel built in the cog style», *International Journal of Nautical Archaeology*, 26 (1997), pp. 26-38.

GOODBURN, Damian. «Romano-Celtic boatbuilding and the romanisation of landscape and boatbuilding practice», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp. 171-176.

GOULD, A. Richard. *Archaeology and the social history of ships*. Cambridge : University Press, 2000.

GRAHAM-CAMPELL, J., et al. *Cultural atlas of the Viking world*. Oxford : Andromeda Book, 1994.

GRAHAM-CAMPBELL, James. *Viking artefacts : a select catalogue*. Londres : British Museum, 1972.

GREEN, Jeremy. *Maritime archaeology. A technical handbook*. San Diego : Elsevier Academic Press, 2004.

GREENHILL, B. et J. Morrison. *The archaeology of boats and ships. An introduction*. Londres : Conway Maritime Press, 1995.

GRENIER, R., M-A. Bernier et W. Stevens, dirs. *L'archéologie subaquatique de Red Bay : la construction navale et la pêche de la baleine basques au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007.

GRIFFITHS, D. et O. Crumlin-Pedersen. «Aspects of maritime Scandinavia, A.D. 200-1200: proceedings of the Nordic Seminar on Maritime Aspects of Archaeology», Roskilde, 13-15 March, 1989, *Medieval Archaeology*, 36 (1992), pp. 321-322.

GUIBAL, Frédéric. «Dendrochronologie des épaves de navires antiques de Méditerranée», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998) pp. 303-308.

HASSLÖF, O. «Wrecks, archives and living tradition», *The Mariner's Mirror*, 49 : 3 (1963), pp. 162-177.

HASSLÖF, O., H. Henningsen et A. E. Christensen. *Ships and shipyards, sailors and fishermen*. Copenhagen : Copenhagen University Press, 1972.

HÉRICHER, Anne-Marie F. *La progression des Vikings, des raids à la colonisation*. Rouen : Publications de l'Université de Rouen no. 334, Collection Cahiers du GRHIS no.14, 2003.

HOCKER, F. et C. Ward. *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*. College Station : Texas A&M University Press, 2004.

HOMSEN, Birger. «Historic wrecks in Danish waters. Where and how many ? », dans Litwin, J. (dir.), *Down the river to the sea. Eight International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk, 1997* (Gdansk, Polish Maritime Museum, 2000), pp. 251-252.

HUTCHINSON, Gillian. *Medieval ships and shipping*. Londres : Leicester University Press, 1994.

INDRUSZEWSKI, George. «Technical aspects of early medieval vessels from the Southern shores of the Baltic sea», dans Litwin, J. (dir.), *Down the river to the sea. Eight International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk, 1997* (Gdansk: Polish Maritime Museum, 2000), pp. 45-50.

IZZARA, François. *Hommes et fleuves en Gaule romaine*. Paris : Errance, 1993.

KLESIUS, Michael. «Mystery ships from a Danish bog», *National Geographic* 197, 5 (mai 2000), pp. 28-35.

LADURIE, L. Emmanuel. *Histoire du climat depuis l'an mil*. Paris : Flammarion, 1967.

LANDRY, S.O. «The carnivore skull as a clinker-built hull», *American Zoologist* 40, 6 (décembre 2000), p. 1095.

LARSSON, Gunilla. «The reconstruction of the Viks Boat», dans Litwin, J. (dir.), *Down the river to the sea. Eight International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk, 1997* (Gdansk: Polish Maritime Museum, 2000), pp. 131-138.

LAVANHA, João Baptista. «Livro primeiro da architectura naval». c.1598-1620. Publié sous le titre «O' Livro primeiro da architectura naval ' de João Baptista Lavanha», dir. João da Gama Pimentel Barata, *Ethnos : revista do Instituto Português de Arqueologia, História e Ethnografia*, vol. 4 (1965), p. 221-298, Lisbonne. Réédition avec traduction anglaise sous le titre *O Livro primeiro da architectura naval*, dir. João da Gama Pimentel Barata, trad. Richard A. Barker, Academia de Marinha, Lisbonne, 1996.

LEBECQ, S. et S. McGrail. «Ancient boats in N. W. Europe: the archaeology of water transport to A. D. 1500», *Revue belge de philologie et d'histoire* 69, 2 (1991), pp. 514-515.

LEMÉE, Christian. «L'évolution du bateau en Scandinavie. De l'âge de pierre aux Vikings», dans Ridet, É. (dir.), *Colloque international de la Hague, Flottemanville-Hague 30 septembre au 3 octobre 1999* (Caen : Presses universitaires de Caen, 2002), pp. 173-199.

LEVESQUE, Jean-Marie. *Dragons et drakkars : le mythe viking de la Scandinavie à la Normandie, XVIII^e-XX^e siècle*. Caen : Musée de Normandie, 1996.

LIHAMMER, A. et L. Larsson. «The centrality of the landscape: Elite milieus in Eastern Blekinge during the Viking Age and Early Middle Ages; Centrality-Regionality. The social structure of southern Sweden during the Iron Age», *Acta archaeologica Lundensia* 8, 40 (2003), pp. 257-282.

LINDHOLM, M. et M. Eronen. «A reconstruction of mid-summer temperatures from ring-widths of scots pine since AD 50 in northern Fennoscandia», *Geografiska-annaler Series-A, Physical-geography* 82, 4 (2000), pp. 527-535.

LOEWEN, Brad. «Recent Advances in Ship History and Archaeology, 1450-1650 : Hull Design, Regional Typologies and Wood Studies», dans Wilson, G. (dir.), *Revue d'histoire de la culture matérielle. Navires, culture des marins et embarcations* (Éditions du Musée National des Sciences et de la Technologie, 48, 1998), pp. 45-55.

LOEWEN, Brad. «The morticed frames of XVIth century atlantic ships and the " Madeiras da conta " of Renaissance texts», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp. 213-222.

LOEWEN, Brad. «Forestry practices and hull design, ca. 1400-1700», dans Domingues Francisco, C. (dir.), *Fernando Oliveira e o Seu Tempo* (Cascais: Patrimonia, 1999), pp. 143-151.

LOEWEN, Brad. «La conception des coques à la Renaissance : les prémices de l'architecture navale moderne», dans Grenier, R., M.-A. Bernier et W. Stevens (dirs.), *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, pp. 1-13.

LOEWEN, Brad. «L'étrave, la quille et l'étambot : la conception du profil de la carène», dans Grenier, R., M.-A. Bernier et W. Stevens (dirs.), *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, pp. 27-56.

LOEWEN, Brad. «Les membrures, les principes de la conception atlantique et les méthodes basques de fabrication», dans Grenier, R., M.-A. Bernier et W. Stevens (dirs.), *L'archéologie subaquatique de Red Bay. La construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI^e siècle*. Ottawa : Parcs Canada, vol. III, 2007, pp. 57-108.

MARSDEN, Peter. *Ship and Shipwrecks*. Londres : English Heritage, 1997.

MCGRAIL, Sean. *Boats of the World. From the Stone Age to Medieval times*. Oxford: Oxford University Press, 2001.

MCGRAIL, Sean. *Medieval boat and ship timbers from Dublin*. Dublin : Royal Irish Academy, 1993.

MCGRAIL, Sean. *Ancient boats in Northwest Europe. The archaeology of water transport to AD 1500*. Londres : Longman, 1987.

MERRIEN, Jean. *La vie quotidienne des marins au Moyen Age: des Vikings aux galères*. Paris : Hachette, 1969.

MERRONY, Mark. *Les Vikings : conquérants, commerçants et pirates*. Londres : Periplus, Encyclopédie d'archéologie sous-marine, 2004.

MITFORD, R. Bruce. *Recent archaeological excavations in Europe*. Londres : Routledge and Kegan Paul, 1975.

MOBERG, Anders et al. «Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low and high resolution proxy data», *Nature* 433 (2005), pp. 613-617.

MULLER, W. et W. Dorfler. «The transformation of rural society, economy and landscape during the first millenium AD: archeological and paleobotanical contributions from Northern Germany and Southern Scandinavia ; Landscape history», *Geografiska annaler Series B: Human geography*, 70 (1988), p. 53- 68.

OLIVEIRA, Fernando. «Livro da fábrica das naos». c.1570. Biblioteca Nacional de Lisboa, Cod. 3702. Publié sous le titre *O Padre Fernando Oliveira e a sua obra nautica*, dir., Henrique Lopes de Mendonca, Academia Real das Sciencias, Lisbonne, 1898. Réédition sous le titre *O livro da fábrica das naos de Padre Fernando Oliveira*, dir. Manuel Leitão, Academia de Marinha, Lisbonne, 1991. Bureau de la traduction du Secrétariat d'état du Canada, Manuscrit classé, Service d'archéologie subaquatique, Parcs Canada, Ottawa, 1992.

OLSEN, O. et O. Crumlin-Pedersen. *Five Viking ships from Roskilde Fjord*. Copenhague : National Museum, 1985.

OLSEN, Olaf. «Resurrecting a proud Viking fleet», *Archaeology* 51, 5 (septembre- octobre 1998), pp. 64-65.

PÀLSSON, H. et A. Fenton. *The Northern and western isles in the Viking world : survival, continuity and change*. Edinburgh : J. Donald, 1984.

PAGE, Raymond Ian. *Chronicles of the Vikings : records, memorials and myths*. Toronto : University of Toronto Press, 1995.

PERSSON, Kjell. «Digital terrain modelling in archaeology: Three-dimensional GIS, examples from Birka and Vendel», *Fornvannen* 97, 3 (2002), pp. 191-199.

POMEY, Patrice. «Le navire romain de la Madrague de Giens», *Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Comptes-rendus de séances*, 1982, pp. 133-154.

POMEY, Patrice. «Shell conception and skeleton process in ancient Mediterranean shipbuilding», dans Westerdahl, C. (dir.), *Crossroads in ancient shipbuilding. Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde, 1991* (Oxford : Oxbow Books, 1994), pp. 125-130.

POMEY, Patrice. «Conception et réalisation des navires dans l'Antiquité méditerranéenne», dans Rieth, É. (dir.), *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998, pp. 49-70.

POMEY, P. et F. Guibal. «Essences et qualité des billes employées dans la construction navale antique : étude anatomique et dendrochronologique», dans Corvol, A. (dir.), *Forêt et marine* (Paris : L'Harmattan, Groupe d'Histoire des Forêts Françaises, 1999), pp. 15-32.

POMEY, P. et É. Rieth. *Construction navale maritime et fluviale : approches archéologiques, historique et ethnologique. Actes du septième Colloque international d'archéologie navale, Île Tatihou, Saint-Vaast-la-Hougue, 1994* (Paris : CNRS Éditions, 1999).

POMEY, P. et É. Rieth. *L'archéologie navale*. Paris : Éditions Errance, 2005.

POMEY, P. «Principles and methods of construction in ancient naval architecture», dans Hocker, F. et C. Ward (dirs.), *The philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships* (College Station : Texas A&M University Press, 2004), pp. 25-36.

PULSIANO, P. et K. Wolf. *Medieval Scandinavia : an encyclopedia*. New York : Garland, 1993.

RIDEL, Élisabeth. «L'héritage maritime des Vikings en Europe de l'Ouest», dans Ridel, É. (dir.), *Colloque international de la Hague, Flottemanville-Hague 30 septembre au 3 octobre 1999* (Caen : Presses universitaires de Caen, 2002).

RIECK, Flemming. «The iron age boats from Hjortspring and Nydam, New investigations», dans Westerdahl, C. (dir.), *Crossroads in ancient shipbuilding*.

Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde, 1991 (Oxford: Oxbow Books, 1994), pp. 45-54.

RIETH, Éric et al. «La construction navale à l'époque de Guillaume le Conquérant», *Dossiers histoire et archéologie*, 117 (juin 1987), pp. 72-83.

RIETH, Éric. «La construction navale scandinave (VIII^e-XII^e siècle). Quelques résultats récents», dans Galinié, H. (dir.), *Actes du Deuxième Congrès International d'Archéologie Médiévale, Caen 1987* (Caen : Société d'archéologie médiévale, 1989), pp. 33-38.

RIETH, Éric. «Une tradition médiévale et méditerranéenne de conception des navires construits à franc-bord membrure première», dans Rieth, É. (dir.), *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998, pp. 91-108.

RIETH, Éric. *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*. Ramonville Sainte-Agne : Éditions Erès, Revue d'anthropologie des connaissances, 1998.

RIETH, Éric. *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet. Essai sur la conception non-graphique des carènes du Moyen Âge au XX^e siècle*. Paris : Éditions du CTHS, Histoire des Sciences, 1996.

RIETH, É., C. Ahlstrom et C. O. Cederlund. «Looking for leads: shipwrecks of the past revealed by contemporary documents and the archaeological record», *Bibliothèque de l'École des Chartes*, 156 (1998), pp. 242-244.

RIETH, Éric. «L'épave du caboteur de Culip VI (Catalogne, Espagne)», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp. 205-212.

RIETH, Éric. «La sélection des bois selon le *Livro da fabrica das naos (1570-1580)* de Fernando Oliveira», dans Corvol, A. (dir.), *Forêt et marine* (Paris : L'Harmattan, Groupe d'Histoire des Forêts Françaises, 1999), pp. 33-40.

ROESDAHL, E. et D. Mackenzie. *From Viking to crusader : the Scandinavians and Europe, 800-1200*. New York: Rizzoli, 1992.

ROESDAHL, Else. «Viking ships», *Antiquity* 77, 297 (septembre 2003), pp. 616-620.

SAYERS, William. «Scarfig the yard with words (*Fostbr ra saga*) : shipbuilding imagery in Old Norse poetics», *Scandinavian Studies* 74, 1 (2002), pp. 1-18.

SMITH, Jack. «The cores; lighter weight for speed and efficiency is the direction in which all boatbuilding is going», *Yachting*, 153 (1983), p. 124.

SOMME, Axel Christian. *A geography of Norden: Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweden*. Londres: Heinemann, 1968.

SOUTHWARD A. J. et G. T. Boalch. «The effect of changing climate on marine life : Past events and future predictions», dans Fisher, S. (dir.), *Man and the maritime environment* (x: University of Exeter Press, 1994), pp. 101-143.

STEFFY, John Richard. *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*. Londres : Chatham, 1998.

STEFFY, J. Richard. «Influences on shipbuilding technology», dans Litwin, J. (dir.), *Down the river to the sea. Eight International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk, 1997* (Gdansk: Polish Maritime Museum, 2000), pp. 263-268.

STORCH, Hans von et al. «Reconstructing past climate from noisy data», *Science* 306 (2004), pp. 679-682.

TCHERNIA, A., P. Pomey et A. Hesnard. *L'épave romaine de La Madrague de Giens (Var)*, Paris: XXXIV^e supplément à *Gallia*, 1978.

TILLEY, Christopher. *The Phenomenology of Landscape: Places, Paths, and Monuments*. Londres : Berg Publishers, 1994.

UNGER, Richard W. *The ship in the medieval economy, 600-1600*. Montréal : McGill-Queen's University Press, 1980.

UNGER, Richard W. «Warships and cargo ships in medieval Europe», *Technology and Culture* 22, 2 (1981), pp. 233-252.

VALBJØRN, K., H.P. Rasmussen et J.A. Jorgensen. «The reconstruction of the Hjortspring boat. Philosophy, Execution and initial results», dans Litwin, J. (dir.), *Down the river to the sea. Eight International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk ,1997* (Gdansk: Polish Maritime Museum, 2000), pp. 103-110.

VAN DE NOORT, R. «An ancient seascape: the social context of seafaring in the early Bronze Age», *World Archaeology* 35, 3 (2003), pp. 404-415.

VINNER, Max. *Viking ship museum boats*. Roskilde: Roskilde Amtsmuseumsrad, 2002.

WESTERDAHL, Christer. «The maritime cultural landscape», *International Journal of Nautical Archaeology* 9, 4 (1980), pp. 311-329.

WESTERDAHL, Christer. «The maritime cultural landscape», *International Journal of Nautical Archaeology* 1, 21 (1992), pp. 5-14.

WESTERDAHL, Christer. *Crossroads in ancient shipbuilding. Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde, 1991*, Oxford: Oxbow Books, 1994.

WESTERDAHL, Christer. «Maritime cultures and ship types: brief comments on the significance of maritime archaeology», *International Journal of Nautical Archaeology* 4, 23 (1994), pp. 265-270.

WESTERDAHL, Christer. «Inland water boats and shipping in Sweden. The Great Lakes: The application of a theory on transport zones and maritime enclaves», dans Pomey, P. et É. Rieth (dirs.), *Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique. Actes du Septième Colloque International d'archéologie navale* (Paris : CNRS Éditions, Archaeonautica 14, 1998), pp. 135-143.

WESTERDAHL, Christer. *The Significance of Portages. Proceeding of the First International Conference on the Significance of Portages, Lyngdal, Vest-Agder, 2004*, Oxford: Archaeopress, BAR International Series 1499, 2006.

ZUPKO, Ronald E. *A Dictionary of Weights and Measures for the British Isles: The Middle Ages to the Twentieth Century*. Philadelphia, American Philosophical Society (Memoir 168), 1985.

