

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB  
DE BLIDA**

**Institut d'Architecture et d'Urbanisme**

**THESE DE DOCTORAT (D/LMD)**

En Architecture

Spécialité : Architecture, Patrimoine bâti et Environnement

**L'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES PHARES COTIERS EN  
ALGERIE FACE AUX RISQUES NATURELS**

Par

**Karima AMARI**

Sous la direction de

**Pr. Amina ABDESSEMED FOUFA et Pr. Giuseppina UVA**

Soutenue publiquement devant le jury composé de :

Dalel KAOULA	Président	MCA	Université de Blida 01
Amina ABDESSEMED FOUFA	Directrice de thèse	Professeur	Université de Blida 01
Giuseppina UVA	Directrice de thèse	Professeur	Polytechnique de Bari
Mohamed BOUKADER	Examineur	MCA	Université de Blida 01
Khalil AOUISSI	Examineur	MCA	Université de Blida 01
Sergio RUGGIERI	Examineur	Professeur assistant	Polytechnique de Bari

Blida, 2023

## RESUME

Les installations maritimes coloniales en Algérie étaient parmi les premières constructions françaises en raison de l'importance de transport maritime à cette période de colonisation. En effet, aujourd'hui les 1622 kilomètres du littoral algérien présentent des constructions portuaires et côtières datant de plus d'un siècle et demi, et on trouve un nombre assez important de phares qui représentent l'architecture du XIXème et début du XXème siècle. L'ensemble de ces édifices constituent une richesse patrimoniale très intéressante qui varie de l'Est à l'Ouest à travers les styles architecturaux, les typologies constructives, les matériaux, les techniques constructives et les détails architectoniques. Dans un cadre de préservation et de conservation du patrimoine bâti des XIXème et XXème siècles situé sur le littoral, la question de vulnérabilité de ces phares en maçonnerie face aux risques naturels est devenue très importante et d'actualité, vue que l'Algérie par sa situation géographique est soumise aux aléas naturels parmi lesquels: « les séismes, les risques géologiques, les risques climatiques, et les risques marins ». On pose aujourd'hui la problématique de conservation pré et poste catastrophe des phares dans une optique de réutilisation de cette richesse patrimoniale à travers des interventions sous forme de : restauration, réhabilitation, entretien périodique ou reconversion; surtout qu'on a vu ces deux dernières décennies qu'un nombre assez important de phares ont perdu leur fonction initiale au fil du temps vu que les aides à la navigation électroniques ont imposé leur logique et profondément bouleversé les méthodes de navigation maritime. En Europe et à travers le monde, l'avenir des phares abandonnés passe le plus souvent par une reconversion généralement touristique grâce à leur situation par rapport à la mer, leurs valeurs historique, paysagère et parfois stylistique. Nous abordons notre thème de recherche à travers une méthodologie explicative où les deux méthodes qualitative et quantitative sont utilisées en deux volets : Le premier volet est consacré à l'étape de reconnaissance des phares grâce à la méthode qualitative qui nécessite une recherche historique et une analyse descriptive des phares afin de ressortir la classification des typologies architecturales et constructives. Le deuxième volet s'intéresse à l'évaluation de la vulnérabilité à travers la méthode

quantitative, cette méthode repose sur l'étape exploratoire pour la connaissance des théories et méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie, et en ensuite choisir la méthode d'analyse à adopter pour chaque typologie des phares en Algérie à travers l'approche analytique et numérique des cas d'étude, et en fin l'évaluation de leur vulnérabilité face aux risques naturels. L'objectif de cette recherche consiste à apporter des connaissances sur les phares à travers l'identification, l'étude historique et l'analyse architecturale pour faire la classification selon des typologies, et évaluer la vulnérabilité des phares en maçonnerie en Algérie et par la même constituer un support de connaissance à exploiter ou à utiliser par l'ONSM (Office National de Signalisation Maritime). Cet office est chargé de la gestion et l'exploitation des phares en Algérie s'en servira pour améliorer la pratique de conservation des phares qui peut être destructive dans les cas où les phares se trouvent dans à un état de dégradation avancé. Les résultats attendus de ce travail de recherche prennent en considération donc deux aspects à savoir l'architectural et le technique à travers la reconnaissance de ces bâtiments et leur degré de vulnérabilité afin de proposer le type d'intervention adéquat. Cette étude permettra aussi de développer une méthode pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie du littoral face aux risques naturels.

## SUMMARY

Colonial maritime installations were among the first interventions in Algeria due to the importance of maritime transport during that period. Indeed, today, 1622 kilometers of Algerian coastline present coastal constructions dating back more than a century and a half, including fairly large number of lighthouses that represent the architecture of the 19th and early 20th centuries. All of these buildings constitute a very interesting heritage wealth that varies from East to West through architectural styles, construction typologies, materials, construction techniques and architectural details. In the context of preservation and conservation of the coast-built heritage of the 19th and 20th centuries in Algeria, the question of the vulnerability of these masonry lighthouses from natural risks have become very important and topical, given that Algeria, by its geographical location, it is subject to natural hazards, including earthquakes, geological, climatic, and marine risks. Now, we are raising the post-disaster conservation issue of lighthouses with a view to reusing this rich heritage through interventions such as: restoration, rehabilitation, periodic maintenance, or conversion; Especially since we have seen it the last two decades that fairly large number of lighthouses have lost their initial function over time since electronic navigation aids have imposed their logic and profoundly upset maritime navigation methods. In Europe and throughout the world, the future of abandoned lighthouses involves generally a touristic reconversion thanks to their location near the sea, their historical, landscape, and sometimes stylistic values. We approach our research theme through an explanatory methodology using the two qualitative and quantitative ones in two parts: The first part is devoted to the recognition of the lighthouses thanks to the qualitative method which requires historical research and a descriptive analysis of the lighthouses in order to establish the classification of architectural and constructive typologies. The second part is interested in the evaluation of the vulnerability through the quantitative methodology, which is based on the exploratory stage for the knowledge of the theories and evaluation's methods of the vulnerability of masonry buildings, and then is to choose the analysis method to adopt for each typology of lighthouses in Algeria through the

analytical and numerical approach of the case studies, then the assessment of their vulnerability to natural risks. The objective of this research is to provide knowledge on lighthouses through identification, historical study, and architectural analysis to make the classification according to typologies, and to assess the vulnerability of masonry lighthouses in Algeria, and constitute also knowledge support to be exploited by the ONSM (Office National de Signalisation Maritime) responsible for the management and maintenance of lighthouses in Algeria to improve the practice of lighthouses conservation which can be destructive if lighthouses are in an advanced state of degradation. The expected results of this research work are inscribed in the two architectural and technical aspects of the lighthouses through buildings and vulnerability recognition in order to propose the type of intervention, and again this study will make it possible to provide a model to make an assessment of the vulnerability of coastal masonry buildings in the face of natural risks.

## ملخص

في الفترة الاستعمارية، كانت المنشآت البحرية في الجزائر من بين أولى المباني الفرنسية نظراً لأهمية النقل البحري خلال تلك الفترة. نتيجة لذلك فإن الساحل الجزائري البالغ طوله 1622 كيلومتراً يعرض حالياً منشآت ساحلية يعود تاريخها إلى أكثر من قرن ونصف، بما في ذلك عدد كبير من المنارات البحرية التي تمثل هندسة معمارية مميزة للقرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. تشكل كل هذه المباني ثروة تراثية بالغة الأهمية، تختلف من الشرق إلى الغرب من حيث الأشكال المعمارية و تفاصيلها، تقنيات و مواد و البناء. في سياق الحفاظ على التراث العمراني العائد للقرنين التاسع عشر والعشرين الواقع على الساحل الجزائري والمحافظة عليه، فإن دراسة ضعف بنايات هذه المنارات في مواجهة المخاطر الطبيعية أصبحت مسألة مهمة للغاية بالنظر إلى الموقع الجغرافي للجزائر الذي يجعلها في عرضة دائمة للأخطار الطبيعية منها: "الزلازل و المخاطر الجيولوجية، المناخية، والكوارث المتعلقة بالوسط البحري". نطرح الآن قضية الحفاظ على المنارات البحرية بعد الكوارث بهدف إعادة استخدام هذا التراث الغني من خلال تدخلات في شكل: ترميم أو إعادة تأهيل أو صيانة دورية أو تغيير الوظيفة؛ خاصة وأننا رأينا في العقدين الماضيين أن عدداً كبيراً إلى حد ما من المنارات فقد وظيفته الأولية بمرور الوقت حيث فرضت وسائل الملاحة الإلكترونية منطقتها وأدت إلى تغيير جذري في أساليب الملاحة البحرية. في أوروبا وفي جميع أنحاء العالم، غالباً ما يتجه مستقبل المنارات المهجورة نحو إعادة استعمالها كعنصر سياحي بشكل عام بفضل موقعها على الشريط الساحلي وقيمها التاريخية و الطبيعية وأحياناً نمطها المعماري. نتناول موضوع بحثنا من خلال منهجية تفسيرية حيث يتم استخدام الطريقتين النوعيتين والكميتين على جزأين: الجزء الأول مخصص للتعرف على المنارات الجزائرية بفضل الأسلوب النوعي كأداة معرفية من خلال البحث التاريخي والتحليل الوصفي للمنارات من أجل إبراز تصنيفها المعماري. الجزء الثاني يهتم بتقييم ضعف المنارات تجاه الكوارث الطبيعية من خلال الطريقة الكمية، وهذه الطريقة تقوم على المرحلة الاستكشافية لمعرفة نظريات وطرق تقييم قابلية تأثر العمارات المبنية بالحجارة، ومن ثم القيام باختبار منهجية التحليل التي سيتم اعتمادها لكل نمط من أنماط المنارات في الجزائر من خلال النهج التحليلي و العددي للحالات المختارة، وفي النهاية تقييم قابلية تأثرها بالكوارث الطبيعية. الهدف من هذا البحث هو توفير المعرفة حول المنارات من خلال تحديد عددها، الدراسة التاريخية والتحليل المعماري من أجل تصنيفها وفقاً لأنماط، وتقييم مدى تأثر المنارات الساحلية المبنية بالحجارة بالكوارث الطبيعية، و ليتم استخدامها من قبل المكتب الوطني للإشارة البحرية ONSM، المسؤول عن إدارة وتشغيل المنارات في الجزائر لتحسين طرق الحفاظ عليها، التي قد تكون مدمرة في الحالات التي تكون فيها المنارات في حالة تدهور متقدم. يتم تسجيل النتائج المتوقعة لهذا العمل البحثي في الجانبين المعماري والفني للمنارات من خلال التعرف على هذه المباني و مدى ضعفها من أجل اقتراح نوع التدخل، ومرة أخرى ستجعل هذه الدراسة من الممكن تقديم نموذج لتقييم قابلية التأثر بالبناء الساحلي في مواجهة المخاطر الطبيعية

## REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux,

Une thèse de doctorat est le fruit d'un travail collectif pendant plusieurs années. Je voudrais remercier toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à ce travail et qui ont chacune apporté leur pierre à l'édifice. Mais avant tout, je remercie Allah en premier lieu qui m'a donné la force et la volonté de continuer à travailler sérieusement et arriver à finir ce travail. Mes parents, je vous remercie très fort, grâce à vous, Dieu m'a permis d'arriver à ce niveau. Un grand merci pour vous à qui je dois ce que je suis devenue. Merci pour vos invocations en ma faveur, merci aussi pour vos encouragements incessants, vos conseils et les conditions que vous m'avez offert pour bien étudier.

La première personne à qui je souhaite exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements c'est ma directrice de thèse, ABDESSEMED FOUFA Amina, Professeur et directrice du laboratoire ETAP à l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme (I.A.U) à l'université de Blida 01, qui m'a proposé le sujet de la vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie. Merci de m'avoir fait confiance en me proposant ce sujet, d'avoir encadré, suivi et orienté mon travail pendant ces années. Je la remercie également pour sa grande connaissance scientifique, son fort soutien moral, sa disponibilité, sa rigueur scientifique et ses qualités humaines et sa bonne humeur, et pour tous les moyens qu'elle a mis à ma disposition pour me faciliter la tâche. Je lui souhaite, une longue vie et beaucoup de réussite dans sa noble carrière.

Mes remerciements s'adressent également à UVA Giuseppina, co-directeur de ma thèse, Professeur au niveau du département de Génie Civil, Environnemental, Territorial, de Construction, et de Chimie DICATECh au polytechnique de Bari (Italie), d'avoir accepté de Co-encadrer ma thèse, et de m'avoir accueilli dans son laboratoire durant une période de stage de 7 mois, et qui m'a apporté son expertise dans le domaine de la vulnérabilité sismique des bâtiments en

maçonnerie. Je la remercie pour son dévouement, son aide, ses précieux conseils scientifique ainsi que ses encouragements tout au long de ce travail. Je suis intimement convaincu que sans ces deux personnes, la thèse n'aurait pas abouti. Je leur dois beaucoup.

Mes remerciements vont aux membres de jury pour le temps pris à examiner mon travail. Je remercie Mme KAOULA Dalel Maitresse de Conférence de m'avoir fait l'honneur de présider mon Jury de soutenance, J'adresse également mes remerciements aux rapporteurs du manuscrit, BOUKADER Mohamed et AOUISSI Khalil, Maitres de conférence à l'université de Blida-01-, et Sergio RUGGIERI, professeur assistant au polytechnique de Bari, d'avoir accepté la tâche de rapporter cette thèse. Je suis très reconnaissante pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour leurs conseils efficaces.

Au terme de ce travail, je souhaite également remercier ceux qui par leur compagnonnage, leur amitié, leur soutien, ont contribué à la conduite de cette thèse :

À Alger, Je remercie l'ensemble du personnel et techniciens de l'office national de signalisation maritime ONSM, et en particulier Mr SEMACHE, je tiens à le remercier pour son aide dans ma recherche archivistique.

À Bari, Je tiens à remercier tous mes collègues de l'école doctorale au niveau DICATECh, dirigé par Professeur UVA Giuseppina, RUGGIERI Sergio, LEGGIERI Valeria, GENTILE Roberto. Je remercie particulièrement NETTIS Andrea, pour son aide sur le logiciel TreMuri.

Je dédie cette thèse à toute ma famille, mes parents sans qui rien de tout cela ne serait arrivé, mes chers frères Abdelkader et Souheib, et mes chères sœurs : Fatima, Hassiba et Malika, à mes nièces et neveux, qui m'offrent depuis toujours un appui et soutien permanent et des encouragements incessants. Je vous dois beaucoup.



Je remercie du fond du cœur également tous mes amis pour leur soutien, un clin d'œil particulier à ma chère amie BENAMIRA Fatiha pour son soutien pendant la dernière ligne droite de ce travail. Je la remercie de m'avoir supporté et encouragé lorsque j'en avais besoin durant cette épreuve. Encore un grand merci à tous pour m'avoir conduit à ce jour mémorable.

**AMARI Karima**

## TABLE DES MATIERES

RESUME	2
REMERCIEMENTS	7
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX	12
INTRODUCTION	22
1. LE PHARE A TRAVERS L'HISTOIRE	27
1.1. Introduction	27
1.2. L'histoire des phares	28
1.3. Conclusion	50
2. LA SIGNALISATION MARITIME	51
2.1. Introduction	51
2.2. Le rôle des phares	51
2.3. L'évolution de la signalisation maritime : techniques et moyens	63
2.4. La gestion des phares	71
2.5. Conclusion	73
3. L'ARCHITECTURE DES PHARES	74
3.1. Introduction	74
3.2. Le phare dans son environnement immédiat	74
3.3. Conception architecturale	80
3.4. Conservation des phares	111
3.5. Conclusion	115
4. LES PHARES EN ALGERIE	117
4.1. Introduction	117
4.2. La signalisation maritime en Algérie avant le XIXème siècle	117
4.3. Les phares coloniaux	122
4.4. Les phares en Algérie après l'indépendance	168
4.5. Conclusion	172
5. LES PHARES FACE AUX RISQUES NATURELS ET L'EVALUATION DE LEUR VULNERABILITE	174
5.1. Introduction	174
5.2. Le phare et les risques naturels	175

5.3. Les phares en Algérie face aux risques naturels	183
5.4. La vulnérabilité sismique des phares	188
5.5. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique	191
5.6. L'analyse de la vulnérabilité sismique à l'échelle du bâtiment	195
5.7. L'approche d'analyse sismique des phares en Algérie	196
5.8. Conclusion	202
6. L'EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DES PHARES EN ALGERIE	204
6.1. Introduction	204
6.2. La vulnérabilité sismique des phares en Algérie	205
6.3. Le phare de cap Falcon	216
6.4. Le phare Bengut	229
6.5. Le phare des îles Habibes	247
6.6. Conclusion	260
CONCLUSION	262
APPENDICES	268
A. Liste des symboles et des abreviations	268
B. Archive de l'office nationale de signalisation maritime	270
REFERENCES	291

## LISTE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX

Figure 1.1 : Phare d’Alexandrie (a) selon Renard Léon, (b) selon Robert Bedon, (c) selon le Geographical Dictionary.	<b>33</b>
Figure 1.2 : Phare d’Alexandrie à travers le temps selon les auteurs arabes.	<b>33</b>
Figure 1.3 : La tour d’Hercule.	<b>34</b>
Figure 1.4 : La tour d’Ordre de Boulogne, (a) Restitution de H. Delin - 1828/1829, (b) Restitution de M. Buchwald - 1905.	<b>35</b>
Figure 1.5 : La tour de Douvres, d’après Wheeler 1929.	<b>36</b>
Figure 1.6 : Le phare de Livourne en 1841.	<b>38</b>
Figure 1.7 : Le phare de Livourne aujourd’hui.	<b>38</b>
Figure 1.8 : Dessin de phare de Gênes datant de 1371, la tour actuelle de la Lanterne.	<b>39</b>
Figure 1.9 : La tour de Lowestoft en 1797.	<b>41</b>
Figure 1.10 : Le phare de Saint Gervais, dernier phare construit en France.	<b>43</b>
Figure 1.11 : L’ancien phare de Cordouan.	<b>45</b>
Figure 1.12 : La coupe de la tour actuel de Cordouan, le phare actuel de Cordouan.	<b>46</b>
Figure 1.13 : les trois premiers phares d’Eddystone : (a) Wistanley 1696, (b) Rudyard 1706, (c) Smeaton 1759.	<b>48</b>
Figure 1.14 : (a) un dessin du phare actuel d’Eddystone, (b) le phare actuel d’Eddystone.	<b>49</b>
Figure 1.15 : La coupe de la tour de Minots Ledge [34], le phare de Minots Ledge.	<b>50</b>
Figure 2.1 : l’impact de l’atmosphère sur la portée lumineuse d’un phare la nuit .	<b>53</b>
Figure 2.2 : l’influence de l’hauteur de l’amer et la rotondité de la terre sur la visibilité d’un phare le jour.	<b>54</b>
Figure 2.3 : Les rayons de visibilité des phares et feux éclairant la zone proche du port d’Arzew en Algérie vers 1947.	<b>56</b>
Figure 2.4 : Le phare et le sémaphore du Cap Béar en France.	<b>58</b>
Figure 2.5 : Exemple d’un bateau phare.	<b>61</b>

Figure 2.6 : Exemple d'une bouée de balisage maritime.	<b>62</b>
Figure 2.7 : Drapeau nautique international de signal maritime (pavillon, flamme et triangle).	<b>63</b>
Figure 2.8 : (a) Le phare de l'île de May (1635, charbon), (b) Le phare de Spurn-Point (1819, huile).	<b>65</b>
Figure 2.9 : (a) Le phare de la Hève (électrifié en 1863) <sup>0</sup> , (b) Le phare des Poulains (1999, énergie solaire).	<b>65</b>
Figure 2.10 : La taille de la lanterne selon l'ordre de l'appareil d'éclairage.	<b>67</b>
Figure 2.11 : (a) appareil catoptriques, (b) appareil dioptrique.	<b>69</b>
Figure 2.12 : (a) feu fixe, (b) feu tournant, (c) feu a éclats.	<b>70</b>
Figure 3.1 : Phare sur cap.	<b>76</b>
Figure 3.2 : Phare sur îlot.	<b>77</b>
Figure 3.3 : Phare sur île.	<b>77</b>
Figure 3.4: Phare sur récif.	<b>78</b>
Figure 3.5 : Phare du port.	<b>79</b>
Figure 3.6 : Les plans de la tour de Douvres, d'après Wheeler 1929.	<b>81</b>
Figure 3.7 : maquette du phare d'Alexendrie, d'après Thiersch 1998.	<b>82</b>
Figure 3.8 : (a) le phare d'après un médaillon du maréchal d'Estrées, (b) le phare d'après une médaille Baudelot de Dairval.	<b>83</b>
Figure 3.9 : La technique des murs à double parois présentée par Ivan Fioramonti sur la maquette du phare d'Alexandrie.	<b>87</b>
Figure 3.10 : La technique des murs à parois solide « une tourelle de port ».	<b>88</b>
Figure 3.11 : Le phare d'Eddystone construite par John Smeaton.	<b>89</b>
Figure 3.12 : Exemples des voutes plate en pierre de taille.	<b>89</b>
Figure 3.13 : Les différentes forme des tours en bois : (a) la tour carrée de Boar's Head, (b) la tour octogonale de Cleveland-point , et (c) la tour ronde de Lady Elliot Island.	<b>90</b>
Figure 3.14 : les éléments constructifs d'un phare en bois « Le phare de Lady Elliot Island ».	<b>91</b>
Figure 3.15 : Exemple d'un phare ajouré « le phare de Carysfort Reef, au Etats Unis ».	<b>93</b>

- Figure 3.16 : les formes de phares métalliques ajourés : (a) une tour octogonale du Phare de Ship Shoal (b) la tour hexagonale du phare de Tarragone (c) la tour carrée du phare de Screw Pile. **94**
- Figure 3.17 : Exemple des phares à tronc solide « phare de Sletringen en Norvège ». **95**
- Figure 3.18 : Exemple des phares métalliques hybrides « phare de l'îlot Amédée en Nouvelle-Calédonie ». **97**
- Figure 3.19 : Exemple des phares métalliques hybrides « phare de Roches-Douvres en France ». **97**
- Figure 3.20 : Exemple des tours de Texas « phare de la baie de Buzzards au Etats Unis ». **98**
- Figure 3.21 : Exemple des phares métallique hybrides « phare du port Adelaïde en Australie ». **99**
- Figure 3.22 : Façade et coupe du phare de Port-Saïd. **100**
- Figure 3.23 : Exemple de fondation en caisson, le phare de Butler Flats aux Etas unis. **101**
- Figure 3.24 : Exemple des phares moderne en béton armé, le phare de Cintrao, le phare de la Pointe au Père, le nouveau phare de Dellys. **102**
- Figure 3.25 : (a) : tours modulaire en FVP, (b) : Exemple d'un phare en FVP. **103**
- Figure 3.26 : Exemple des phares tour : (a) tour à escalier spiral, (b) tour avec une base réservée aux services et logement, (c) tour sur un écueil. **105**
- Figure 3.27 : Articulation tour-bâtiment adjacent : (a) tour au centre bâtiment, (b) bâtiment accolé à la tour. **106**
- Figure 3.28 : Exemples des phares métallique ou l'habitation est à proximité de la lumière. **106**
- Figure 3.29 : Exemples des phares tour et ensemble: le phare du Créac'h, le phare de Eckmühlän. **107**
- Figure 3.30 : Exemples des phares anciens : le phare d'Alexandrie, la tour d'Hercule. **109**
- Figure 3.31 : La décoration intérieur et extérieure du phare de Cordouan. **110**
- Figure 3.32 : La reconversion du phare de Capo Spartivento en Italie. **114**
- Figure 4.1 : Les phares en Algérie avant le XIXème siècle. **118**
- Figure 4.2 : Fouille du phare de l'îlot Joinville à Cherchell par E. Stawaski, A : les restes du sanctuaire, B : le phare antique, C : les fondations du fort turc. **119**

Figure 4.3 : <i>Bordj el Fnar</i> , phare actuel de l'Amirauté à Alger.	<b>120</b>
Figure 4.4 : La situation de phare à l'extrémité de la forteresse espagnole de Mers El Kébir à Oran.	<b>121</b>
Figure 4.5 : Le phare espagnole de Mers El Kébir à Oran, (a) vue d'ensemble, (b) la coupe de phare.	<b>121</b>
Figure 4.6 : Les phares en Algérie durant le XIXème siècle.	<b>124</b>
Figure 4.7 : Les phares en Algérie durant le XIXème siècle.	<b>125</b>
Figure 4.8. Réseau général des feux de signalisation maritime de département d'Oran en 1946: phares et feux de port et leur portée lumineuse.	<b>126</b>
Figure 4.9. Situation de phare de l'îlot d'Arzew.	<b>126</b>
Figure 4.10. Illustration du phare de l'îlot d'Arzew: plan d'ensemble.	<b>127</b>
Figure 4.11. Illustration du phare de l'îlot d'Arzew.	<b>127</b>
Figure 4.12. Situation de phare de Ghazaouet.	<b>128</b>
Figure 4.13. Illustration du phare de Ghazaouet: vue en plan RDC.	<b>129</b>
Figure 4.14. Illustration du phare de Ghazaouet.	<b>129</b>
Figure 4.15. Situation de phare de cap Falcon.	<b>130</b>
Figure 4.16. Illustration du phare de cap Falcon: vue en plan RDC.	<b>130</b>
Figure 4.17 : Illustrations du phare de cap Falcon: (a) façade principale; (b) vue latérale; (c) vue 3D.	<b>131</b>
Figure 4.18. Illustration du phare de cap Falcon.	<b>131</b>
Figure 4.19. Situation de phare de l'île Rachgoun.	<b>132</b>
Figure 4.20. Illustrations du phare de l'île Rachgoun.	<b>133</b>
Figure 4.21. Situation de phare de cap Ivi.	<b>133</b>
Figure 4.22. Illustration du phare de cap Ivi : plan de masse.	<b>134</b>
Figure 4.23. Illustrations du phare de cap Ivi.	<b>134</b>
Figure 4.24. Situation de phare des îles Habibas.	<b>135</b>
Figure 4.25. Illustration du phare des îles Habibas: plan d'ensemble.	<b>135</b>
Figure 4.26. Illustration du phare des îles Habibas: vue en plan RDC.	<b>136</b>

Figure 4.27 : Illustrations du phare des îles Habibes: (a) façade principale; (b) vue latérale gauche; (c) façade arrière; (d) vue latérale droite.	<b>137</b>
Figure 4.28. Illustrations du phare des îles Habibas : vues.	<b>137</b>
Figure 4.29. Situation de phare de cap de l'Aiguille.	<b>138</b>
Figure 4.30. Illustration du phare de cap de l'Aiguille : vue en plan RDC.	<b>139</b>
Figure 4.31. Illustrations du phare de cap de l'Aiguille: vues.	<b>139</b>
Figure 4.32. Réseau général des feux de signalisation maritime de département d'Alger en 1946: phares et feux de port et leur portée lumineuse.	<b>140</b>
Figure 4.33. Situation de phare de cap Ténès.	<b>140</b>
Figure 4.34. Illustration du phare de cap Ténès.	<b>141</b>
Figure 4.35. Situation de phare de Cherchell.	<b>142</b>
Figure 4.36. Illustrations du phare de Cherchell: vues.	<b>142</b>
Figure 4.37. Situation de phare de Tipaza.	<b>143</b>
Figure 4.38. Illustrations du phare de Tipaza: vues.	<b>143</b>
Figure 4.39. Situation de phare de cap Caxine.	<b>144</b>
Figure 4.40. Illustration du phare de Caxine: vue d'ensemble.	<b>144</b>
Figure 4.41. Illustrations du phare de cap Caxine.	<b>145</b>
Figure 4.42. Situation de phare de cap Matifou.	<b>145</b>
Figure 4.43. Illustration du phare de cap Matifou.	<b>146</b>
Figure 4.44. Situation de phare de cap Bengut.	<b>146</b>
Figure 4.45 : Illustration du phare de cap Bengut: vue 3D.	<b>147</b>
Figure 4.46 : Illustrations du phare de cap Bengut: vue en plan RDC.	<b>148</b>
Figure 4.47. Illustration du phare de cap Bengut avant 2003.	<b>148</b>
Figure 4.48 : Illustrations du phare Bengut actuellement : (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest.	<b>149</b>
Figure 4.49. Situation de phare de cap Corbelin.	<b>150</b>
Figure 4.50. Illustrations du phare de cap Corbelin.	<b>150</b>
Figure 4.51. Situation de phare de cap Colombi.	<b>151</b>



Figure 4.52. Illustration du phare de cap Colombi : vue d'ensemble.	<b>151</b>
Figure 4.53. Illustrations du phare de cap Colombi.	<b>152</b>
Figure 4.54. Carte de l'éclairage des côtes de département de Constantine en 1946 : phares, feux et leur portée lumineuse.	<b>153</b>
Figure 4.55. Situation de phare de cap Carbon.	<b>154</b>
Figure 4.56. Illustrations du phare de cap Carbon.	<b>154</b>
Figure 4.57. Situation de phare de cap de Garde.	<b>155</b>
Figure 4.58. Illustrations du phare de cap de Garde.	<b>155</b>
Figure 4.59. Situation de phare de cap Collo.	<b>156</b>
Figure 4.60. Illustrations du phare de cap Collo.	<b>156</b>
Figure 4.61. Situation de phare de Ras Afia.	<b>157</b>
Figure 4.62. Illustrations du phare de Ras Afia.	<b>158</b>
Figure 4.63. Situation de phare de cap Rosa.	<b>158</b>
Figure 4.64. Illustration du phare de cap Rosa.	<b>159</b>
Figure 4.65. Situation de phare de cap de Fer.	<b>159</b>
Figure 4.66. Illustrations du phare de cap de Fer.	<b>160</b>
Figure 4.67. Situation de phare de cap Bougaroun.	<b>161</b>
Figure 4.68. Illustrations du phare de cap Bougaroun.	<b>161</b>
Figure 4.69. Situation de phare de l'îlot des Singes.	<b>162</b>
Figure 4.70. Illustrations du phare de l'îlot des Singes.	<b>162</b>
Figure 4.71. Situation de phare de l'île Srigine.	<b>163</b>
Figure 4.72. Illustrations du phare de l'île Srigine.	<b>163</b>
Figure 4.73. Situation de phare de cap Sigli.	<b>164</b>
Figure 4.74. Illustrations du phare de cap Sigli.	<b>165</b>
Tableau 4.1 : Les similitudes des phares algériens à ceux en France.	<b>167</b>
Figure 4.75 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne Ouest.	<b>169</b>
Figure 4.76 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne du centre.	<b>169</b>

Figure 4.77 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne Est.	<b>170</b>
Figure 4.78 : Situation de nouveau phare de cap Bengut.	<b>170</b>
Figure 4.79 : Le nouveau phare de cap Bengut.	<b>171</b>
Figure 4.80 : L'intérieur du phare de cap Caxine.	<b>172</b>
Figure 4.81 : Installation des étalements en bois dans le phare de cap Bengut.	<b>172</b>
Figure 4.82 : Les phares construits en Algérie depuis l'antiquité jusqu'à aujourd'hui.	<b>173</b>
Figure 5.1 : carte de sismicité mondiale entre 1900 à 1997.	<b>176</b>
Figure 5.2 : Exemple des phares touchés par le risque sismique.	<b>177</b>
Figure 5.3 : Exemple d'un phare isolé en mer face aux violentes vagues.	<b>178</b>
Figure 5.4 : Les mécanismes de rupture due à la force des vagues.	<b>179</b>
Figure 5.5 : Le phare de Rubjerg Knude.	<b>183</b>
Figure 5.6 : carte de la sismicité historique du Nord algérien : (a) de 1365 à 1972, (b) de 1973 à 2006.	<b>185</b>
Figure 5.7 : Localisation des phares en Algérie sur la carte sismique, CGS.	<b>185</b>
Figure 5.8 : l'état de conservation du phare de cap Bengut après le séisme de Boumerdès 2003.	<b>186</b>
Figure 5.9 : La carte des vents en Algérie mesurée à 25 mètres d'altitude.	<b>187</b>
Figure 5.10 : L'effondrement soudain de la tour de Saint-Marc le 14 juillet 1902, par Antonio De Paoli.	<b>190</b>
Figure 5.11 : Les classes de vulnérabilité selon l'EMS 98.	<b>192</b>
Figure 5.12 : Les stratégies de modélisation de la maçonnerie (a) échantillon typique de la maçonnerie; (b) modèle continu; (c) modèle discret simplifié; (d) modèle discret détaillé.	<b>198</b>
Figure 5.13 : Identification des éléments déformables et rigides dans un panneau en maçonnerie modélisé par TreMuri.	<b>199</b>
Tableau 5.1. Valeurs moyennes de référence retenues pour les propriétés mécaniques de la maçonnerie (E=module de Young; G = module de cisaillement; W=poids spécifique)	<b>200</b>
Figure 6.1 : Classification des phares typologie « tours » selon la forme et la hauteur.	<b>207</b>
Tableau 6.1 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares tour.	<b>208</b>

- Figure 6.2 : Classification des phares typologie « tour accolée à un bâtiment adjacent » selon la hauteur la forme de la tour. **209**
- Tableau 6.2 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie B1. **210**
- Tableau 6.3 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie B2. **211**
- Figure 6.3 : Classification des phares typologie « tour au centre du bâtiment » selon la forme et l'emplacement de la tour. **212**
- Tableau 6.4 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie C1. **213**
- Tableau 6.5 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie C2. **214**
- Figure 6.4 : classification des phares en Algérie selon la configuration géométrique. **214**
- Figure 6.5 : Illustrations du phare de cap Falcon: vue 3D. **216**
- Figure 6.6 : Illustrations du phare de cap Falcon: vue en plan RDC. **216**
- Figure 6.7 : Illustrations du phare de cap Falcon: (a) façade principale; (b) vue latérale; (c) plan de la tour. **217**
- Tableau 6.6: Les techniques constructives des murs et des planchers. **218**
- Figure 6.8 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003. **220**
- Tableau 6.7: Critères morphologiques de la tour de cap Falcon selon le RPA 2003. **221**
- Figure 6.9 : Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) de la tour de cap Falcon réalisé par TreMuri. **222**
- Tableau 6.8 : Résultats de l'analyse modale pour les 38 modes de vibration. **223**
- Figure 6.10: Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement  $D_u$ . a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens -Y proportionnel aux masses. **225**
- Figure 6.11: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens -Y proportionnel aux masses. **226**
- Figure 6.12: Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime  $D_u$ . a) Pushover dans

- le sens + X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens -Y proportionnel au premier mode. **227**
- Figure 6.13: L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens +X proportionnel au premier mode. b) dans le sens -Y proportionnel au premier mode. **228**
- Figure 6.14 : Illustrations du phare Bengut: vue 3D. **229**
- Figure 6.15 : Illustrations du phare Bengut: vue en plan RDC. **229**
- Figure 6.16 : Illustrations du phare Bengut: (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest. **230**
- Tableau 6.9 : Les techniques constructives des murs et des planchers. **231**
- Figure 6.17 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003. **232**
- Tableau 6.10: Critères morphologiques de la structure du phare Bengut selon le RPA 2003. **233**
- Figure 6.18 : cadre de fissuration: (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest. **235**
- Tableau 6.11: Classification des mécanismes d'effondrement. **236**
- Figure 6.19 : Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) du phare Bengut réalisé par TreMuri. **237**
- Tableau 6.12: Résultats de l'analyse modale pour les 12 modes de vibration. **238**
- Figure 6.20 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement Du. a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens +Y proportionnel aux masses. **240**
- Figure 6.21: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens +Y proportionnel aux masses. **241**
- Figure 6.22 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime Du. a) Pushover dans le sens + X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens -Y proportionnel au premier mode. **243**
- Figure 6.23: L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens +X proportionnel au premier mode. b) dans le sens -Y proportionnel au premier mode. **244**
- Figure 6.24 : Les mécanismes d'effondrement: (a) renversement global de la façade arrière droite, (b) renversement partiel avec axe de rotation diagonal de la façade arrière gauche; et (c) Renversement du sommet de la tour. **246**
- Figure 6.25: Illustrations du phare des îles Habibes: vue 3D. **247**
- Figure 6.26 : Illustrations du phare des îles Habibes: vue en plan RDC. **247**

- Figure 6.27 : Illustrations du phare des îles Habibes: (a) façade principale; (b) vue latérale gauche; (c) façade arrière; (d) vue latérale droite. **248**
- Tableau 6.13 : Les techniques constructives des murs et des planchers. **249**
- Figure 6.28 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003. **250**
- Tableau 6.14: Critères morphologiques de la structure du phare des îles Habibes selon le RPA 2003. **251**
- Figure 6.29. Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) du phare des îles Habibes réalisé par TreMuri. **252**
- Tableau 6.15: Résultats de l'analyse modale pour les 12 modes de vibration. **253**
- Figure 6.30 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement  $D_u$ . a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens -Y proportionnel aux masses. **255**
- Figure 6.31: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens -Y proportionnel aux masses. **256**
- Figure 6.32 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime  $D_u$ . a) Pushover dans le sens -X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens +Y proportionnel au premier mode. **258**
- Figure 6.33 : L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens -X proportionnel au premier mode. b) dans le sens +Y proportionnel au premier mode. **259**

## INTRODUCTION

La terre et la mer racontent des histoires du passé, du présent et avenir car dans ces territoires particuliers est installé le dit phare, une tour édiflée sur une c4te, ou pr4s d'elle sur un 4lot ou une 4le. Le phare r4pond 4 plusieurs crit4res dont le principal est d'assurer la fonction de signaler la c4te le jour et de l'allumer la nuit. En effet il est surmont4 par une source lumineuse. De plus, il peut 4tre habitable, ce qui n4cessite un logement pour les gardiens soit dans la tour elle-m4me ou dans un b4timent 4 part [1][2][3].

Depuis l'Antiquit4 jusqu'4 nos, la navigation en mer est un besoin prioritaire pour l'homme, donc la pratique de signaler la terre pour les marins est une n4cessit4 et non pas un choix. La majorit4 des r4cits historiques rapportent que la premi4re structure qui symbolise un phare est construite 4 Alexandrie en 4gypte sur l'4le de « Pharos » par les Grec [4]. Cette pratique de signalisation par les phares est diffus4e apr4s par les romaines dans la M4diterran4e [5]. Ensuite, la construction des phares s'est multipli4e 4 travers le monde notamment du XIXe si4cle, d'ou un nombre important des phares est construit [4].

Mise 4 part son r4le maritime, de signaler la mer, indiquer aux navires, soit un chemin 4 suivre, soit un port 4 atteindre, soit un danger 4 4viter [6], le phare pr4sente une multifonctionnalit4 4 travers le temps en exploitant son existence dans le domaine militaire, astronomique, et g4od4sique.

Un phare est identifiable, de jour par son architecture, de nuit par le caract4re de son signal lumineux, donc chaque phare doit 4tre unique dans son contexte g4ographique, son style architectural. Cette diversit4 architecturale est fortement influenc4e 4 travers le temps par l'4volution des mat4riaux de construction.

Malgr4 que les phares pr4sentent de v4ritables monuments durables qui marquent le littoral, et d4crivent une tranche de l'histoire, selon la p4riode o4 ils ont 4t4

construits, et les lieux qui les abritent, ils sont perdus au fil du temps leur fonction principale à cause de l'essor technique dans le domaine de la navigation maritime traduit par la navigation électronique (GPS). En effet, une démarche de patrimonialisation et préservation des phares a été adoptée durant les dernières décennies pour but de protéger et d'exploiter ces éléments de grande attractivité touristique.

Comme toutes les nations maritimes à travers le monde, l'Algérie possède aujourd'hui une ceinture lumineuse riche et diversifiée d'un point de vue historique et architectural, elle est composée de 25 phares datant de la période coloniale, construits entre le XIX<sup>ème</sup> et le XX<sup>ème</sup> siècle, et un seul phare hérité du régime ottoman depuis le XVI<sup>ème</sup> siècle, et un autre nouveau phare construit et allumé vers 2010 à Dellys afin de remplacer celui déqualifié suite au séisme de Boumerdès en 2003.

Dans les recherches scientifiques récentes, le thème de la signalisation maritime est richement évoqué dans le contexte européen et méditerranéen, mais timidement abordé dans le contexte algérien. Le nombre des travaux et études qui s'intéressent à l'histoire de la signalisation maritime des côtes algériennes et les structures phares est très limité. On peut citer:

- La thèse de doctorat de ZAEYTYDT en 2005, sur les dispositifs de l'éclairage maritime en France et ses colonies siècle qui traite principalement l'histoire des techniques de signalisation maritime entre le XVII<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècle.
- l'ouvrage de ZEBAR intitulé « Les Phares d'Algérie, Vigies de la côte » publié en 2015, qu'il aborde l'aspect historique d'une manière générale.
- notre article intitulé " la vulnérabilité sismique des phares en maçonnerie, le cas de phare de cap Bengut" publié en 2020.
- l'article de SEBTI intitulé « Historicisation de l'architecture maritime de signalisation de l'Afrique méditerranéenne, cas des phares maritimes d'Algérie » publié en 2022 qui élabore une étude historique et typologiques des phares algériens.

Le territoire entre terre et mer, où sont installés les phares présente une zone fortement exposée aux aléas naturels terrestres : séismes, mouvements des terrains, inondations, et vents, et aussi maritimes : inondations marine, houles, érosions marines et Tsunamis. A travers l'histoire de signalisation maritime, le risque naturel majeur qui affecte les phares dans le monde généralement et en Algérie particulièrement est l'aléa sismique qui a causé de grave problèmes structurels aux bâtiments des phares. La vulnérabilité sismique des phares n'est pas liée seulement à leur zone d'implantation mais aussi à leurs caractéristiques géométriques, et aux matériaux de construction.

A ce propos, plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des hauts bâtiments en maçonnerie ont été développées durant les dernières décennies, et deux approches qualitative et quantitative ont été discutées afin de préciser la méthode adéquate pour le cas des phares en maçonnerie.

Comme tous les bâtiments situés au Nord algérien, les phares présentent une vulnérabilité sismique importante, fortement engendrée par leurs âges qui dépassent parfois un siècle et demi, et aussi les techniques constructives utilisées les matériaux. En effet, l'évaluation de la leur vulnérabilité sismique est une question d'actualité et d'urgence afin de protéger ce patrimoine architectural et paysager indéniable.

Ce travail de recherche est inscrit dans une vision conservatrice du patrimoine face aux risques naturels en particulier les bâtiments des phares qui sont encore debout avec leur valeur architecturale et paysagère, malgré qu'ils ont perdu au fils du temps leur fonction principale. Notre recherche a été motivée donc par le désir de protéger notre patrimoine qui orne la façade maritime algérienne.

Cette recherche permettra également, en faisant connaitre les phares de l'Algérie, leur évolution historique, architecturale et aussi leurs caractéristiques communes avec les phares dans la méditerranée, de produire un support de connaissances qui sera une contribution mise à la disponibilité des différents acteurs de la culture pour la revalorisation de patrimoine architectural des phares de l'Algérie.



La présente thèse, outre sa partie introductive, est structurée en six chapitres, le chapitre 01 présente une recherche sur l'origine de la pratique de signalisation maritime et l'évolution historique des phares dans le monde, du premier bâtiment construit durant l'antiquité, en passant par les phares célèbres du moyen âge, jusqu'à l'apparition du concept de phare moderne standardisé.

Le chapitre 02 traite de la multifonctionnalité des phares comme aide à la navigation maritime, un point de contrôle de la frontière, et aussi comme un élément important dans les opérations astronomiques et cartographiques. En suite, une lecture sur l'évolution technique des moyens de signalisation maritime a été présentée, pour enfin aborder les approches de gestion des phares dans le temps.

Le chapitre 03 étale une analyse architecturale des phares à travers le monde, qui traite dans un premier temps l'intégration des phares dans leur milieu naturel et urbain, l'évolution géométriques des formes dictée par l'évolution des matériaux de construction. Par la suite, une présentation des différentes organisations fonctionnelle adoptées dans la construction des phares, et leur langage esthétique. Cette analyse architecturale est finalisée par la question de conservation des phares comme patrimoine maritime et les interventions possibles sur ces monuments.

Le chapitre 04 présente l'évolution de la signalisation le long des côtes algérienne, depuis l'antiquité jusqu'à aujourd'hui en prenant en considération : la politique maritime, le nombre des phares, l'architecture des phares et leur état actuel de conservation sous un angle patrimonial.

Le chapitre 05 traite le sujet des phares face aux risques naturels, en particulier le tremblement de terre l'un des risques naturels majeur qui touche les phares en Algérie. Après cela, une présentation des critères de la vulnérabilité sismique des tours a été suivie par les différentes méthodes d'évaluation vulnérabilité sismique, pour enfin choisir l'approche à adopter pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des phares en Algérie.

Le chapitre 06 présente en premier, la vulnérabilité sismique des phares en Algérie. Une classification typologique est élaborée. Chaque cas d'étude est décrit, modélisé et analysé par une étude dynamique linéaire (modale) et statique non linéaire (Pushover) pour enfin définir de vulnérabilité de chaque typologie.

La thèse se termine par une conclusion générale, qui fait rappel aux résultats du travail, et suggère les futures perspectives sur le sujet de la vulnérabilité des phares en Algérie, et l'importance de leur conservation comme partie intégrante de notre histoire, notre héritage et de notre patrimoine maritime.

## CHAPITRE I. LE PHARE A TRAVERS L'HISTOIRE

### 1.1. Introduction

Chaque ligne côtière est caractérisée par la présence de nombreux bâtiments et structures construits au cours des siècles avec fonctions de défense, de signalisation maritime et de communication [7]. La fonction de signalisation maritime dans les zones littorales se présente sous une forme particulière d'aménagement à plusieurs échelles: territoriale, urbaine et architecturale [8], leurs dispositifs sont des éléments du paysage maritime qui contribuent au développement de l'identité d'un espace géographique, au delà de l'aide à la navigation. Les bâtiments qui supportent les aides à la navigation maritime à travers le monde peuvent être classés comme suit [9] :

- Phares : des installations de signalisation maritime par signaux lumineux;
- Sémaphores : des bâtiments dédiés à la signalisation maritime généralement par drapeaux et signaux sonores (radiophare);
- structures d'observation pour les batteries militaires.

Les origines de la pratique signalisation maritime et de ces premiers moyens reviennent au 6ème siècle avant J.-C dans les empires Grec ensuite Romain, puis se sont élargis dans toute la Méditerranée durant l'Antiquité [6]. Cela démontre que dans le Bassin Méditerranéen l'homme a construit les premiers feux de signalisation maritimes. Le plus gros volume de ces structures a été construit au cours du XIXème siècle avec l'évolution des techniques de signalisation et l'explosion du commerce maritime. Néanmoins, le commerce maritime n'a pas attendu le XIXème siècle pour se développer et existait déjà depuis de nombreux siècles.

## 1.2. L'histoire des phares

« Pendant longtemps, les phares ont signalé la terre aux marins, désormais ils signalent aussi la mer aux terriens » [11] VINCENT GUIGUENO<sup>1</sup>. En effet, le phare représente la limite du territoire terrestre et maritime. Sous cette dernière définition, la signalisation maritime est considérée comme un élément majeur et indissociable de la sécurité maritime contre les dangers de la mer. Le développement des constructions destinées à la signalisation maritime correspond à une pratique attestée depuis le 6<sup>ème</sup> siècle avant J.-C. dans la Méditerranée durant l'Antiquité [8]. Ensuite, l'aménagement de la signalisation maritime mondiale a été réalisé au cours des siècle par plusieurs acteurs politiques, économiques, administratifs et privés qui ont, chacun à leur niveau, participé à l'adoption de règlements, de moyens techniques ou humains pour améliorer la sécurité des gens de mer.

Dans le Bassin Méditerranéen, l'homme a construit les premiers feux de signalisation maritimes. D'ailleurs l'étymologie du mot Phare dérive du Grec *Pharos* qui indique le nom de l'île où se trouvait le phare d'Alexandrie [2], tenu pour le premier édifice du genre. Grâce à ces feux visibles de loin, les phares qui jalonnent la mer Méditerranée indiquent aux marins leur position lorsqu'ils naviguent près des côtes Sud de l'Europe, Nord de l'Afrique et Ouest du Moyen-Orient.

À travers le temps, les Grecs avaient besoin de la mer pour s'étendre et découvrir les limites du monde alors que les Romains l'utilisaient pour confronter l'Europe. Le peuple Méditerranéen a considéré depuis toujours la mer comme un danger et la voit comme une faible frontière à cause de la menace des incursions. Cela confirme la nécessité d'éclairer la ligne côtière et de la surveiller. Ainsi les commerçants ont pu à travers le temps aisément repérer les zones dangereuses et naviguer vers les ports grâce à ces structures maritimes [11]. C'est ce qui explique la place élevée qu'occupent les phares dans les travaux publics de toutes

---

<sup>1</sup> VINCENT GUIGUENO : est un ingénieur civil et un historien français. Spécialiste de l'histoire maritime et notamment des phares, il est connu par la publication d'ouvrages grand public sur l'histoire des phares français.

les civilisations: ils donnent, jusqu'à un certain point, la mesure de leur activité militaire, commerciale et maritime.

### 1.2.1. L'Antiquité

L'histoire de la signalisation maritime et les aides à la navigation à travers le monde comme pratique revient au 6ème siècle avant J.C dans le monde Grec après dans toute la Méditerranée durant l'Antiquité [8]. Alors que les plus anciennes tours à signes lumineux étaient attribuées par les Libyens et les Cuthites dans la Basse-Égypte.

Les premières structures de signalisation maritime n'avaient rien à voir avec les phares de nos jours dont l'éclairage était naturel, le feu était allumé dans des corbeilles en fer ou bronze aux sommets des tours de guet et des sanctuaires. Ces feux ont été particulièrement utiles pour fournir un guide dans les ports [12]. Ce sont les prêtres de ces temples qui agissaient comme les premiers gardiens de phare, ils enseignaient le pilotage, l'hydrographie et l'art de diriger la marche d'un navire [13].

Aucune des tours à feu de l'antiquité n'est venue jusqu'à nos jours, mais des médailles et quelques passages d'historiens et des géographes permettent d'avoir une idée sur ces édifices. Les recherches de BERNARD DE MONTFAUCON (1729) dans sa dissertation sur les phares antiques démontré que les structures de navigation maritime construites durant l'Antiquité étaient nombreuses, situées principalement autour de la Méditerranée (on compte vingt-sept phares antiques selon ALLARD). Durant l'empire Grec, deux phares avaient été édifiés à Ravenne et Pozzuoli selon PLINE, THUCYDIDE parlait d'une structure lumineuse au port du Pirée dans sa description du port, tandis que le géographe DENIS DE BYZANCE parlait d'un autre phare situé sur le Bosphore sur le côté de Thrace. SUETONE parlait, quant à lui, de deux phares, l'un sur l'île de Capri, l'autre bâti sous l'empereur Claude dans le port d'Ostie [14]. Selon RENARD « Le premier phare fonctionnant d'une façon régulière paraît être celui que Leschès, auteur de la Petite Iliade, qui vivait dans la neuvième olympiade, placé au promontoire de

Sygée, près duquel il y avait une rade. La Table Iliaque représente cette tour » [13].

Après cette liste des phares Grecs cités par plusieurs auteurs et géographes dans leurs travaux historiques sur les phares antiques, on ne peut pas passer sans citer le fameux phare construit au III<sup>e</sup> siècle avant J.-C. sur l'île de Pharos dans le port d'Alexandrie par l'architecte Sostrate de Cnide sous le pharaon Ptolémée II Philadelphe. Le phare d'Alexandrie est considéré comme le plus ancien phare dont on peut attester l'existence. Une série de tremblements de terre a eu raison de l'édifice qui fut entièrement détruit au XIV<sup>e</sup> siècle. Ce phare antique de stature exceptionnelle était considéré comme la septième merveille du monde [2]. Une description plus détaillée sur le phare d'Alexandrie sera développée dans la section suivante des phares célèbres.

Les phares romains avaient l'aspect militaire de surveillance et la protection des côtes et la sécurisation des échanges maritimes, une préoccupation que n'avaient pas les Grecs par rapport aux Romains. Ce qui différencie ainsi les phares des deux civilisations. Les romains ont construit de nombreuses tours à feu et structures lumineuses, la construction des phares atteint son sommet au cours du deuxième siècle de notre ère et couvert toute l'étendue de l'Empire. Malheureusement, un nombre restreint de ces phares ont pu garder leurs traces, ils s'écroulèrent du même coup que l'empire Romain et on peut les trouver seulement sur des pièces de monnaie, des mosaïques ainsi que dans les autres formes d'art peint et décoration [15].

Autour de la Méditerranée on peut citer: un phare sur l'îlot de Joinville au port de Césarée de Maurétanie en Algérie selon LASSUS 1959 [16] et TRETHERWEY 2018 [5]. Les tours de Sestos et Abydos en Turquie [8], le phare de cap Peloro [17] et les tours construites à Giannutri et à Giglio en Italie [18].

Certaines tours se trouvaient aussi le long des côtes de l'Atlantique, de la Manche ou de la Mer du Nord à l'exemple de la tour d'Hercule dans l'océan Atlantique à la Corogne en Espagne, elle est le seul phare antique encore debout aujourd'hui

[19], et la tour d'Ordre de Boulogne qui a été construite sur la Manche par l'empereur Caligula en l'an 39 après J.C. Ce phare est le plus ancien qui fut bâti sur le littoral français [14]. Ces exemples seront décrits dans la section suivante avec plus de détails.

### 1.2.2. Les phares antiques célèbres

D'après JONATAN, l'étude des sources littéraires et les vestiges archéologiques des tours démontrent que la signalisation maritime antique n'était pas une pratique qui dépend d'elle-même, elle était toujours associée à d'autres activités de surveillance militaire, d'observation et de contrôle des espaces en mer. Les tours côtières sur lesquelles s'appuie la signalisation maritime antique étaient implantées d'une manière isolée l'un par rapport à l'autre et ne composent pas une ceinture lumineuse ou une série des phares qui peuvent éclairer toute la ligne côtière de l'empire durant l'antiquité.

#### 1.2.2.1. Phare d'Alexandrie

Le phare d'Alexandrie représente le modèle le plus célèbre des tours à feu élevées dans le monde, l'une des sept merveilles du monde antique. Son nom « **Pharos** en grec » vient de l'îlot sur lequel il s'élevait puis il le transmet à toutes les structures maritimes de même fonction [20]. Le lien entre ce nom grec et la fonction est devenu si fort que le mot « **Pharos** » est devenu la racine du mot « **phare** » en langue française, italienne, espagnole et roumaine [21].

Sur l'îlot de Pharos, dans le Delta du Nil, au II<sup>e</sup> siècle avant J.-C, le phare d'Alexandrie a été bâti, l'honneur de la construction de cette tour a connu une polémique entre le pharaon Ptolémée II Philadelphe (selon: STRABON, PLINE, LUCIEN, EUSEBE, SUIDAS, JULES CESAR) et l'architecte Sostrate de Cnide (selon MONTFAUCON) [13]. La position stratégique de la tour lui donne un double rôle maritime de signalisation et militaire de surveillance dans l'absence des édifices en hauteurs sur la côte égyptienne et en particulier dans le Delta [8].

Au 10<sup>ème</sup> siècle après JC, les deux voyageurs maures EI IDRISSEI et YUSUF IBN AL-SHAIKH ont établi des descriptions détaillées sur le phare et son environnement immédiat [21]. EI IDRISSEI dit que cette tour est singulièrement remarquable grâce à sa hauteur et sa solidité, ils la connaissent à travers son feu comme une étoile la nuit, elle est aussi visible le jour d'une journée maritime (depuis 100 milles) de distance qu'on distingue sa fumée [13].

Avec des dimensions gigantesques, la tour d'Alexandrie représente le symbole du pouvoir et le témoignage de la grandeur du roi Hellénistique selon MONTFAUCON [14]. De nombreuses hypothèses sur l'aspect géométrique de l'édifice ont été faites, notamment par : EI IDRISSEI qui dit que la construction était exécutée avec d'excellentes pierres, il avait 100 brasses de hauteur et s'élevait avec retraites successives. LEONCE REYNAUD affirme dans son Traité d'architecture que le phare avait une hauteur de 150 mètres et opte pour une tour carrée à plusieurs retraits. RENARD LEON dit que la tour était construite de huit étages voûtés, elle ressemble à la tour de Babylone. Plus récemment, ROBERT BEDON s'est aussi penché sur ladite forme du phare dont les parties variaient : carrée, octogonale puis cylindrique au sommet. Cependant, jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle, les représentations du phare d'Alexandrie ont été très diverses car les documents existants étaient aussi nombreux que contradictoires. Jusque là, il était représenté dans le dictionnaire géographique selon des dessins imaginaires montrant un bâtiment entouré d'un mur d'enceinte circulaire et constitué de multiples parties en retrait, dont les formes variaient d'un étage à l'autre.



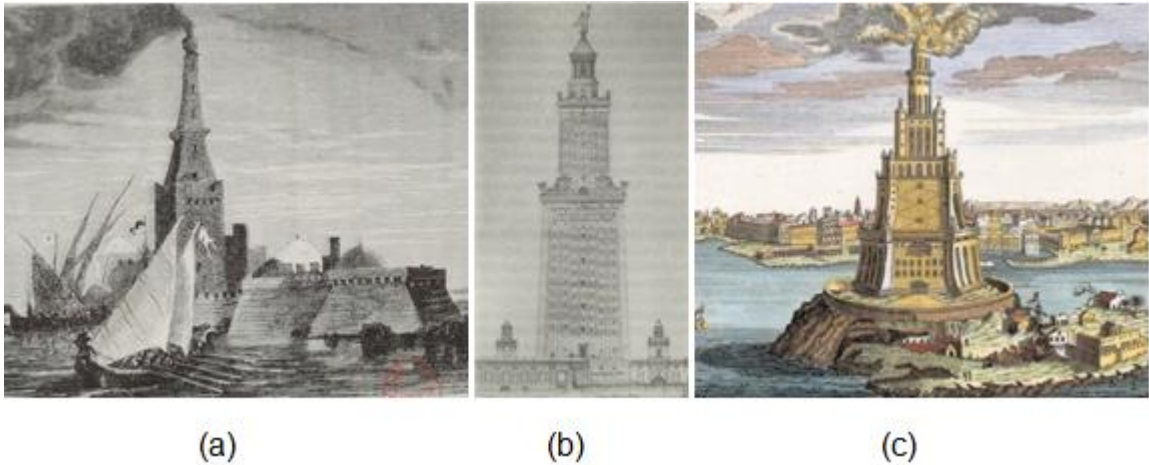


Figure 1.1 : Phare d’Alexandrie (a) selon Renard Léon, (b) selon Robert Bedon, (c) selon le Geographical Dictionary.

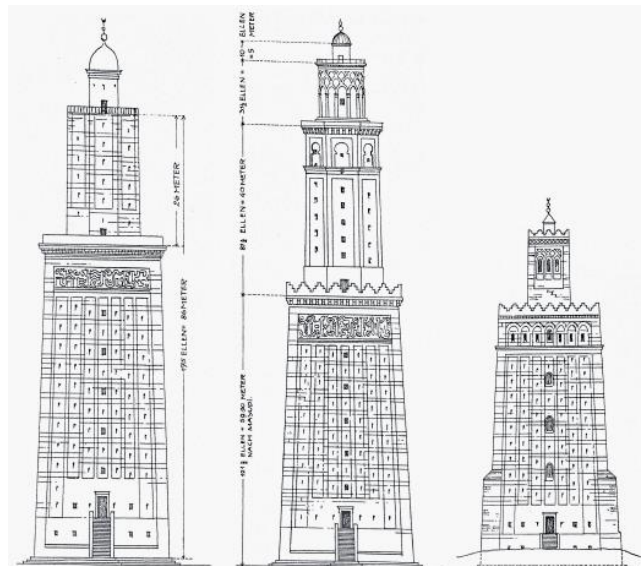


Figure 1.2 : Phare d’Alexandrie à travers le temps selon les auteurs arabes [22].

Le feu de bois allumé au sommet du phare d’Alexandrie guide les navires pendant quinze siècles, jusqu’à ce qu’un tremblement de terre le détruit en 1302 et n’en restent que d’insignifiants vestiges [19].

#### 1.2.2.2. La tour d’Hercule

La tour d’Hercule en Espagne est le plus ancien phare romain en activité jusqu’à aujourd’hui dans le monde [15]. Le phare se trouve sur un promontoire près du centre ville de La Corogne, Il est fort probable que la tour d’origine a existé à partir du IIe siècle. Cependant, sous le règne du roi Carlos IV et suivant les instructions

de l'architecte Eustaquio Giannini, une restauration majeure de la tour a été achevée en 1791, dont une enveloppe extérieure a été construite autour de l'ancienne structure, une base quadrangulaire d'environ 32 m de large sur 14 m de hauteur et de 34 m en hauteur, sur laquelle repose une deuxième tour octogonale avec renforts triangulaire aux angles et enfin, une troisième petite tour sert à supporter la lanterne [15].

Cette tour massive et impressionnante fait face à l'océan Atlantique avec une hauteur de cinquante-sept mètres. Il avait le rôle d'assurer la sécurité des voies commerciales et permettait de comprendre les routes maritimes de l'Atlantique en Europe occidentale [21].

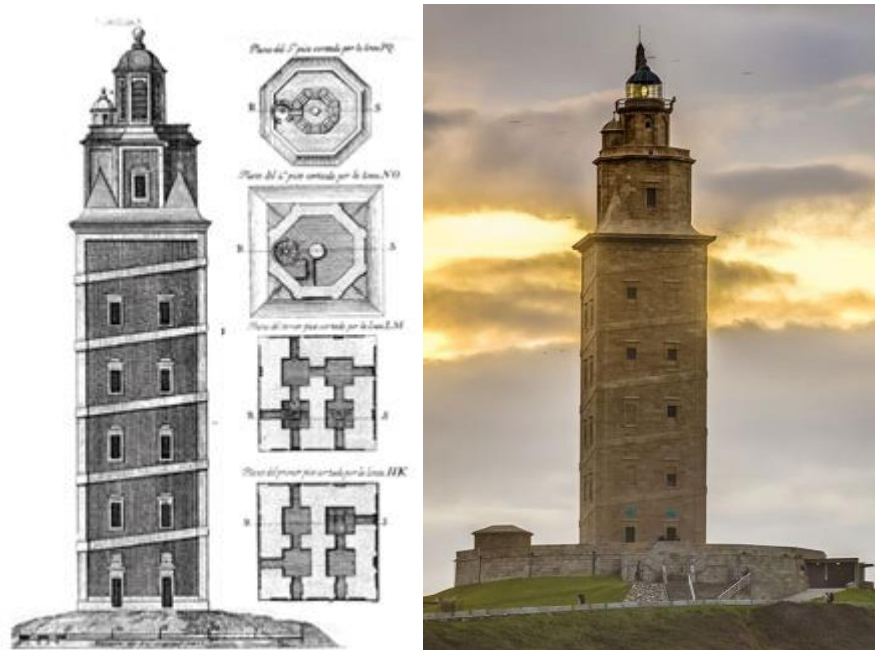


Figure 1.3 : La tour d'Hercule: (a) dessin de la tour [15], (b) photo actuel de la tour [21].

### 1.2.2.3. La tour d'Ordre de Boulogne

La Tour d'Ordre de Boulogne fût construite en l'an 191 de notre ère sur la Manche au Nord de la France par l'empereur Caligula sous l'empire romain. La lumière sur son sommet est démontrée par un médaillon en bronze [14]. LEONCE REYNAUD dit dans son mémoire que « On voyait encore, dans le XVIIIème siècle, sur les côtes de France, près de Boulogne, un phare de construction romaine ».

MONTFAUCON dit que la tour s'écroula en juillet 1644 à cause de l'éboulement de la falaise sur laquelle elle se trouve. Ce phare est le plus ancien feu construit sur le littoral français. Il se partage pendant si longtemps avec la tour de Douvres l'éclairage de la Manche en France [14]. Après son éboulement, la tour romaine a été remplacée par un autre feu selon le programme de la commission des phares en 1835 [13].

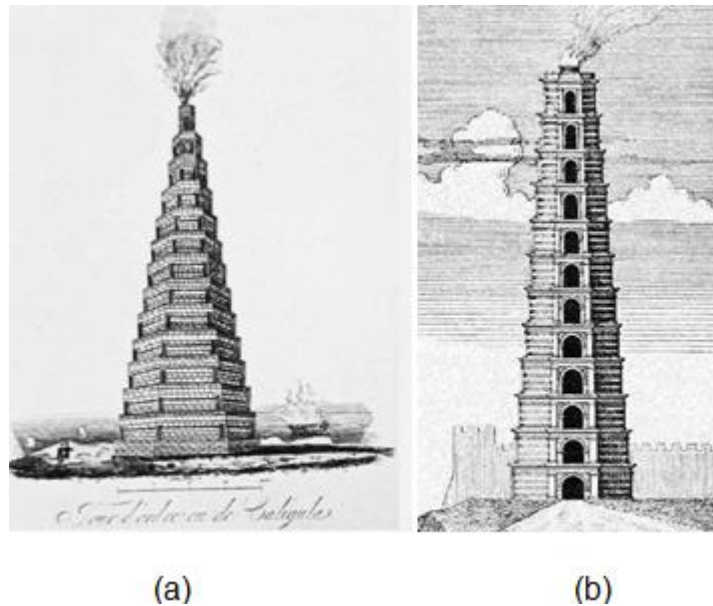


Figure 1.4 : La tour d'Ordre de Boulogne, (a) Restitution de H. Delin - 1828/1829, (b) Restitution de M. Buchwald - 1905 [23].

Afin d'être suffisamment solide, la tour avait une forme octogonale développée sur douze étages élevés en retraite successives de chaque niveau par rapport à celui du dessous, ce qui lui permet d'atteindre une hauteur de 60 mètres et d'avoir la forme d'une pyramide. Ce plan était établi par MONTFAUCON [24] qui a dit que la tour est construite en analogie à celle d'Alexandrie et les cotés de l'octogone dans sa base avaient environ 8 mètres de longueur. Selon LEONCE REYNAUD dans son mémoire l'édifice était construit en assises variées (trois rangs de pierre grise, deux rangs de pierre jaune puis deux lits de grandes briques d'un rouge foncé) [13].

#### 1.2.2.4. La tour de Douvres

C'est la tour jumelle du celle d'ordre de Boulogne, construite aussi sur la Manche par les romains. Ce feu servait à guider les navigateurs au Gaules dans la Grande-Bretagne. D'après MONTFAUCON et LEONCE REYNAUD, le phare était octogonal et semblable à celui de Boulogne dans sa forme pyramidale [13]. WHEELER pense que le phare avait huit étages construits en brique, chaque étage était percé par quatre fenêtres. L'octogone de base avait 4.6 m de cote et les murs mesurent près de 3,65 m [15].

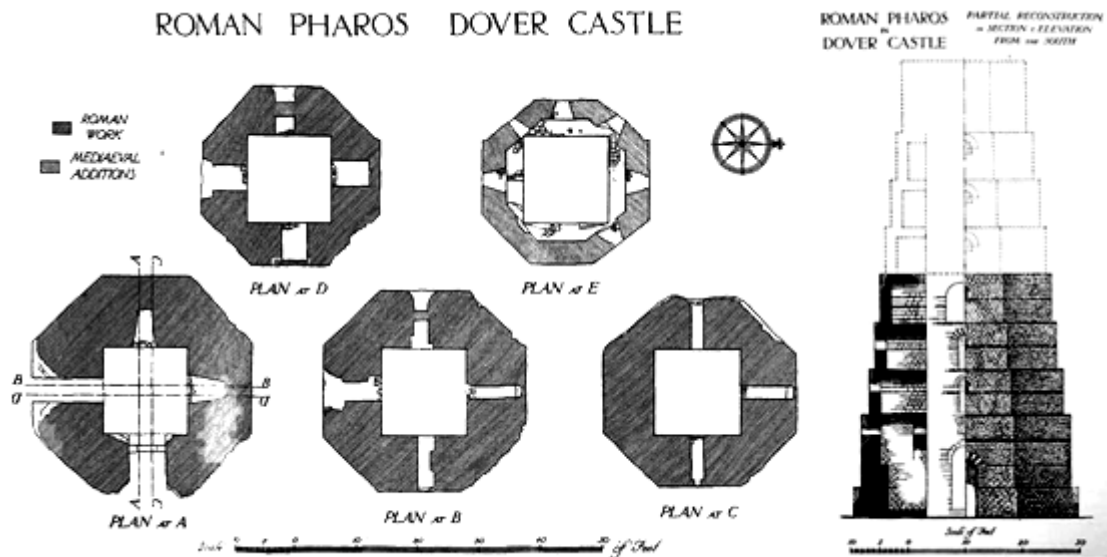


Figure 1.5 : La tour de Douvres, d'après Wheeler 1929 [23].

#### 1.2.3. Le Moyen-âge

Au moyen âge, la signalisation maritime comme tous les autres domaines dans le monde occidentale a connu une période de déclin dans son histoire, ceci est dû à la chute de l'empire romain en 476 qui a engendré un recul notable du trafic maritime. Ce recul de la navigation explique le fait que les feux de signalisation étaient généralement aménagés aux sommets des bâtiments existants et utilisés à d'autres fins que purement maritimes (militaires ou religieux). De fait, les feux durant cette époque agissaient comme une sorte de parasite et développaient un type de bâtiments hybrides [25].

Selon LEONCE REYNAUD « le moyen âge donnait le nom de phares à de petites tourelles qu'il élevait dans ses cimetières, et dont quelques-unes subsistent encore ». Cependant, Il devait sûrement y avoir tout de même quelques tours à feu sur les rivages, de taille et d'intensité modeste, et pour un usage plus local, pour les pêcheurs des alentours. Mais celles-ci ne furent jamais nombreuses. Les peuples du moyen âge n'avaient pas pris souci de l'éclairage maritime car ils naviguent surtout de jour en se repérant grâce aux amers (éléments du paysage : montagne, cloche) [20].

En ce qui concerne le monde oriental, on note une insuffisance dans la littérature spécifique aux phares durant cette époque. Selon SEBTI, la signalisation maritime dans la civilisation musulmane n'était pas assuré par des édifices propres et distincts mais ils faisaient partie des fortifications maritimes comme les Ribats et ils étaient nommés « *Manàr* » ou « *Nadùr* » [26].

Vers la fin du moyen âge après le XIIIème siècle, l'émergence de quelques cités portuaires puissantes accompagne la création de nouvelles tours à feu. Les plus remarquables tours de signalisation maritime étaient celle de la Lanterne à Gênes construite en 1128 et le phare de Livourne construit entre 1303 et 1305 tous deux en Italie [27].

#### 1.2.4. Les phares célèbres du Moyen âge

##### 1.2.4.1. Le phare de Livourne

Ce phare fut bâti par Giovanni de Nicola Pisano entre 1303 et 1305 sous la République de Pise près du petit village médiéval de Livourne en Italie. Cette tour a continué d'aider les marins jusqu'au 19 juillet 1944 où les Allemands ont détruits avec une charge de dynamite ses fondations. En 1954, et après dix ans, le phare a été reconstruit à l'ancienne en utilisant les matériaux d'origine et les pierres manquantes ont été extraites de la grotte d'origine. La structure ancienne a été construite sur une base polygonale avec 13 côtés. Le phare actuel de Livourne est implanté sur une base circulaire, il est composé d'une tour cylindrique surmontée par une autre un peu plus petite. Chaque tour se termine par une terrasse fortifiée, puis on trouve la lanterne donnant au phare la hauteur totale de 52 mètres [28].

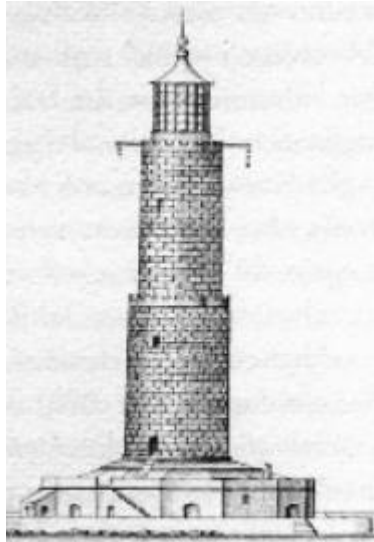


Figure 1.6 : Le phare de Livourne en 1841[28].

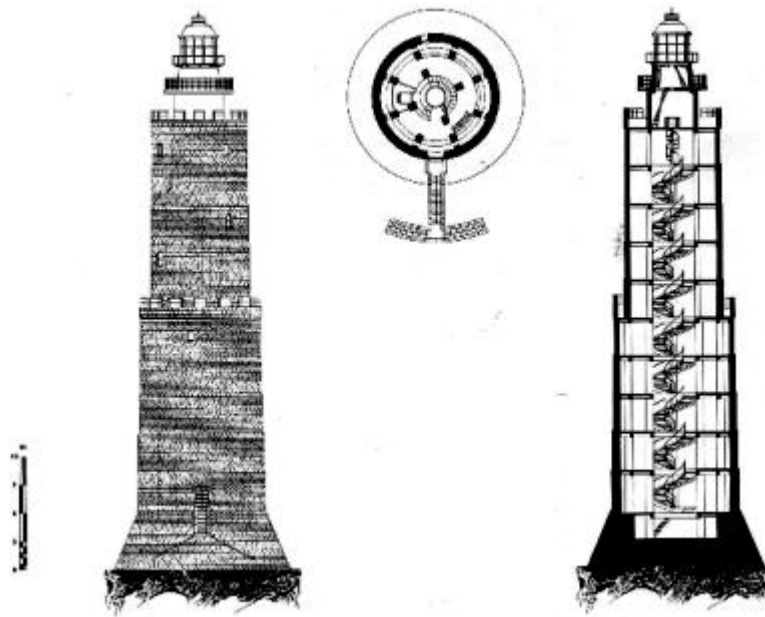


Figure 1.7 : Le phare de Livourne aujourd'hui [28].

#### 1.2.4.2. La tour de la Lanterne

La tour ancienne de la Lanterne a été détruite par les citoyens lors de la libération en 1514 [29] et le phare actuel s'est construit au court du XVIème siècle en 1534 par la république de Gènes en Italie. Cette structure est composée de deux tours carrées superposées avec un retrait de deux mètre dont le carré de base est de

neuf mètres, la tour atteint une hauteur de 63 mètres environ [20]. Le phare est toujours fonctionnel et il représente le symbole de la ville de Gênes.



Figure 1.8 : Dessin de phare de Gênes datant de 1371 [30], la tour actuelle de la Lanterne <sup>(2)</sup>.

#### 1.2.5. Les phares modernes (à partir du XVIIème siècle à nos jours)

Durant l'antiquité et au moyen âge, le phare servait plus de marqueur d'entrée aux ports que de signal d'avertissement pour les récifs, contrairement aux phares moderne du XVIIème, XVIIIème, XIXème et XXème siècles [21]. Les structures de navigation maritime durant les deux derniers siècles ont apporté un développement notable en termes de nombre, de genre et de moyens d'éclairage [20]. L'évolution de service de signalisation maritime dans le monde entier a été influencée directement par :

- La découverte de l'Amérique en 1492 qui a crée des nouvelles voies maritimes,
- Le mouvement technologique de la Renaissance lié aux matériaux de construction et aux moyens d'éclairage (sources lumineuses et d'énergie),
- Le mouvement de colonisation européen en Afrique et en Amérique,

---

<sup>2</sup>© freepik

- Le développement du commerce maritime et le transport des marchandises par voie maritime.

Ces raisons ont participé à augmenter le nombre d'aides à la navigation maritime mondiale afin de faciliter la reconnaissance des territoires et diminuer les dangers auxquels les hommes et les marchandises sont exposés le long des côtes et en mer.

Au cours du XVIIIème siècle et avant même l'apparition des nations actuelles en Europe, en Afrique et en Amérique, les phares étaient construits d'une manière indépendante l'un par rapport à l'autre et sans logique globale d'implantation. Cependant, le XIXème et le XXème siècles ont connu la mise en place de véritables programmes des phares au monde (siècle d'or des phares), à l'image du programme de la ceinture lumineuse française établi en 1825, où le phare va donc rapidement passer d'un stade d'objet rare à un objet standardisé et confié aux ingénieurs [2].

#### 1.2.5.1. Les phares anglais

Durant cette époque de l'histoire des phares, le modèle des phares anglais était le premier en Europe. La construction des premiers phares selon la formule moderne<sup>3</sup> vers le XVIIème siècle était soutenue principalement par l'essor de l'industrie charbonnière et le développement de son commerce surtout sur la cote Est, et elle a été en plein développement vers le XVIIIème siècle alors que l'activité maritime était la plus importante [31].

Selon LEONCE REYNAUD, au XVIIème siècle a été construit le premier feu qui fonctionne d'une façon régulière en 1609 à Lowestoft [32], après viennent ceux de Hurstbarton Point en 1665, le feu des îles Scilly en 1680, Les phares de Dungeness et d'Orfordness et enfin, le premier phare d'Eddystone en 1696 qui est

---

<sup>3</sup> Cette formule est développée par Henri VIII dont il avait provoqué la fin des lumières ecclésiastiques et créé le processus de construction des phares modernes ou les phares de l'âge industriel.



le plus célèbre phare anglais [20]. Ils représentent les premières structures maritimes de ce que l'on pourrait appeler l'ère industrielle britannique [31].

La construction et la gestion des phares anglais était toujours destinée à la même organisation depuis sa création au XIII<sup>ème</sup> siècle jusqu'à nos jours. Cette institution indépendante du pouvoir royal est appelée «Trinity House », elle est établis par l'évêque de Canterbury sous le règne d'Elizabeth I [19]. Vers le XVIII<sup>ème</sup> siècle, le modèle de gestion des phares anglais a consisté à exploiter leurs lumières comme une entreprise à travers les taxes sur le commerce maritime [31] plutôt qu'un simple acte de bienfaisance accompli par des membres de l'Église.

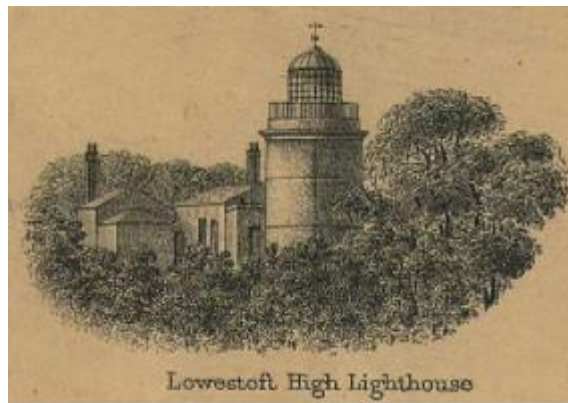


Figure 1.9 : La tour de Lowestoft en 1797 <sup>(4)</sup>.

#### 1.2.5.2. Les phares français

L'histoire moderne des phares en France remonte à la construction de la tour célèbre de Cordouan en 1611 [2]. Avant la révolution française en 1789, l'ancien régime veut approuver son pouvoir en termes de contrôle du territoire maritime dont les premières tours à feu ont été installées proches des grands ports militaires (Brest et Rochefort). Cette logique était renforcée encore par Jean-Baptiste Colbert qui cherche à développer le commerce maritime à partir des ports de Nantes et de Marseille. Les anciennes structures de signalisation maritime d'importance stratégique étaient rénovées à l'image du Cordouan, et d'autres

---

<sup>4</sup> © stringfixer

nouvelles étaient bâties (le phare de Stiff à Ouessant 1685, le phare des Baleines sur l'île de Ré 1682, le phare de Chassions sur l'île d'Oléron 1685) [19].

La France compte 24 phares et feux en 1800 [19]. Cependant, le début du XIX<sup>ème</sup> siècle a connu un événement marquant dans l'histoire de signalisation maritime française, dont une commission des phares a été créée en 1811, composée de marins, savants, militaires, scientifiques et cartographes. Cette institution publique avait proposé en 1825 un plan national d'équipement des côtes [2]. Ce programme est pratiquement achevé en 1860 avec un nombre des phares et feux atteignant 275 en 1864, et 690 en 1895 où les besoins des marins ont été multipliés pour des raisons militaires et économiques [19].

Grace à la réalisation de ce plan de sécurisation et d'éclairage des côtes, la France a pris le rôle du leader de la signalisation maritime au XIX<sup>ème</sup> siècle, et transmis ses matériels et savoir-faire non seulement partout en Europe et dans ses colonies (l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, la Nouvelle Calédonie, le Canada et d'autres pays) mais aussi aux Etats-Unis et dans l'empire Ottoman où le service des phares était géré par un Français [33].

On note aussi que les phares détruits pendant la deuxième guerre mondiale ont été reconstruits durant la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle par des architectes et non pas par des ingénieurs comme au siècle passé, avec des techniques et des matériaux les plus récents [1], dont le dernier phare français date de 1978 [2].



Figure 1.10 : Le phare de Saint Gervais, dernier phare construit en France <sup>(5)</sup>.

### 1.2.5.3. Les phares aux Etas Unis

Depuis sa création, les phares font partie de la nation américaine. En 1789, l'état a compté 12 phares coloniaux, ces phares étaient généralement en bois ou en pierre. On peut citer : le célèbre phare de Boston Harbor construit en 1716 et reconstruit en 1783 puis en 1784, le phare de Sandy Hook qui fût bâti dans le New Jersey en 1764. Le trafic maritime était le sang de la nation américaine durant le XVIIIème siècle, il était directement rattaché au besoin du commerce maritime<sup>6</sup> et aussi au désir de rivaliser avec l'autre monde. Cette volonté était confirmée durant le Premier congrès des États-Unis en 1789 par la création d'une institution des phares appelé « the Lighthouse Establishment ». Elle avait pour rôle : la supervision de construction des nouveaux phares et leur prise en charge, l'exploitation et la gestion des 12 phares existants [34].

Entre 1789 et 1820 environ 40 phares ont été construits par « the Lighthouse Establishment » et le premier phare était celui du cap Henry, éclairé en 1792. Ils étaient généralement en brique ou en pierre taillée tels que le phare de Portland

---

<sup>5</sup> © phares et balises.

<sup>6</sup> Le commerce maritime avait le rôle de relier les villes côtières isolés aux les ports lointains du monde.

Head construit en 1790 et le phare de cap Virginie, construit en 1792 au cours des XIXème et XXème siècles. Le nombre des phares est multiplié et les techniques de construction ont avancé à l'image des tours squelette en fer et en béton armé. À la fin de la seconde guerre mondiale, la garde côtière américaine est dotée de 468 phares en 1992 et 611 en 1994 [34].

Aujourd'hui, les États-Unis ont le plus grand nombre de phares ainsi que les plus diversifiés phares sur le plan architectural et des matériaux dans le monde [35]. Le célèbre phare des Minots Ledge représente la version américaine du phare anglais d'Eddystone et la première tour en pierre construite en mer aux États-Unis [34].

#### 1.2.6. Les phares célèbres de l'époque moderne

##### 1.2.6.1. Phare de Cordouan

Le phare actuel de Cordouan est l'un des plus vieux phares en activité au monde, le premier en France à avoir été classé au titre des monuments historiques, le seul phare en mer ouvert à la visite [2], et le premier phare de la période moderne qui mérite l'attention. Il a donné un spécimen de l'architecture des tours exposée à la mer [36]. Cette œuvre de la Renaissance s'élève à l'embouchure de la Gironde, sur un rocher de trois mètres au dessus de la mer, il a été mis en service en 1611 après 27 ans de travaux [20].

D'après RENARD LEON, le phare de Cordouan qui signale depuis plus de 400 ans l'entrée de l'estuaire de la Gironde, était certainement précédé par deux phares, le premier phare aurait été construit au VIIIème siècle par Louis le Débonnaire<sup>7</sup>. Entre 1362 et 1370, sous les ordres du prince Noir, le second est une tour bâtie avec une hauteur de 15 mètres. Selon une gravure ancienne, elle avait une forme octogonale à plusieurs retraits<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Il y a aucun document qui confirme cette hypothèse. Cependant, selon RENARD LEON dans son ouvrage « le phare » la tour était bâtie sur la demande des marchands étrangers qui venaient à Bordeaux charger des vins et porter des peaux et des cuirs.



Figure 1.11 : L'ancien phare de Cordouan [13].

Le phare que l'on admire aujourd'hui dans l'estuaire de la Gironde fût construit entre 1584 et 1611 par Louis de Foix et son fils sous Henri IV [37]. Une tour de forme circulaire à sa base, a environ 22 mètres en hauteur, elle est composée de quatre étages originaux et une lanterne en pierre de taille couverte par une coupole à cheminée. Le rez-de-chaussée est réservé aux logements des gardiens et de magasins. Au premier étage on trouve une salle richement décorée qui mène vers une première galerie extérieure. Une chapelle de forme circulaire ornée de pilastres corinthiens et d'élégantes sculptures occupant le second étage qui est couvert par une voûte sphérique [13].

La tour originel de 1611 a été plusieurs fois rénovée puis rehaussée (1645, 1719, 1789) [19] : le dôme de la chapelle a été transformé et modifié pour former le second rang des fenêtres, et surmonté d'une salle circulaire voûtée et décorée. Sous Louis XV en 1727, la lanterne de pierre est remplacée par une autre en fer de même hauteur (37 mètres). Cette tour était rehaussée de 20 mètres en 1789

---

<sup>8</sup> Le phare n'était pas seul sur l'île, il y avait une chapelle et plusieurs maisons, construites certainement au même temps, formant l'habitat de l'ermite, ses aides, et probablement des pêcheurs.

par Teulère et rehaussée encore une autre fois à 63 mètres au dessus du sol. Cependant, les parties modernes ajoutées n'avaient pas la même richesse architecturale que l'œuvre originale de la Renaissance [20]. Enfin, le phare a été restauré à plusieurs reprises car il a subi des conditions climatiques extrêmes dont la première au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Une restauration complète du phare (remplacement des pierres détruites, la restauration des sculptures dégradées et la reconstruction des logements) [13], s'est faite en 2013 (l'étanchéité de la couronne, la restauration des lambris de la chambre Napoléon III, de la lanterne et de l'escalier). Ces travaux de conservation se poursuivront au cours des prochaines années [2].



Figure 1.12 : La coupe de la tour actuel de Cordouan [13][38], le phare actuel de Cordouan <sup>(9)</sup>.

#### 1.2.6.2. Phare d'Eddystone

L'honneur de construire le premier phare sur le roc d'Eddystone revient à Henri Wistanley en 1696<sup>10</sup>, ce rocher isolé au large de Plymouth est un endroit dangereux, la hauteur des grandes tempêtes atteint plus de trente mètres d'où vient son nom en français « la pierre du tourbillon ». Les travaux sur ce rocher durèrent quatre années pour construire une tour polygonale en pierre, avec des galeries extérieures découvertes et des ornements en saillie qui permet à l'eau et aux

<sup>9</sup> © wikipedia

<sup>10</sup> La construction de ce feu à Eddystone était la volonté des marins, mais, il fallut attendre les dernières années du siècle XVII<sup>ème</sup> avant que Wistanley acceptât ce défi en pleine mer.

vents de pénétrer et passer librement [39]. Cependant, le phare a été détruit par une violente tempête en 1703. En 1706, John Rudyard fit construire la seconde tour d'Eddystone, ce phare était totalement différent du premier, une tour de forme conique en pierre et bois solidement attaché au rocher. Cette conception de tour lui donne une fin moins tragique que celle de Wistanley dont le feu a totalement prit le phare au bout de ses quarante six ans [13].

La haute tour rayée de larges zones rouges et blanches du XIXème siècle était construite par le plus habile ingénieur du temps John Smeaton recommandé par la Royal Society sous la pression des marins pour remplacer rapidement le phare de Rudyard<sup>11</sup>. La construction de la tour était réalisée entre 1757 et 1759, le phare avait une forme d'un chêne anglais bâti en pierre de granit local assemblé d'une manière ingénieuse et cohérente en utilisant des joints en queue d'aronde, cela lui donne la forme d'une seule pierre très solide [13]. Cette tour a marqué une étape majeure dans la conception des phares dont elle est devenue la conception standard des phares à partir de ce moment [40]. Vers les années 1870, le rocher sur lequel était implantée la tour a eu des fissures apparentes. En effet, la tour est abandonnée et les pierres de sa partie supérieure ont été utilisées dans un monument de Smeaton à Plymouth Hoe, alors que le soubassement se trouve toujours dans sa place <sup>(12)</sup>.

---

<sup>11</sup> Trinity House a mit un bateau phare près du rocher jusqu'à ce qu'un la tour puisse être construit.

<sup>12</sup> © trinityhouse

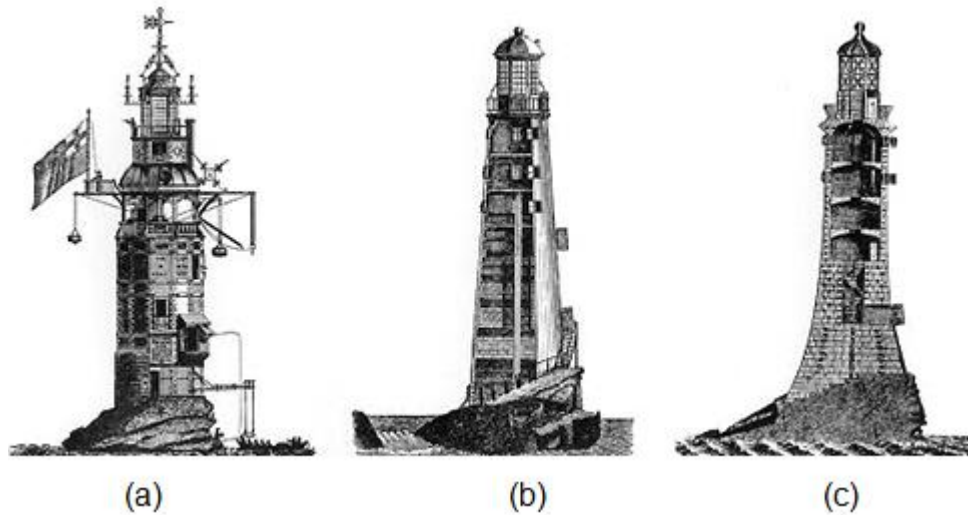


Figure 1.13 : les trois premiers phares d'Eddystone : (a) Wistanley 1696, (b) Rudyard 1706, (c) Smeaton 1759 [41].

Le quatrième phare d'Eddystone toujours debout a été conçu par l'ingénieur James Douglass en 1877 dans un emplacement voisin du phare précédent. Cette nouvelle tour de 49 mètres en hauteur était construite en pierre de grande taille en queue d'aronde dans ses parties supérieures et inférieures [42]. Le phare est mis en fonction depuis 1882 jusqu'à son automatisation en 1982 avec une hélisurface au dessus de la lanterne ajoutée pour permettre l'accès aux équipes d'entretien (13).



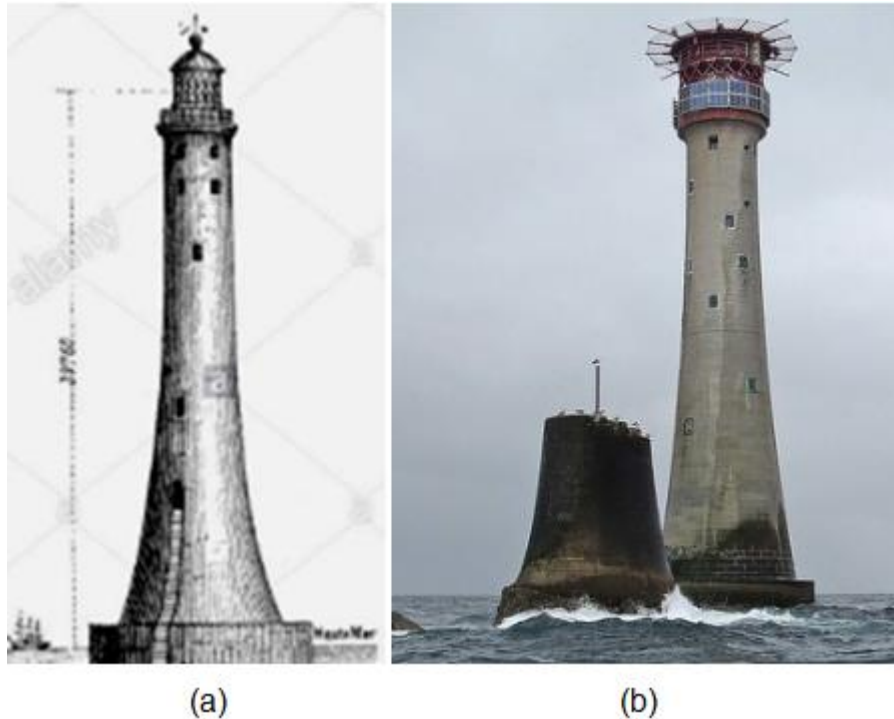


Figure 1.14 : (a) un dessin du phare actuel d'Eddystone <sup>(14)</sup>, (b) le phare actuel d'Eddystone <sup>(15)</sup>.

### 1.2.6.3. Phare de Minots Ledge

La première tour de pierre isolée en mer construite aux États-Unis était celle de Minots Ledge, elle représente la version américaine du phare anglais d'Eddystone. Ce dernier est situé sur un rocher près de l'entrée du port de Boston. Le premier phare construit à cet endroit était en 1847, suite à un rapport établi par l'inspecteur de phare I.W.P en 1842 qui a constaté la nécessité de construire un phare sur cette partie de littoral<sup>16</sup>. Ce phare était construit par l'ingénieur William H. Swift suivant une conception spéciale en forme d'un squelette à neuf pieux en fer, au sommet desquels se trouvent la lanterne et le logement du gardien. Malgré sa forme avec des pieux qui résistent aux forces inattendus des vagues et des vents, il a été détruit durant une tempête en 1851[34].

<sup>14</sup> © Alamy.

<sup>15</sup> © flickr .

<sup>16</sup> Le rapport de 1842 annonce que plus de quarante navires avaient atteint leur fin à cause d'absence d'une balise a cet endroit.

Le phare actuel de Minots Ledge est considéré comme l'un des plus importants travaux d'ingénierie du monde durant cette époque par ses techniques constructives. Ce deuxième phare construit en 1852 est toujours debout. La tour est construite en pierres de taille emboîtées les unes aux autres formant un tronc de cône d'environ 35 mètres [34].

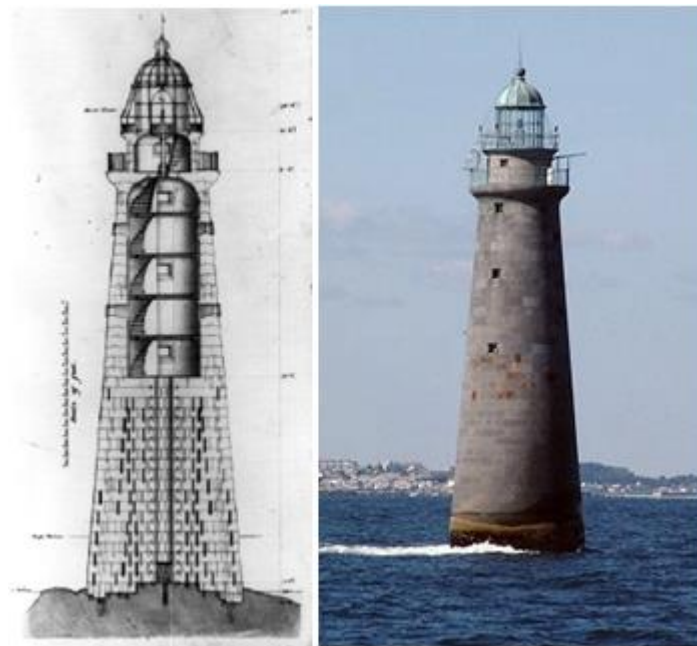


Figure 1.15 : La coupe de la tour de Minots Ledge [34], le phare de Minots Ledge  
(17).

### 1.3. Conclusion

L'apparition de la pratique de signalisation maritime revient au 6ème siècle avant J-C dans l'empire Grec, alors que sa diffusion s'est faite par les Romains [5]. Cette pratique était assurée dans un premier temps par des feux allumés au sommet d'une tour singulière, ou d'un édifice religieux durant l'antiquité et le moyen âge, à l'image du fameux phare d'Alexandrie et la tour d'Hercule. A partir du XVIIIe siècle, les phares sont devenus des points de communication très indispensables, pour les intérêts maritimes de chaque pays côtier et par conséquent, des réseaux multiples de phare ont été réalisés durant les deux siècles suivants.

---

<sup>17</sup> © lighthousefriends.

## CHAPITRE II.

### LA SIGNALISATION MARITIME

#### 2.1. Introduction

Historiquement, le rôle aides à la navigation maritime y compris les phares, accompagnaient des flottes commerciales et militaires, indiquaient les zones dangereuses aux abords des côtes et des routes maritimes, guidaient les navires vers les ports et permettaient aux marins de connaître leurs positions jour et nuit. Cependant, en plus de leur rôle principal maritime et parfois militaire durant les premiers siècles de leur apparition, les phares cristallisaient en effet un ensemble de savoirs liés aux sciences astronomiques et géodésiques et cartographique marine ou terrestre [11].

L'aménagement de la pratique de signalisation maritime a été établie par plusieurs acteurs politiques, sociales, économiques et aussi privés qui ont, chacun à leur niveau, participé au développement des moyens et des techniques de navigation par signaux lumineux, sonores ou par satellites (GPS), à l'augmentation en nombre et en genre des aides à la navigation (les amers, les phares en série, les feux flottants, les balises et les bouées), jusqu'à l'adoption du cadre réglementaire de gestion pour améliorer la sécurité des marins en mer et au cours de leurs chemins vers la côte.

#### 2.2. Le rôle des phares

La fonction de signalisation maritime depuis sa création dans le monde Grec s'opérait toujours dans les deux sens: mer-terre et terre-mer. L'interaction entre ces deux territoires morphologiquement différents était le cœur de cette activité. Le rôle d'une telle structure de signalisation est étroitement lié à ses caractéristiques géométriques et à son contexte d'implantation [8], dont la fonction d'émettre un signal était toujours associée à celle de la surveillance et autrefois à

d'autres fonctions secondaires: militaire, de cartographie et d'astronomie selon le contexte historique général des lieux.

D'après JONATAN, Les premières tours dans l'histoire de la signalisation ont fortement montré la notion de multifonctionnalité. La célèbre tour d'Alexandrie présente le premier exemple concret qui confirme ce concept, son édification était à la fois pour: matérialiser les terres, désigner les écueils aux navigateurs et indiquer les dangers venant du large.

### 2.2.1. Le rôle maritime d'un phare

Surveiller la mer et signaler la côte, deux fonctions indissociables, primordiales pour lesquelles la structure de signalisation maritime a eu sa création sous le nom de « phare ». On trouve aussi un lien entre ces deux activités dans la terminologie des Grecs où la transmission de signaux et les torches ont la même racine « *Phrykto* »<sup>18</sup>. Cette notion de doublant consiste à voir avec un large rayon de visibilité et être vu de très loin, à observer le mouvement des navires dans la mer et leur transmettre l'information maritime au même temps.

Au temps de la navigation traditionnelle, les grandes tours maritimes sont essentiellement appelés à prévenir de l'approche de terre, marquer un endroit particulier tels que les îles ou les détroits (les tours de Sestos et Abydos), matérialiser les dangers sur la voie des pilotes dans le port en sécurisant leur abords (la tour d'Alexandrie), contrôler le commerce et les échanges maritimes (la tour de cap Peloro) [8]. Les phares dont on vient de parler, doivent être vus de loin et leurs feux être de la plus grande portée possible, leur partie sommitale semble confirmer cette fonction maritime.

L'éclairage des sommets des tours étaient assuré au début par des feux exposés à l'air libre (bois, tourbe, charbon et l'huile). Ensuite, par des lampes à l'intérieur des lanternes vitrées (huile, gaz, l'acétylène, vapeur de pétrole, gaz butane puis

---

<sup>18</sup> Dans les textes d'Homère et d'Eschyle, le terme *Phryktos* est utilisé pour les torches alors que *Phryktorion* signifie la transmission de signaux. Le terme *σκοπιάς* désigne au même temps les guettes et les tours à thon.

l'électricité). Et aujourd'hui, on utilise les énergies renouvelables (éoliennes ou solaires). L'évolution de ces moyens d'éclairage avait une influence directe sur le domaine des phares en termes de lumière, de portée lumineuse ou d'optique de leurs feux. L'éclairage est défini comme « la distance à laquelle le feu d'un phare caractérisé par une puissance déterminée peut être aperçu par un homme doué d'une vue ordinaire » [20]. Il peut être augmenté et les caractéristiques des feux sont diversifiées.

En effet, chaque phare est devenu différent des autres et reconnaissable grâce à sa portée lumineuse, la nature, la couleur et le rythme de son feu. La portée optique des phares est liée non seulement à l'intensité de la lumière mais aussi à la hauteur de la lanterne, la position du marin et l'état de l'atmosphère qui est plus ou moins opaque et concourant à l'affaiblissement des rayons lumineux du feu Fig. 2.1. En plus de la portée lumineuse, les phares peuvent être reconnus grâce à la couleur de leurs feux et le rythme de leurs éclats<sup>19</sup>. Les navigateurs peuvent donc connaître le phare à travers les caractéristiques de son feu en se référant au catalogue des phares et déduire facilement leur position exacte dans le large. Il n'en est pas de même aujourd'hui, la navigation maritime et le repérage fait appel aux techniques satellitaires et les systèmes de GPS pour ses besoins en positionnement.

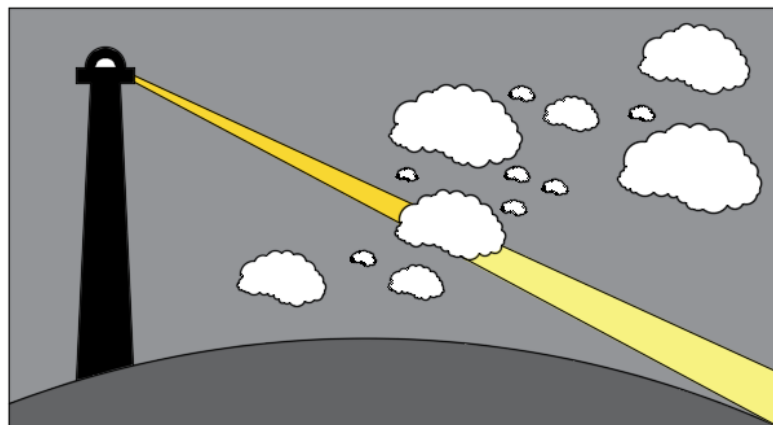


Figure 2.1 : l'impact de l'atmosphère sur la portée lumineuse d'un phare la nuit [19].

---

<sup>19</sup> Il y a des feux fixes et des feux tournants avec des éclats de couleurs et de vitesses variables: blanc, rouge, bleu et vert.

La visibilité d'un phare dépend de l'intensité de son feu la nuit et de son amer<sup>20</sup> le jour. Les caractéristiques géométriques et architecturales du phare jouent un rôle dans la détermination de la distance à laquelle il peut être vu malgré la rotondité de la terre [20]. Cette distance est appelée la portée géographique, elle est liée à la hauteur du phare au-dessus du niveau de la mer, au rayon de courbure de la partie considérée et à la valeur de la réfraction atmosphérique.

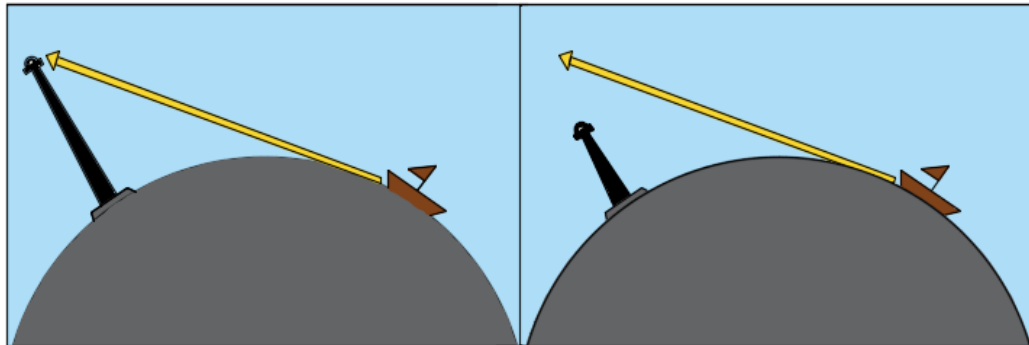


Figure 2.2 : l'influence de l'height de l'amer et la rotondité de la terre sur la visibilité d'un phare le jour [19].

#### 2.2.1.1. Classification des phares selon l'ordre

La hiérarchisation des feux selon la quantité de lumière émanée de leur foyer et leur caractère (feu fixe ou à éclipse) a donné naissance à la notion d'ordre. Le système général d'éclairage des phares à travers le monde consiste à entourer la ligne côtière en implantant plusieurs cercles de lumière avec des portées lumineuses successivement décroissantes Fig. 2.3:

##### 2.2.1.1.1. Phares de premier ordre:

C'est le premier cercle des feux aperçu par les navigateurs en mer, il est composé des phares à grande portée de plus de 22 milles nautique<sup>21</sup>. Cette catégorie marque le continent et sert à donner la première indication sur la route des marins pour arriver à la terre [6]. Les phares du premier ordre sont réservés pour les points les plus avancés d'une côte. AUGUSTIN FRESNEL a annoncé dans son

<sup>20</sup> Amer : éléments fixe et remarquables dans paysage côtier (montagne, cloche, tour), il sert à un repère pour la navigation maritime.

<sup>21</sup> 1 mille nautique = 1,852 kilomètres.

mémoire qu'il fallait tenir ce type de phares assez élevés en hauteur et donner la plus grande portée à ses feux [19].

#### 2.2.1.1.2. Phares de deuxième ordre:

La seconde ligne de lumière à franchir par les navigateurs est l'ensemble des phares du deuxième ordre, elle englobe les phares de portée moyenne moins de 20 milles nautique [13]. Un phare de second ordre est destiné à remplir les lacunes entre les feux du premier ordre en matérialisant les chenaux d'accès, les caps secondaires, les écueils et les bancs de sable.

#### 2.2.1.1.3. Phares de troisième ordre :

La fonction assurée par cette catégorie des feux de portée égale à 15 milles nautique est de baliser l'entrée des ports et des passages dangereux et marquer les baies profondes, les mers étroites et les détroits. Ils peuvent être placés dans l'alignement du chenal où l'embouchure du fleuve ou l'entrée du port est inaccessible [13].

#### 2.2.1.1.4. Phares de quatrième ordre :

Lorsque le navigateur est arrivé près du port, il voit habituellement sur ses jetées des feux de petit porté moins de 10 milles nautique qui lui indiquent précisément les contours des infrastructures portuaires. Ces phares de quatrième ordre représentent le dernier cercle de lumière qui guide le navire depuis le large jusqu'à son arrivée au port en toute sécurité [20]. Les feux du cinquième et sixième ordre de faible portée lumineuse ne sont pas utilisés au somme des phares mais généralement sur des petites structures ou tortelles à l'intérieure des installations portuaires.

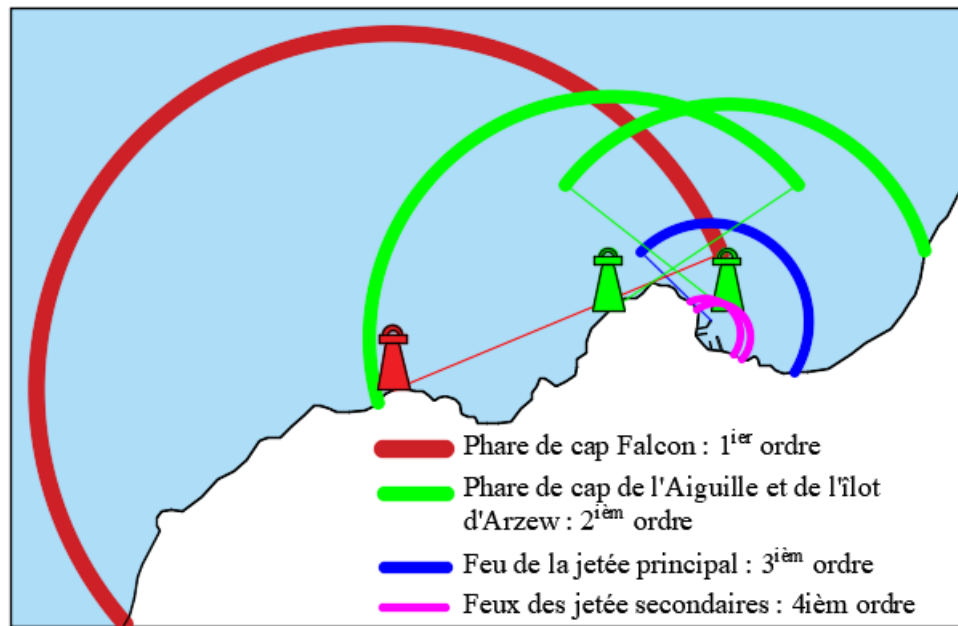


Figure 2.3 : Les rayons de visibilité des phares et feux éclairant la zone proche du port d'Arzew en Algérie vers 1947 <sup>(22)</sup>.

#### 2.2.1.2. Classification des phares selon la fonction maritime

En fonction du type de navigation à laquelle il est destiné le phare ainsi que de sa portée lumineuse et géographique sa distinction se fait, ainsi deux catégories existent :

##### 2.2.1.2.1. Phares d'atterrissage

Ils sont situés près du littoral, les navires sont exposés aux plus grands dangers, que la ligne côtière présente, tels que les promontoires avancés par rapport au reste de terre : des caps, des îles, des îlots, des récifs et des écueils qui doivent être aperçus et évités. Sur ces promontoires particuliers, sont implantés les phares d'atterrissage [13].

La fonction principale attribuée aux phares d'atterrissage est de marquer la terre dont ils constituent la première ligne lumineuse vue par le marin. Ils doivent donc être vus de très loin et leurs feux doivent être de la plus grande portée possible (phares du premier ordre) et aussi échelonné d'une manière qu'il soit impossible d'arriver près de la côte sans avoir au moins l'un d'eux en vue. Les phares

<sup>22</sup> © AMARI K.



d'atterrissage, ne sont plus aujourd'hui des repères indispensables, ils représentent un simple outil de dépannage pour la navigation maritime électronique.

#### 2.2.1.2.2. Phares de jalonnement

Les phares et les feux d'atterrissage secondaire sont appelés les phares de jalonnement. Ils jouent un rôle différent de celui d'atterrissage dont ils précisent le tracé d'une route de navigation très fréquentée et indiquent facilement le chenal d'accès à la côte [1]. Cette catégorie englobe les phares de second ordre, de troisième ordre et les feux d'entrée de port.

#### 2.2.2. Le rôle militaire d'un phare

Les phares sont destinés à guider les vaisseaux dans leur course incertaine, pour arriver au port, en parallèle avec la fonction maritime. Les phares ont pu aussi assurer un rôle purement militaire durant des périodes particulières de l'histoire dans un contexte de guerre et de prévention d'attaques terrestres ou maritimes [8].

De l'antiquité revenons à notre temps, étudions les pratiques militaires au niveau des structures de l'éclairage côtier. Les tâches de surveillance, d'observation stratégique et de contrôle de la frontière naturelle la plus faible et la moins maîtrisée des territoires étaient rassurées par les tours de signalisation maritime chez les Grecs et les Romains [8]. Aujourd'hui, le phare moderne a une utilisation comme postes de vigie, et généralement il a un jumeau militaire appelé le sémaphore<sup>23</sup>, ils cohabitent au même lieu sur des points culminants [43]. En effet, la signalisation maritime moderne est devenue active, et permet l'échange des informations stratégiques entre le navire et la côte [43].

---

<sup>23</sup> Des stations de signalisation maritime équipées avec des dispositifs de communication, leur rôle est d'assurer la surveillance en mer, l'observation des navires, la communication entre navire et côte.

Vue que les établissements maritimes deviennent un enjeu stratégique et ne sont attaqués que par voie de la mer pendant les guerres, les services de gestion de la signalisation maritime dans tous les pays côtiers à l'image de la France, l'Angleterre et l'Italie durant la seconde guerre mondiale, ont pris des dispositions particulières : camoufler l'édifice du phare par une peinture adaptée au milieu naturel et urbain, limiter les périodes d'éclairage des phares et parfois les éteindre carrément, réduire la portée des feux, placer des rideaux d'écran pour délimiter la visibilité du feu et des fois loger un groupe de soldats dans le bâtiment du phare [44].



Figure 2.4 : Le phare et le sémaphore du cap Béar en France [45].

### 2.2.3. Phare, Cartographie et Astronomie

Le phare comme élément indispensable pour la navigation maritime a été aussi un élément important dans les opérations géodésiques, astronomiques et surtout cartographiques terrestres ou marines [46]. Le classement des phares par ordre est inspiré également de l'astronomie tout comme les étoiles.

Le grand astronome GALILEO GALILEI a réalisé ses expériences astronomiques au sommet du phare de Livourne en Italie [28]. L'hydrographe ROSSEL<sup>24</sup> a

---

employé les phares comme des sommets des triangles géodésiques dans ses productions cartographiques. La répartition des phares français au début du XIXème siècle était liée aux savoirs astronomiques et géodésiques dont les sommets des triangles utilisés dans la production des cartes de la Manche coïncident avec la situation des phares des Héaux de Bréhat et de l'île de Chausey [20]. La station de service de cartographie militaire de l'Algérie coloniale était rattachée au phare d'Alger (Amirauté) dans toutes les interventions cartographiques à Alger [47]. Au début du XXème siècle, le phare était employé parfois comme aide à la navigation aérienne [46].

#### 2.2.4. Les auxiliaires des phares

Le rôle de signalisation maritime était de garantir depuis longtemps par des signaux lumineux qu'émettent les phares la nuit, et le jour par les amers (montagnes, tours, cloches, etc.). Cependant la ligne côtière présente parfois des parties fortement isolées et inaccessibles où il est impossible d'établir une structure de phare ou amers et ils doivent être éclairés. Sur ces lieux dangereux sont installés d'autres types d'aide à la navigation maritime tels que les feux flottants, les balises et les bouées. En plus des signaux lumineux, à l'entrée des ports on trouve aussi des signaux en forme de pavillons ou des ballons destinés au guidage des navires.

##### 2.2.4.1. Les amers

Dans le domaine marin, un amer représente tout élément naturel ou construit vu du large, caractérisant une partie du littoral. Cette catégorie d'aide englobe les objets naturels: les montagnes, les rochers de forme particulière, les pics isolés, des plages de sable bien limitées, les grands arbres, des forêts, et aussi les éléments bâtis par l'homme: les tours des phares, les cloches, les moulins à vent, des maisons<sup>25</sup>. Les amers peuvent être considérés comme un repère pour les navigateurs grâce à leurs portées géographiques notablement grandes, et aussi

---

<sup>24</sup> Paul-Edouard de Rossel : Un hydrographe français fait parti des marins de la commission des phares. Il était chargé de lever et de dessiner les cartes marines.

<sup>25</sup> Selon ARNAUD dans son ouvrage « les routes de la navigation antique », les sanctuaires construits durant l'Antiquité et le Moyen Âge sur des points culminants de ligne côtière avaient jouées certainement le rôle d'un amer maritime.

considéré comme un point de reconnaissance à travers leurs dimensions, leurs formes et leurs couleurs. Les ouvrages construits doivent être peints suivant le lieu, en couleur foncé s'ils se projettent sur le ciel et en couleur claire lorsqu'ils se détachent sur la terre [13]. Parmi les plus connus amers, les célèbres colonnes d'Hercule et la fameuse colonne de Pompée [20].

#### 2.2.4.2. Les feux flottants

Au début du XVIIIème siècle, le monde de la navigation maritime a connu pour la première fois le nom des bateaux phares ou les feux flottants inventés en 1731 par l'anglais Robert Hamblin [48]. Le bateau feu est une aide à la navigation qui a remplacé le phare dans des lieux dangereux (en pleine mer ou le fond est un lit de sable, les récifs éloignés des côtes ou immergés) où il est impossible de construire une structure de phare soit en maçonnerie ou en fer capable de résister aux vents, aux tempêtes et aux violentes marées [19].

Les bateau feu avaient des mâts épais et courts, sans voiles, couronnés de grosses boules et l'appareil d'éclairage est placé en haut soit à un feu, à deux feux, à trois feux ; ceux-ci sont fixes, les autres tournent, ou sont colorés. Le vaisseau doit rester par tous les temps dans la même situation maritime dans laquelle il a été attaché par des chaînes et a des câbles de fer [13].

Après le littoral anglais, celui des États-Unis a été aussi doté par un nombre important de feux flottants dont le premier fut installé en 1820 [34]. Ensuite, la France qui n'a pas les mêmes exigences que les côtes anglaises et américaines, a moins de vaisseaux [20]. Aujourd'hui, ces bateaux ne fonctionnent plus et sont remplacés par des bouées à feu permanent.



Figure 2.5 : Exemple d'un bateau phare <sup>(26)</sup>.

#### 2.2.4.3. Les balises

Les balises sont des ouvrages dédiés pour marquer les écueils sous marins, ils ont été construits selon des formes, des matériaux et des couleurs divers à travers le temps : Les balises en bois sont habituellement surmontées de ballons, de tonnes ou de voyants de diverses formes. D'autres balises en fer à une seule tige ou à branches multiples réunies par des planches à leur partie supérieure et terminé par un voyant. Et enfin, des balises en forme de petites tourelles en maçonnerie de pierre de taille ou en moellons [20].

Ce type d'aide à la navigation ne peut assurer son rôle que pendant le jour où le temps est clair, et donc pour obvier à son insuffisance, des cloches sur des flotteurs sont proposées dont le mécanisme de fonctionnement s'appuie sur les oscillations incessantes de la mer, cela a pu donner de bons résultats et appeler à d'autres applications en forme de signaux sonores au futur [13].

#### 2.2.4.4. Les bouées

Une bouée est un corps flottant attaché au fond de l'eau par des chaînes, elles doivent conserver leur position verticale sous l'effet des vagues et du vent et sont utilisées généralement dans les passes des chenaux, ou proche de bancs ou rochers. Comme les balises, les bouées ont été construites en bois, ensuite en

---

<sup>26</sup> © compiegnephotos.

tôle de fer et ont des formes extrêmement variées. On trouve des bouées en forme de bateau, des bouées dotées des miroirs reflétant les rayons du soleil ou des phares voisins, et il y a aussi la bouée à cloche employée beaucoup plus où les brouillards sont fréquents et très-épais [20]. L'aide à la navigation par des bouées est utilisée jusqu'à nos jours par l'emploi des bouées de couleurs différentes (blanc, rouge vert et jaune) sans ou à feu, avec voyant ou espar [49].



Figure 2.6 : Exemple d'une bouée de balisage maritime <sup>(27)</sup>.

#### 2.2.4.5. Les signaux

Une nouvelle pratique de signalisation maritime est employée lorsque le navire se rapproche de la côte ou à l'intérieur des ports. Cette pratique des signaux est gérée dans le monde entier par le code international des signaux maritimes, en utilisant des flottants en forme de pavillons, des flammes, des triangles avec des lettres et chiffres doté des fanaux pour la signalisation nocturne. Les composantes du code des signaux ont plusieurs significations en fonction des lettres écrites, des chiffres, des couleurs et des formes, un tel pavillon a le même sens dans n'importe quelle langue, le message entre le navire et la cote ou entre les navires est par conséquent facilement transmit [50].

---

<sup>27</sup> © polemermediterranee.



Figure 2.7 : Drapeau nautique international de signal maritime (pavillon, flamme et triangle) <sup>(28)</sup>.

### 2.3. L'évolution de la signalisation maritime : techniques et moyens

Le service d'éclairage des phares a employé toutes les inventions et les moyens technologiques et scientifiques à sa disposition pour assurer le besoin du guidage nocturne [51]. Les techniques et les moyens de navigation et de signalisation maritime ont tellement évolué depuis l'antiquité jusqu'à l'ère actuelle, que l'on peut éliminer totalement le rôle des phares dans les prochaines décennies.

Les sources d'énergie et de la lumière utilisées pour l'éclairage des phares se sont développées à travers le temps depuis le feu du bois, jusqu'aux lampes allumées par les énergies renouvelables éoliennes et solaires. Le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle a connu un grand essor dans les programmes d'éclairage des côtes à travers le monde et donc le nombre des phares s'est multiplié à cause de la croissance notable du commerce et du transport maritime. Plus le nombre et l'importance des phares ont crû, plus il est devenu nécessaire de perfectionner les moyens et les techniques d'éclairage dont ils sont pourvus. Vers la fin du siècle une série d'innovations bouleversent profondément le domaine technique de l'éclairage des phares et d'autres types et moyens de signalisation ont été créés en forme de signaux de lumière, des optiques à grande vitesse de rotation, etc.

Aujourd'hui, les aides à navigation électronique qui comprennent le satellite, l'ordinateur, la carte numérisée et le récepteur GPS ont pu non seulement modifier profondément le rôle des phares et des balises mais aussi faciliter la navigation et le guidage maritime pour tous les navigateurs professionnels ou amateurs.

---

<sup>28</sup> © drapeaux-nautiques-internationaux.

### 2.3.1. Développement des sources d'énergie

En remontant à l'origine de l'éclairage des côtes jusqu'au XVIIIème siècle, les combustibles utilisés pour allumer la flamme aux sommets des premiers tours de signalisation maritime n'étaient d'abord que le bois, la tourbe, le charbon de terre ou l'huile [3], le foyer était à ciel ouvert sans aucune protection contre les conditions climatique (vent, brouillard, pluies ou neige) et allumé par intermittence pendant la nuit [19]. L'utilisation de ces matière dans l'éclairage restaient la solution la plus pratique pour les anciens afin d'obtenir une grande portée lumineuse, mais RENARD a considéré que cette manière était très naïve par rapport aux techniques utilisées pour construire ces tours.

Au XIXème siècle, les sources d'énergies extraites de la nature directement ont été remplacées par des matières nouvelles comme le gaz d'éclairage, l'acétylène et la vapeur de pétrole pour allumer des lanternes de chandeliers puis des lampes qui ont remplacé les flammes utilisées auparavant. Durant cette période les lampes était protégées par des vitres [19]. Plus tard, au XXème, le gaz butane et le courant électrique par groupe électrogène sont employés comme sources d'énergie pour allumer les lampes à l'intérieur des lanternes<sup>29</sup>. Et aujourd'hui le phare a de plus en plus recours pour son éclairage aux énergies renouvelables, éoliennes et solaires surtout pour les phares isolés en mer [3].

---

<sup>29</sup> La lanterne est la partie supérieure du phare, elle assure la fonction de loger et protéger la source lumineuse.



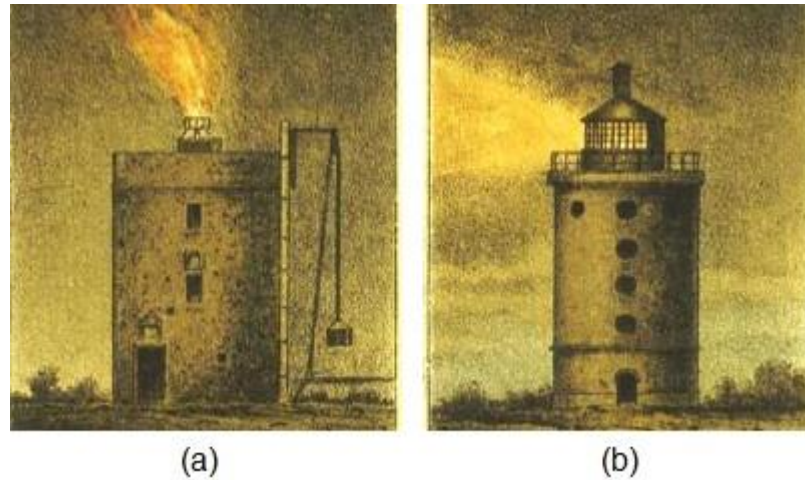


Figure 2.8 : (a) Le phare de l'île de May (1635, charbon), (b) Le phare de Spurn-Point (1819, huile) [52].



Figure 2.9 : (a) Le phare de la Hève (électrifié en 1863) <sup>(30)</sup>, (b) Le phare des Poulains (1999, énergie solaire) <sup>(31)</sup>.

### 2.3.2. Développement de sources lumineuses

Bien que le bâtiment du phare puisse servir comme amer de jour, la lumière présente l'essence du bâtiment et la cause pour laquelle il a été créé et un aspect distinctif par lequel il est reconnu le phare à travers ses caractéristiques : la puissance lumineuse, la couleur et le rythme des ses éclats [53]. En effet, on ne peut pas toucher le sujet des phares sans parler de la lumière qu'ils émettent car ils sont deux éléments indissociables.

<sup>30</sup> © wikimedia.

<sup>31</sup> © augredesbalades.canalblog.

Les premières tours de signalisation ont été équipées pendant plusieurs siècles de brasiers au bois, au charbon et à l'huile, puis de lanternes munies de chandeliers. Cependant, la portée lumineuse de ces procédés était très faible. Vers la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle et le début de XVIII<sup>ème</sup> siècle, le domaine de construction des phares s'est concentré de plus en plus sur les considérations techniques en termes de sources d'énergie et rendement lumineux que sur les considérations architecturales [14]. Durant la deuxième moitié du siècle, des miroirs sphériques en cuivre appelés réflecteurs paraboliques ont été ajoutés dans la lanterne et des lampes à double courant d'air<sup>32</sup> ont été utilisées pour réfléchir la lumière pour qu'elle devienne visible de très loin. A la fin du siècle, la notion de rotation du système d'éclairage est née en tournant les réflecteurs paraboliques autour de la source lumineuse afin d'augmenter plus la portée de la lumière [19].

Les inventions d'AUGUSTIN FRESNEL<sup>33</sup> ont donné un début d'une ère nouvelle de la signalisation maritime avec sa célèbre lentille à échelons qui révolutionne l'éclairage des phares moderne [46]. Son invention revient au début du XIX<sup>ème</sup> siècle en 1821. En effet le premier appareil de ce genre fut installé sur la tour de Cordouan en 1822 [6]. Les phares lenticulaires ont pu fortement augmenter le retentissement des signaux lumineux. Ensuite, la rotation de ce système à des vitesses variantes a pu créer trois types d'éclairage distincts : les feux fixes, les feux tournants, les feux fixes variés par des éclats [19]. Ce nouveau système ne tarda pas à être adopté par toutes les nations maritimes dans le monde dont il est aujourd'hui universellement reconnu.

#### 2.3.2.1. Les équipements du système d'éclairage des phares modernes

Le système d'éclairage installé à l'intérieur de la lanterne d'un phare est généralement composé de deux parties distinctes en terme de fonction: La source lumineuse (l'objectif ou la lampe) ; Le système optique destiné à diriger les rayons lumineux sur l'horizon maritime (lentille).

---

<sup>32</sup> Invention de Argand, qui se balancent et sautillent en l'air jusqu'à ce qu'elles aient atteint une position verticale.

<sup>33</sup>Augustin Fresnel est Ingénieur français et membre de la commission des phares et des balises, il a réalisé plusieurs expériences sur la diffusion de la lumière. À travers l'invention de la lentille à échelon, Fresnel a bouleversé le domaine de la signalisation maritime.

### 2.3.2.1.1. La lanterne

L'abri supérieur qui loge et protège les appareils d'éclairage aux intempéries est appelé « la lanterne », sa première utilisation était vers la fin du XVIIIème siècle pour éviter que le vent n'éteigne les flammes. Elle est composée des vitres sous la forme d'un réverbère pour protéger les lampes à huile [19]. Les lanternes sont d'une grande variété de formes et de tailles en fonction de l'ordre de l'appareil lumineux, ses vitres doivent être nettoyées surtout après les pluies pour une meilleure propagation de la lumière.

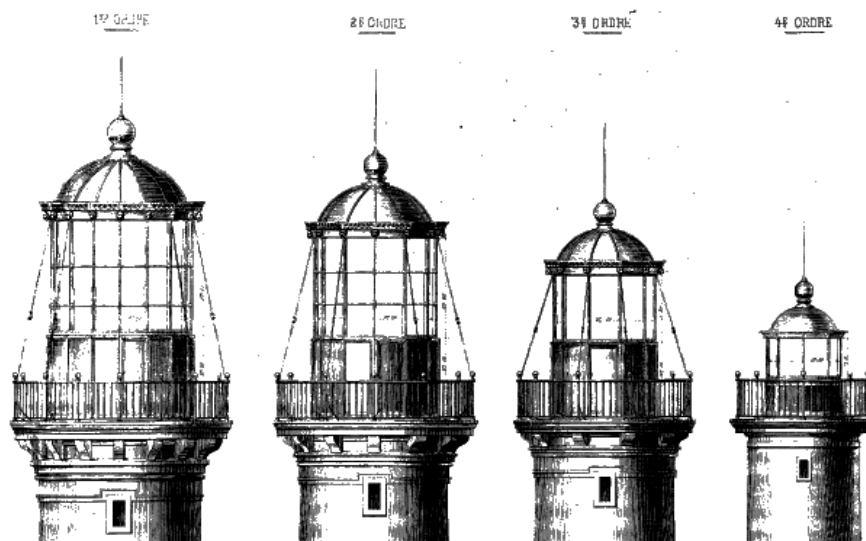


Figure 2.10 : La taille de la lanterne selon l'ordre de l'appareil d'éclairage [6].

### 2.3.2.1.2. Le foyer lumineux

Les appareils d'éclairage qui ont été utilisés durant le XVIIIème et le XIXème siècle s'organisent en deux systèmes connus: l'appareil catoptrique ou à réflecteurs qui est le plus ancien et l'appareil dioptrique ou lenticulaire. Actuellement, tous les phares sont automatisés et leur éclairage se fait à travers des lampes électriques.

#### 2.3.2.1.2.1. Appareils catoptriques :

Ce système consiste à diffuser la lumière émise à travers des réflecteurs, dans un premier temps, le feu aluminé par des lampes à huile et les réflecteurs ont la

forme de segment sphérique. Ensuite, le système a utilisé des lampes à double courant d'air et plusieurs réflecteurs de forme parabolique dans le même sens. Et enfin, faire tourner l'appareil autour d'un axe vertical pour avoir des feux tournants [6]. Les appareils à réflecteurs sont employés généralement dans les mers étroites, les détroits et les ports.

#### 2.3.2.1.2.2. L'appareil catadioptrique :

Le système lenticulaire consiste à réfracter à peu près parallèlement à son axe tous les rayons émanés du foyer lumineux, l'amplification du faisceau lumineux permet donc d'augmenter la portée lumineuse du feu, l'appareil dioptrique est utilisé pour les phares du premier ordre. La lentille dans ce système se termine par une surface sphérique divisée en anneaux concentriques dont la partie inutile dans la petite lentille du centre et dans les anneaux qui l'entourent est ôtée [19].

#### 2.3.2.1.2.3. Lentille de Fresnel

Elle est aussi appelée lentille à échelons, inventée par Augustin Fresnel en 1821. C'est un système de prismes annulaires qui réfractent et réfléchissent dans un faisceau. Ils capturent et concentrent jusqu'à 70% de la lumière émise et permettent de multiplier la puissance des signaux lumineux. La rotation de la lentille de Fresnel autour de la source de la lumière a donné naissance à la notion du caractère du feu dont chaque phare est caractérisé par le rythme de ses éclats [34].

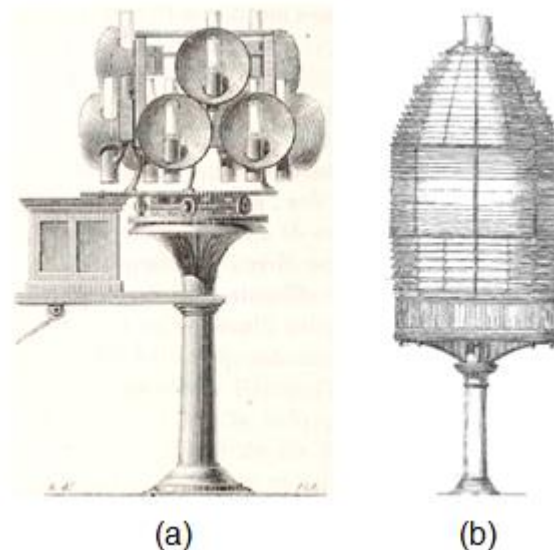


Figure 2.11 : (a) appareil catoptriques, (b) appareil dioptrique [13].

#### 2.3.2.1.3. Le caractère des feux

Au début du XVIIIème siècle, le phare n'est plus vu comme un monument isolé, mais le nombre des phares multipliés formant un réseau indique la côte. Ce nombre important de phares qui ont la même lumière a augmenté considérablement la possibilité d'une confusion et donc il était souvent impossible de connaître le lieu indiqué par le phare depuis une des grandes distances surtout pendant la nuit [14]. En effet, le rôle des phares n'était pas seulement d'avertir l'approche des terres mais aussi indiquer la situation géographique approximativement. Dans ce contexte, diversifier les phares est une nécessité à travers la caractérisation de leur feux ainsi il devient alors un élément de repérage et d'orientation en fonction de la nature du signal lumineux qu'il émet.

Entre 1880 et 1890, Afin de mieux différencier les signaux émis par les phares, la rotation du système d'éclairage autour de la source lumineuse a donné deux types de feux: les fixes et les tournants. Ensuite, Fresnel a développé une autre variante, l'idée de rotation qui consiste à créer un caractère intermédiaire entre les deux premiers types en utilisant la rotation des appareils lenticulaires à grande vitesse qui émettent des éclats et des éclipses en une fraction de seconde [46]. Suite à cette innovation, les phares ont été distribués de telle sorte qu'il soit impossible de trouver deux feux successivement situés ayant le même caractère. Il y'a toujours

un feu fixe placé entre deux feux tournants. Le navire peut donc se repérer et identifier les lieux facilement grâce à cette notion des caractères diversifiés en utilisant la carte marine et le code des phares [19]. La capacité lumineuse des appareils électriques la plus puissante et capable de percer le brouillard ne fut assez performant qu'au XXème siècle tous les phares au monde les utilisent pour l'éclairage de leurs feux [46].



Figure 2.12 : (a) feu fixe, (b) feu tournant, (c) feu à éclats <sup>(34)</sup>.

### 2.3.3. La navigation électronique

Les phares, comme éléments indispensables à la signalisation maritime diurne et nocturne durant plusieurs siècles, ayant pour fonction d'éclairer la côte a évolué au fil du temps en terme de moyen et technique alors que leur structure monumentale existe toujours. Ils ne constituent plus la principale aide à la navigation aujourd'hui [54]. Vers la fin du XXème siècle, le nombre des points lumineux fonctionnels sur le littoral fut réduit et la signalisation maritime s'appui beaucoup plus sur des nouveaux moyens issus de l'électronique (l'automatisation des phares) et de la radio-programmation, des radiophares sont installés à proximité des phares existants émettant des ondes lisibles par les navires [51].

Au cours des années 1990, de nouvelles innovations technologiques de navigation se sont développées comme le système mondial de localisation

---

<sup>34</sup> © pinterest.

numérique GPS et le système d'identification automatique AIS<sup>35</sup> qui comprend le satellite, le radar, l'ordinateur, la carte numérisée et le récepteur GPS. Ces techniques ont tellement bouleversées le domaine de navigation maritime que le rôle des phares aujourd'hui est presque éliminé. Ils peuvent non seulement assurer le rôle des phares (marquer la terre et guider le navire au large) mais aussi identifier les navires, déterminer leur route et leur vitesse et ainsi prévenir les collisions avec précision.

À l'ère du GPS et de l'électronique, l'efficacité offerte par ces moyens ne peut pas être surpassée par le service des phares. En effet, les phares d'atterrissage sont devenus beaucoup plus secourables qu'indispensables pour la navigation maritime. Certains grands phares pourraient être une partie du réseau technique de la navigation électronique où des antennes AIS sont installées sur ces derniers pour couvrir la zone côtière. Alors que, les feux à petites portées implantés aux jetées des ports et aux détroits ont gardé toujours leur rôle maritime.

#### 2.4. La gestion des phares

Le phare comme un outil indispensable de la navigation maritime traditionnelle et moderne, est un élément secourable pour la signalisation maritime actuelle. Il a été sous les mains de plusieurs acteurs dans le monde, sa gestion dépend généralement de son rôle. Aujourd'hui, les phares qui ont gardé leur fonction maritime sont gérés par les services des phares nationaux et les organisations internationales (OMI<sup>36</sup>, AISM<sup>37</sup>) alors que les phares qui sont reconvertis ou ont eu une coloration patrimoniale ils sont gérés dans ce cas par des autorités de conservation et d'exploitation du patrimoine architecturale bâti.

---

<sup>35</sup> Un système automatisé permet l'échange d'information entre les navires par radio VHF pour connaître l'identité, le statut, la position et la route des navires dans la zone couverte par les antennes VHF.

<sup>36</sup> Une institution spécialisée des Nations Unies, créée en 1958, elle compte actuellement 171 états-membres et son siège est à Londres.

<sup>37</sup> Ou IALA, association non gouvernementale fondée en 1957, Elle compte environ 200 membres (services nationaux de signalisation maritime et des d'industriels des aides visuelles, sonores et radioélectriques), son siège est à Saint-Germain-en-Laye.

#### 2.4.1. A l'échelle des nations (au niveau de chaque pays)

La gestion des tours de signalisation traditionnelle chez les Grecs et les Romains était sous le régime de l'empire, le phare était considéré comme un monument unique de son genre<sup>38</sup>. Vers le XVIIIème siècle, il y a eu l'implantation des premiers réseaux des phares à travers le monde, et donc deux modèles de gestion des phares ont été généralement adoptés, le modèle anglais individuel et le modèle français et américain étatique :

##### 2.4.1.1. L'approche britannique :

Depuis la création de «Trinity House» en 1514 Jusqu'aujourd'hui les phares anglais sont toujours gérés par la même fondation sans aucune ingérence de l'état anglais<sup>39</sup>. Une signalisation maritime ponctuelle du littoral destinée aux zones dangereuses de la côte et aussi payante (light dues). Ce modèle montre plus d'initiative individuelle que de l'état dans la construction, l'éclairage et l'entretien des phares et des feux. On peut citer l'exemple des l'Irlande et l'Ecosse dans ce contexte qui ont aussi suivi le même modèle de gestion des phares [1].

##### 2.4.1.2. L'approche française / américaine

Ce modèle de gestion des phares dépend de l'état, l'éclairage des côtes est considéré comme bien public gratuit dont la construction, l'entretien et la gestion des aides à la navigation (phares, amers, bateaux feux, bouées) sont confiés aux services maritimes [44]. Le système fonctionnel qui gère les phares est l'unique le long de toute la ligne côtière et avec une organisation détaillée, les feux sont allumés et éteints au même moment avec le même volume de la lumière et la quantité d'huile [19].

A l'image de la France et les Etats Unis, d'autre pays comme l'Espagne, l'Italie et le Canada, ont choisi la gestion centralisée assurée par un organisme public,

---

<sup>38</sup> La tour de signalisation était un bien de l'empire comme tous édifices d'intérêt public.

<sup>39</sup> La propriété de quelques phares revient à des villes ou à des autorités locales ; mais la plupart appartient généralement aux anciennes sociétés maritimes.



«Faros de España» en Espagne [1], la marine en Italie<sup>40</sup> et l'Agence Parcs au Canada [54].

#### 2.4.2. A l'échelle mondiale

La gestion des aides à la navigation maritime mondiale dont les phares faisant partie est assurée aujourd'hui par l'Organisation Maritime Internationale OMI et Association Internationale de Signalisation Maritime « AISM » qui bénéficie du statut consultatif auprès de l'OMI. Ces deux organisations ont le rôle d'assurer la sécurité des transports maritime à travers l'installation et l'entretien des moyens de balisage maritime, mais aussi l'OMI établit un cadre réglementaire pour les normes de la sécurité maritime universelle [1].

#### 2.5. Conclusion

Le phare, comme un élément essentiel du paysage maritime, et comme une première aide à la navigation maritime, a pu pendant plusieurs siècles, au-delà de son rôle maritime de signaler la mer et indiquer la terre, assurer aussi un rôle militaire, et parfois il a été utilisé dans les opérations géodésiques et même astronomique.

La signalisation maritime traditionnelle (les feux aux sommets des tours), moderne (les signaux lumineux, sonores) ou actuelle (les nouveaux systèmes de repérage électronique GPS), a toujours indiqué les zones dangereuses aux abords des côtes et des routes maritimes, a guidé les navires vers les ports et permis aux marins de connaître leur position de jour comme de nuit.

---

<sup>40</sup> Selon Annamaria Mariotti, les phares en Italie sont considérés comme une enceinte militaire gérée par la marine dont l'accessibilité est limitée aux personnages de service.

## **CHAPITRE III.**

### **L'ARCHITECTURE DES PHARES**

#### **3.1. Introduction**

La nature de la côte maritime est un facteur important qui détermine le rôle des phares. Ces aménagements spécifiques ont été installés suivant le besoin maritimes des navigateurs pendant l'antiquité et le moyen âge, mais aussi selon un réseau général d'éclairage pour la majorité des phares modernes, dont l'implantation d'un nouveau phare sur une partie déjà éclairée précédemment doit prendre en considération le des phares existants [6].

La composition des tours de signalisation est de facture classique, inspirée du concept de la colonne: piédestal, fût, couronnement. Ces trois entités sont rassemblés entre elles de telle sorte que le caractère de la stabilité structurelle de l'édifice soit toujours assurée, tout en donnant à la structure des lignes fluides [55]. La diversité des formes géométriques : le cercle, le carré et l'octogone ; et des matériaux de construction : la pierre, la brique, le bois, l'acier, le béton et la fibre de verre, ont fortement influencé les variétés architecturales, techniques et stylistiques des phares à travers l'histoire.

D'après l'auteure italienne BARTOLOMEI, les phares représentent une source d'histoire pour le patrimoine architectural maritime d'un pays, ainsi qu'un témoin physique marqueurs du paysage côtier de chaque région [7]. En effet, la préservation des phares est une question indispensable qui ne touche pas seulement l'histoire et le paysages la région maritime où se trouve le phare mais aussi elle touche l'histoire de tout le pays.

#### **3.2. Le phare dans son environnement immédiat**

Le phare comme tous amers côtiers naturels ou construits (clochers d'églises, montagne, forêt ou moulins à vent), lorsqu'il est judicieusement situé, constitue un

attracteur de regards et un marqueur du territoire<sup>41</sup>. Le phare est également un rappel vers la mer il est construit initialement pour indiquer la terre aux marins, il signale aussi la mer aux terriens. Les navigateurs se réfèrent à ce point haut en conditions diurnes, qui de surcroît, enrichit le caractère du territoire balisé en lui conférant un éclairage nocturne.

Lorsqu'on parle de l'environnement immédiat d'un phare, il est nécessaire de connaître sa relation avec le milieu naturel où il est inscrit en termes de situation géographique ; en terre ou en mer; et accessibilité aux lieux, ainsi que sa relation avec l'environnement urbain qui l'entoure. Généralement il occupe une situation isolée par rapport aux agglomérations et parfois il est installé dans des villes côtières.

### 3.2.1. Le milieu naturel

Durant l'antiquité et le moyen âge, les seules parties éclairées le long d'une ligne côtière étaient les entrées des ports et les embouchures des fleuves. Dès le XVIIIème siècle, une stratégie d'implantation bien précise est appliquée se basant sur la notion d'équilibre entre voir et être vu [56], ce qui fait qu'il est impossible d'approcher de la terre sans avoir au moins un phare en vue. La géographie des côtes est un facteur déterminant de l'emplacement, le rôle, la hauteur et la puissance des feux de chaque phare. Les phares prennent donc leur position topographique selon la morphologie de la côte qui offre plusieurs formes :

- Les caps les plus saillants, les pics rocheux et les pointes les plus avancées qui se détachent de la ligne côtière sont les sites les plus préférées qui accueillent généralement les structures de signalisation maritime, car ces parties du littoral ne seront pas visibles en arrivant de la haute mer dont la perspective écrase le relief sur un même plan. Les phares situés sur terre sont appelés « phares paradis »[26]<sup>42</sup>. Ils sont établis dans les endroits les plus

---

<sup>41</sup> Eye-catcher, disent les anglais, le phare forme un équerre avec l'horizon maritime. Son valeur symbolique est telle que certains sites s'identifient grâce à leur phare.

accostables par accès direct ou à l'extrémité d'une promenade, afin de réduire autant que possible les difficultés d'accessibilité aux lieux et les dépenses du transport des matériaux. Cependant, certains phares, même situés sur le continent, ont un accès malaisé soit par une piste au milieu d'une forêt ou en marais infranchissables.



Figure 3.1 : Phare sur cap <sup>(43)</sup>.

- Les îlots où s'installent les phares, sont reliés à la côte naturellement et parfois pour une meilleure accessibilité on construit un chemin artificiel généralement accessibles à pied;

---

<sup>42</sup> Les phares paradis sont les phares situés à terre, ils prennent ce nom en raison de la facilité d'accès par rapport aux phares isolé en mer qui sont appelé phares enfers, phares insulaire ou phares orphelins.

<sup>43</sup> © digitop



Figure 3.2 : Phare sur îlot <sup>(44)</sup>.

- Les îles proches de la terre ou en pleine mer reçoivent généralement des phares appelé « purgatoires » [26], l'accessibilité se fait par une navigation aisée;



Figure 3.3 : Phare sur île <sup>(45)</sup>.

- Les récifs et les écueils qui doivent être évités par les marais au large constituent aussi des terres d'implantation des phares, ces phares sont appelés phares « enfers, invivable ou orphelins » [57][26] à cause des difficultés qu'ils présentent lors de leur construction et pour y accéder (exposé à toute la violence des vagues).

---

<sup>44</sup> © Pinterest.

<sup>45</sup> © Pinterest.



Figure 3.4: Phare sur récif <sup>(46)</sup>.

Le choix d'emplacement des phares est fortement lié à la nature des terres balisées. Cependant, il est aussi lié parfois à des événements dramatiques passés dans l'histoire locale des lieux, les phares britanniques tels qu'Eddystone et Bell Rock représentent des exemples parfaits d'implantation des phares en raison de nombreux naufrages occasionnés dans ces endroits [46].

Une relation de fonctionnement est née entre l'espacement des phares et leurs situations, les phares doivent être positionnés les uns par rapport aux autres, à des distances de telle sorte que, dans les conditions atmosphériques ordinaires, on commence à perdre de vue le phare dont on s'éloigne. Il soit possible de voir celui dont on se rapproche [58]. La situation topographique des phares sur des caps, des îles ou des îlots leur confère un rayon théorique de visibilité et leur offre une vue panoramique sur les abords de la mer, et elles communiquent visuellement avec d'autres dispositifs de signalisation sur la côte par sa hauteur.

### 3.2.2. Le milieu urbain

L'implantation des tours de signalisation maritime sur une ligne côtière doit fournir un repère visuel et un point remarquable par rapport au reste du milieu urbain. Afin que les phares gardent leurs caractères uniques, leurs visibilités de loin et leurs identités des lieux en condition diurne doivent être établies.

---

<sup>46</sup>© pinterest.

Chaque phare présente un cas spécifique dans son environnement urbain et on ne peut pas généraliser ses critères caractérisant pour les autres phares. L'existence des tours de navigation maritime en milieux urbains côtiers est liée aux raisons suivantes :

- les villes portuaires, qui permettent l'installation du phare au niveau du port. Généralement ce sont de petites tours à feu de troisième ordre, ils sont appelés les phares portuaires.



Figure 3.5 : Phare du port <sup>(47)</sup>.

- La tour à feu est installée avant la fondation de la ville elle-même, à l'image de quelque anciens phares de signalisation maritime traditionnelle durant l'antiquité et le moyen âge.
- Le phare est construit après la création de la ville en répondant aux besoins spécifiques liés à la nature des côtes.

Certaines tours d'éclairage maritime sont des structures autonomes, tandis que d'autres font partie intégrante d'un ensemble de bâtiments. En effet, même si les phares se trouvent dans une situation isolée par rapport au tissu urbain, les tours de signalisation maritime modernes sont généralement entourées par un ensemble des bâtiments de service : les radiophares, les logements des gardiens et des personnes de service, les bâtiments de signal de brouillard, les pièces de

---

<sup>47</sup> © flickr.

stockage, les citernes et les granges etc. Le paysage des bâtiments annexes entourant immédiatement le phare est aussi important pour définir le caractère du phare pendant la navigation diurne.

### 3.3. Conception architecturale

La conception architecturale des tours en générale et les phares de signalisation maritime spécifiquement est inspirée du concept de la colonne, dont le modèle primaire a été composé de plusieurs étages à retrait<sup>48</sup>. La forme, la hauteur et dimension des phares et surtout l'expression stylistique de leurs façades, varient avec leur distribution fonctionnelle intérieure, la nature des matériaux, le système constructif, et les risques marins et terrestres auxquels l'édifice est exposé [6]. Et ils sont aussi fortement influencés par la politique maritime du territoire, les besoins des navigateurs, le coût de réalisation, l'emplacement et la géographie du site, ainsi que les technologies disponibles au moment de la construction du phare.

#### 3.3.1. Evolution géométrique

##### 3.3.1.1. Conception formel

Comme a dit le CORBUSIER, « Les formes primaires sont les belles formes parce qu'elles se lisent clairement » [59], et cela est le cas des premières structures des phares qui adoptent un plan basique carré ou circulaire, et des fois en forme octogonale. La structure était élevée suivant un modèle de colonne en plates formes « un modèle composé d'un haut soubassement qui se termine par une première plate forme, celle-ci est surmontée par un ou deux ou plusieurs fûts, généralement de même hauteur que le soubassement. Le fût est couvert par une deuxième plate forme, et la dernière porte la lanterne et le feu qui éclaire le phare et en dernier la couverture du couronnement<sup>49</sup> ». Les trois parties sont disposées successivement en plusieurs retraits. Cette conception en forme pyramidale lui assure la stabilité structurelle et d'atteindre la hauteur nécessaire.

---

<sup>48</sup> La tour est considéré comme un élément vertical ressemblant à une colonne dans sa conception géométrique et structurelle.

<sup>49</sup> Les trois parties de la colonne ne sont pas toujours présents dont on trouve des tours composés de deux parties seulement, et ils ne sont pas toujours clairement lisible à cause de leurs dimensions et leurs géométrie.



La disposition des parties composant ce modèle en colonne suit deux configurations :

1. Les parties constituantes de la tour ont la même section sur toute la hauteur du phare, elles sont disposées l'une sur l'autre en retrait à l'image de: la tour d'ordre de Boulogne et celle de Douvres en forme octogonale, tandis que la tour de la Lanterne en forme carrée.

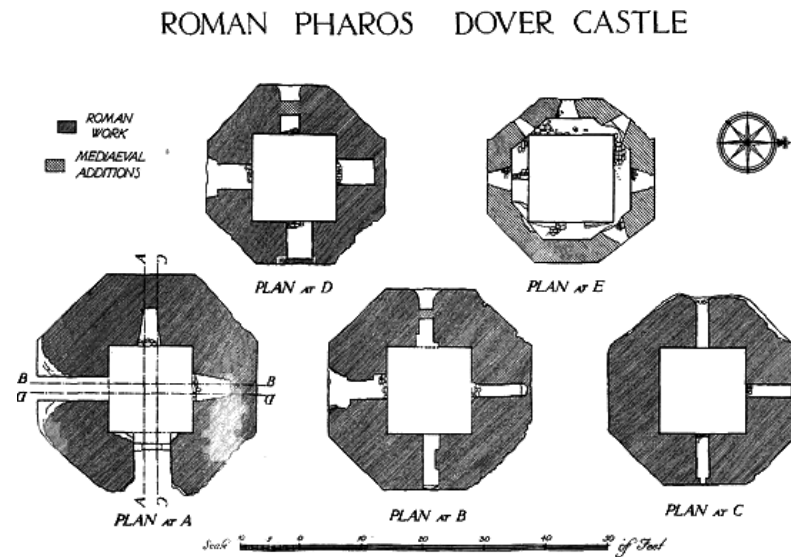


Figure 3.6 : Les plans de la tour de Douvres, d'après Wheeler 1929 [23].

2. La structure du phare est constituée de plusieurs sections discrètes en retrait, avec des formes variaient d'un étage à l'autre. Selon ROBERT BEDON, le phare d'Alexandrie est composé de trois parties variaient : carrée, octogonale puis cylindrique au sommet.



Figure 3.7 : maquette du phare d'Alexandrie, d'après Thiersch 1998 [23].

Au III<sup>ème</sup> siècle, l'historien romain HERODIANUS a aussi parlé des formes géométriques des phares, il a décrit que la conception générale des phares et des catafalques impériaux était semblable, composés de plusieurs étages avec une différence de forme où les catafalques étaient de forme carrée alors que les tours à feu ne l'étaient toujours pas. La similitude entre la conception des anciens phares et les minarets des mosquées, les pyramides et les ziggourats restent encore des sujets de recherche passionnants [15].

Selon MONTFAUCON, Les tours de signalisation traditionnelles avaient généralement une forme ronde, cela est confirmé par les deux médaillons du maréchal d'Estrées qui présente un phare circulaire avec quatre étages et celle de Baudelot de Dairval qui représente aussi une tour ronde [13].

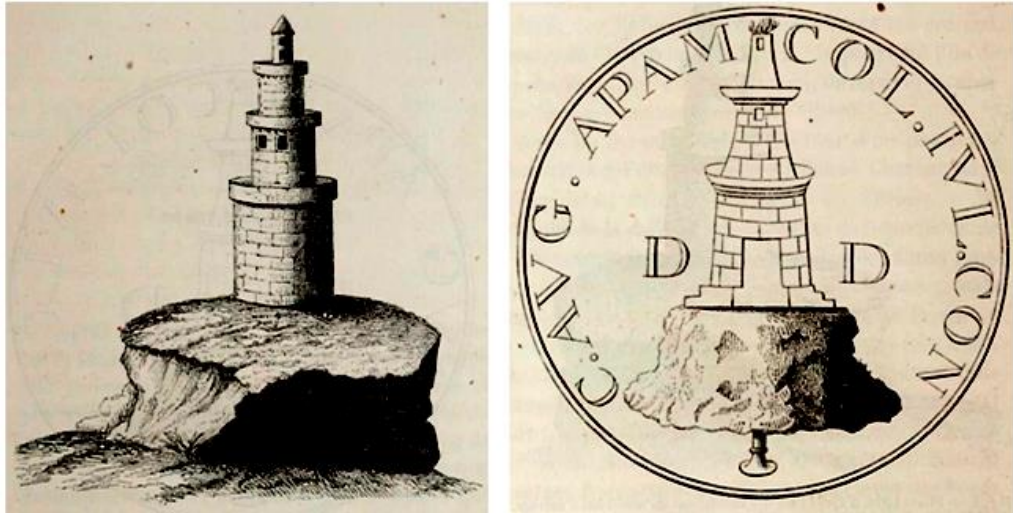


Figure 3.8 : (a) le phare d'après un médaillon du maréchal d'Estrées, (b) le phare d'après une médaille Baudelot de Dairval [13].

Le design du premier phare d'Alexandrie a été si réussi que sa conception a été utilisée comme un modèle de départ et copié plusieurs fois durant l'antiquité par les romains en particulier [5]. Par la suite, le concept des tours en multi-étage ou en colonne avec plates formes était fréquemment choisi et repris de nombreuses fois au cours des siècles du moyen âge à l'image des fameuses tours de la Lanterne et de Livourne.

Après le moyen âge et jusqu'à notre siècle présent, le domaine de la construction en général et celle des phares spécifiquement a connu un fort essor en termes de techniques constructives, matériaux et métier <sup>50</sup> grâce au développement technologique et scientifique. Les technologies de construction et les matériaux disponibles au moment de la construction du phare ont donc fortement influencé la diversité de la conception architecturale des phares moderne, que ce soit par rapport à l'ordre formel comme à l'ordre structurel [14] :

- La forme circulaire est souvent adoptée grâce à sa capacité structurelle de résistance face aux vents. Mais d'un point de vue fonctionnel, l'organisation dans espace circulaire est compliquée.

---

<sup>50</sup> Les phares étaient conçus des fois par les ingénieurs, autrefois par les marins ou par des architectes.

- Malgré que la forme carrée soit pratiquement facile à réaliser, et permet au concepteur une liberté dans la distribution des espaces intérieurs, mais son faible comportement vis à vis du vent a limité son emploi pour les tours des phares.
- La forme octogonale est obtenu par la combinaison entre le carrée et le rond, cette solution a permit d'augmenter la résistance au vent toute en offrant une meilleure utilisation des espaces.

Toutes ces formes et conceptions architecturales et structurelles sont développées dans la partie qui suivra sur les matériaux.

#### 1.3.1.2. La hauteur des tours

Par sa hauteur, le phare représente un point remarquable sur le paysage et un déterminant du territoire maritime. Cela démontre que la dimension de la hauteur est un facteur important dans la géométrie des phares, donc elle dépend principalement de la portée du feu placé en haut pour que la lumière puisse être vue depuis la mer et dépend également de l'élévation au-dessus du niveau de la mer du sol sur lequel est construit le phare.

Les tours de signalisation maritime utilisé durant plusieurs siècles ont put assurer leurs fonctions maritimes de signaler la terre et éclairer la mer grâce à leur hauteur importante. Les anciens ont atteint la hauteur nécessaire pour chaque phare en utilisant la conception de la tour en multi-étage ou la colonne en plate forme. Concernant les phares modernes, leur hauteur suit les normes de la navigation maritime et dépend de plusieurs paramètres. A partir de la formule suivante (1) qui permet de calculer la portée géographique d'un phare on peut déduire la hauteur à laquelle doit être placé la source lumineuse [6].

$$D = \frac{\sqrt{2RH}}{0.84} \quad (1)$$

Ou **D**: la longueur de la tangente (portée géographique); **R**: le rayon de la courbure de la terre, et **H**: la hauteur du point de départ de la tangente.

Généralement, les phares avaient tendance à avoir une hauteur très importante pour projeter la lumière de nombreux miles en mer, alors qu'on peut trouver des tours courtes en raison de leur situation soit sur des falaises assez hautes ou pour des causes climatiques ; à l'image des phares de la côte Ouest des Etats Unis, où les nuages sont très bas et les phares ont une faible hauteur afin de pouvoir transmettre la lumière en dessous des nuages [34].

### 3.3.2. Matériaux

Le choix des matériaux de construction pour tous les types de structure a été principalement motivé par une combinaison des avancées technologiques et de la disponibilité des ces matériaux<sup>51</sup>. Les bâtiments des phares ont été construits avec une variété de matériaux développée au fil des siècles : la pierre, la brique, le bois, le béton, le fer, l'acier et même aluminium et la fibre de verre, cette variété en termes de matériaux et techniques constructives a fortement influencé la diversité des formes architecturale des phares.

Les premières tours de signalisation maritime étaient pratiquement en brique ou en maçonnerie de pierre comme la majorité des constructions gréco-romaines et même dans le moyen âge, l'utilisation du bois dans la construction des phares étaient moins que la pierre ou la brique à cause de sa faible durabilité face aux conditions des territoires marins. Au cours du XVII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècle, plusieurs avancées technologiques dans la construction ont eu lieu, y compris de domaine de la construction des phares, et des nouveaux matériaux de construction ont été développés tel que le ciment de Smeaton<sup>52</sup>, le béton, l'acier, la fibre de verre. Ces inventions ont révolutionné les techniques constructives et de nouveaux types de phares ont été conçus : les tours métalliques ou les phares squelette et les phares en béton armé.

---

<sup>51</sup> Les matériaux de construction était soit extrais et exploités directement du site d'intervention fabriqués le plus près possible.

<sup>52</sup> John Smeaton : le fondateur de la profession d'ingénieur civil en Grande-Bretagne et concepteur du 3<sup>ème</sup> phare d'Eddystone, il a développé un mortier hydraulique qui serait mis en place dans l'eau lors de la construction des phares en plein mer.

### 3.3.2.1. Les phares en maçonnerie de pierre /de brique

La maçonnerie était une technique de construction fondamentale durant plusieurs siècles. Elle est considérée parmi les techniques constructives historiques les plus durables [34]. La maçonnerie a été utilisée dans la construction des tours de signalisation maritime pour un double raison : tous les bâtiments majeurs pendant l'époque gréco-romaine et au moyen âge étaient construits en maçonnerie, la robustesse et la durabilité de la maçonnerie face aux conditions maritimes difficiles. Les tours des phares construites en moellons de pierres ou en briques sont plus récents généralement par rapport à celles en pierres de taille.

Le choix du type et de l'emplacement de la pierre est très important : la pierre dure était sélectionnée pour les murs extérieurs en raison de sa résistance à la fureur et la puissance des vagues. Dans le cas des phares situés sur des roches basses en mer ou sur des rebords sous-marins, les pierres sont imbriquées et intégrées dans le sol. La pierre tendre était adoptée pour les murs intérieurs et l'ornementation. Les structures des tours en briques étaient pratiquement mixtes, la superstructure en briques et les fondations en pierres et en béton [5].

La configuration géométrique et la technique constructive des murs élancés en hauteur comme ceux des tours et des phares jouent un rôle très important dans leur stabilité structurelle. Souvent, les murs des tours construites en maçonnerie de pierre ou de brique suivent l'une des deux configurations constructives [34]:

- Un mur creux de cavité composé d'un double paroi, le parement extérieur prend la forme du phare tandis que la paroi intérieure est généralement un cylindre qui supporte l'escalier. Entre les deux parements on trouve souvent des murs de liaison en créant des vides, ces derniers sont ventilés pour encourager le mouvement de l'air à l'intérieur du mur, Les vides dans cette configuration constructive permet d'alléger le poids du mur tout en conservant la stabilité structurelle du mur. Les grandes tours sont généralement construites avec des murs à double parement. La maquette du phare d'Alexandrie dans la Fig.3.9 présente cette technique constructive

dont les murs de la tour ont été construits à double paroi avec un vide intérieur.

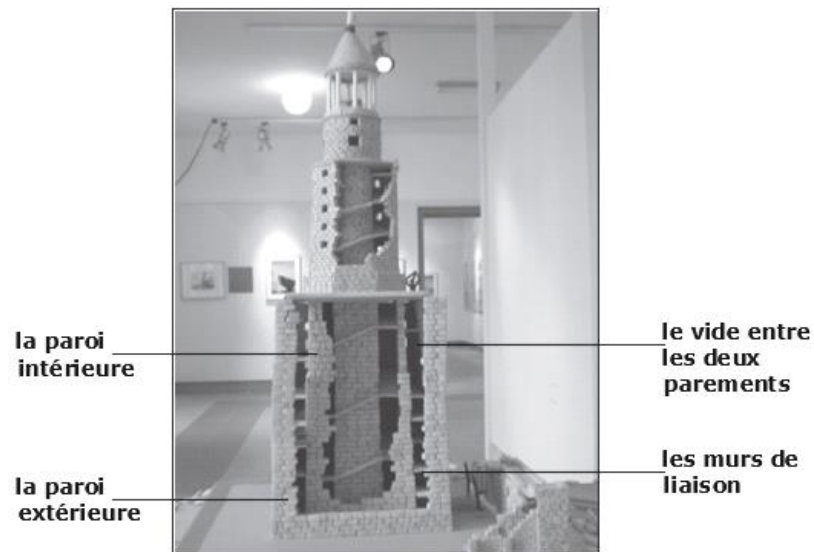


Figure 3.9 : La technique des murs à double parois présentée par Ivan Fioramonti sur la maquette du phare d'Alexandrie [60].

- Un mur solide composé d'un seul parement plein dans toute l'épaisseur du mur. La technique à paroi solide était moins utilisée par les Grecs et les Romains et même pendant le moyen âge. Les tours à mur massif étaient caractérisées par une faible hauteur, car la section transversale ce dernier et très haut n'est pas suffisamment épaisse pour supporter la lanterne et les escaliers intérieurs.

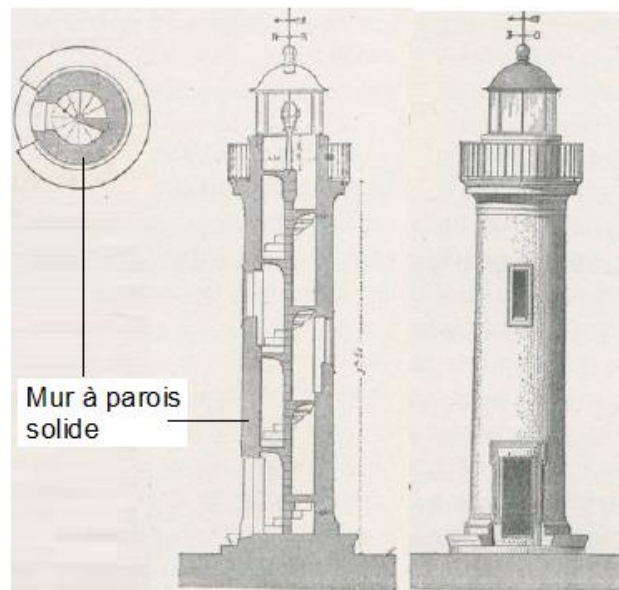


Figure 3.10 : La technique des murs à parois solide « une tourelle de port » [61].

En revanche, la technique de paroi solide a connu une vaste expansion durant la période moderne grâce à la tour de queue d'aronde ou troisième version du phare d'Eddystone construit par John Smeaton en 1759. Les murs de la tour ont été construits par des gros pavés imbriqués, à la fois horizontalement et verticalement en formant un monolithe de grand poids, et afin de réduire l'épaisseur de la tour vers le haut, Smeaton a incurvé la tour vers l'intérieur sur une pente douce, Ce profil a pu améliorer la stabilité structurelle mais il a aussi permis de détourner une partie de l'énergie des vagues loin des murs. Le phare de Smeaton a représenté un prototype qui a influencé tous les ingénieurs ultérieurs, et une invention révolutionnaire dans la conception des phares moderne jusqu'à ce que le béton et l'acier soient apparus [40].



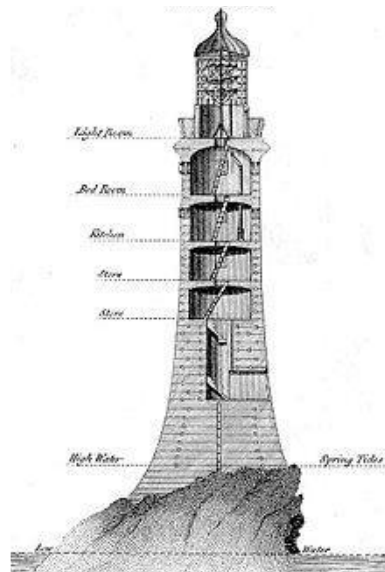


Figure 3.11 : Le phare d'Eddystone construite par John Smeaton [40].

La technique de queue d'aronde a été aussi utilisée dans la structure horizontale, dont la lanterne était généralement supportée par un plancher de type voute plate en maçonnerie de pierre, la Figure 3.12 présente les planchers de quelques phares anglais célèbres selon des configurations géométriques différentes.

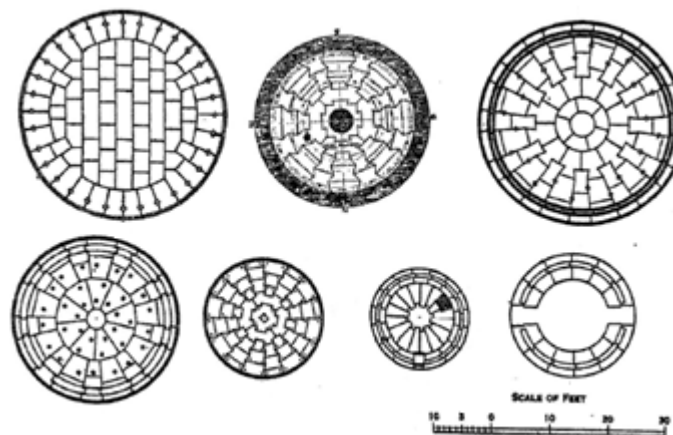


Figure 3.12 : Exemples des voutes plate en pierre de taille [62].

### 3.3.2.2. Phare en bois

Pratiquement, les premiers sites éclairés par des feux avaient comme structure porteuse des tours en bois qui ont été remplacées ensuite par des structures durables en maçonnerie [55]. Les phares en bois étaient aussi utilisés dans des

cas d'urgence pour remplacer une structure lumineuse permanente détruite [5], Cependant, la construction d'un phare en bois comme structure permanente était aussi un choix [34]. En effet, le bois comme matériau utilisé pour la construction des phares vient en deuxième position après la maçonnerie de pierre ou de brique. Les plus anciennes tours en bois ont été brûlées ou remplacées au fil du temps car elles sont toujours moins permanentes que les phares en maçonnerie qui ont pu durer plusieurs siècles [5].

Les ingénieurs et les architectes ont conçu un ensemble impressionnant de phares en bois, ces tours étaient construites avec des cadres ou des poteaux en bois dur préfabriqués et assemblés en formant le squelette de la tour. Le design des phares en bois est généralement en pyramide tronquée carrée, octogonale ou hexagonale en plan, ou en cône circulaire tronqué, encadré avec des poteaux en bois et recouverte soit d'un remplissage en maçonnerie de pierre ou brique ou par un revêtement en panneaux du bois ou du fer qui donne à la tour une forme effilée.



Figure 3.13 : Les différentes formes des tours en bois : (a) la tour carrée de Boar's Head <sup>(53)</sup>, (b) la tour octogonale de Cleveland-point <sup>(54)</sup>, et (c) la tour ronde de Lady Elliot Island <sup>(55)</sup>.

---

<sup>53</sup>© wikimedia.

La figure 3.14 présente le système constructif d'une tour en bois, l'ossature est composée des cadres durs et articulés en bas à une base en fer et en béton massif. Le revêtement de la tour est en acier galvanisé sous forme de plaques roulées qui donnent la forme conique. Les dalles sont construites avec des solives en bois, l'escalier tournant qui mène à la lanterne est aussi en bois dont les marches sont encastrées dans un tube vertical en bois au centre de la tour tandis que la fondation est en maçonnerie de pierre [63]. Cette conception en bois avec une fondation massive, une base d'articulation en fer et une structure porteuse en bois a pu fortement améliorer la rigidité, la résistance et la durabilité des tours en bois.

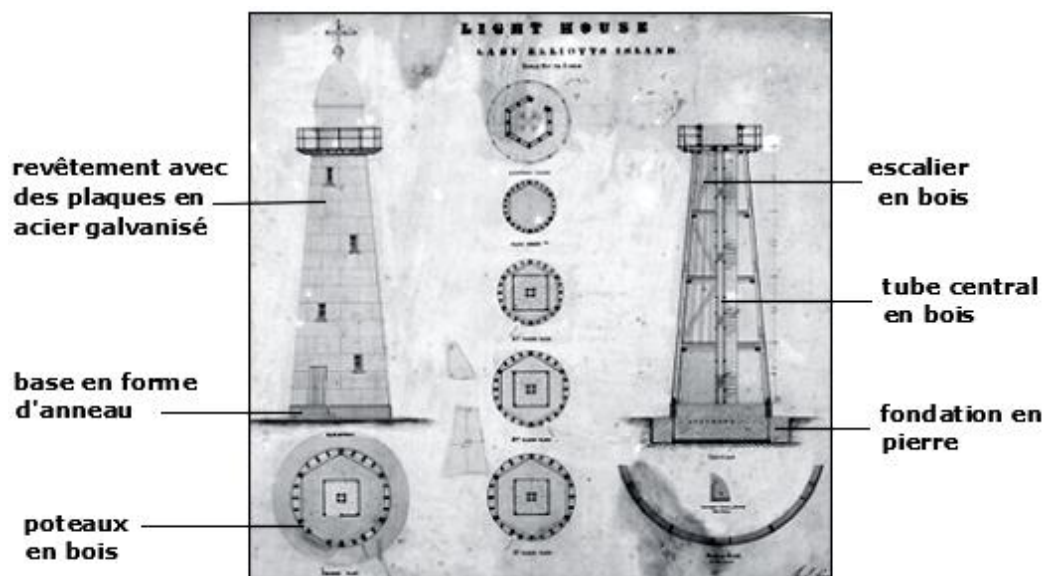


Figure 3.14 : les éléments constructifs d'un phare en bois « Le phare de Lady Elliot Island » [63].

Malgré que la construction des tours en bois avait beaucoup de complications en termes d'équilibre structurel, de durabilité du bois comme matériau et de résistance aux charges des vagues et du vent, et aussi la faible hauteur de ces bâtiments, les phares en bois ont en revanche l'avantage du faible coût, la facilité de fabrication, et la possibilité de déplacement ou de remplacement dans les cas des territoires maritime soumis à de violents phénomènes d'érosion [55].

<sup>54</sup>© lighthouses.org.

<sup>55</sup>© pinterest.

### 3.3.2.3. Les phares métalliques

Avant l'introduction du fer dans le domaine de la construction, l'implantation d'une haute tour en maçonnerie ou en bois nécessite un site rocheux ou généralement un sol stable et solide pour pouvoir soutenir le poids important de cette structure lourde. Cependant, il y a souvent des territoires maritimes et des hauts-fonds situés au large qui doivent éclairer et qui sont caractérisés par un sol ou un fond instable boueux et / ou sableux où l'édification d'une lourde tour est impossible et ces risques maritimes sont indiqués par une bouée lumineuse ou un bateau-lumière [34].

Vers le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, le domaine de la construction des phares a connu un essor technologique très important. Ces nouvelles techniques de construction étaient dépendantes principalement de la préfabrication du fer. C'est ainsi que de nouveaux types des tours en fer ont été développées avec de nombreux hybrides et variantes. La famille architecturale des phares métalliques se divise en deux « espèces » : le treillis de poutrelles métalliques ou le type de tronc ajouré et le tube ou le type de tronc solide qui présente le modèle anglais [64]. En parallèle à cette variété typologique, le fer a été aussi utilisé dans une variété de ses commerciaux alliages manufacturés selon les circonstances: la fonte, l'acier, le fer forgé, le fer galvanisé et l'acier inoxydable. La fonte était un choix courant pour les constructions métalliques dans les climats humides en raison sa résistance à la corrosion qui est relativement plus grande que celle de l'acier [34].

Le phare de fer a été introduit dans un premier lieu en Grande-Bretagne grâce à la maîtrise technique du travail du métal, un commerce d'exportation international des phares en fer s'est développé par la Grande-Bretagne, la France et les États-Unis vers le monde entier. Vers la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, les tours métalliques ont été fabriquées localement presque dans tous les pays et au début du XX<sup>ème</sup> siècle, le phare en fer avait complètement laissé sa place aux phares en béton [64].

L'utilisation des tours en fer était favorisée non seulement en raison de leur faible coût par rapport au prix des structures en maçonnerie ou en bois, mais aussi pour la rapidité de leur montage ou démontage si la structure a été compromise par l'érosion d'où vient leur nomination « les phares mobiles » [55], la résistance aux incendies et vibrations des vagues ou des tremblements de terre.

#### 3.3.2.3.1. Phares à tour ajourée

Les tours en treillis ou les phares squelettiques en métal se ressemblent plus à une tête à clapet de mine <sup>56</sup> avec une plate-forme portant la lanterne et le logement des gardiens. La forme ajourée a été choisie comme solution pour supporter les lumières sur les fonds instables ou non sécurisés : mous, sableux et les hauts fonds car elle est moins touchée par les vagues. Les exigences essentielles de cette conception en squelette sont : le bon ancrage dans le sol, la résistance maximale des éléments de la structure et le caractère adéquat des contreventements [64].



Figure 3.15 : Exemple d'un phare ajouré « le phare de Carysfort Reef, au Etats Unis » <sup>(57)</sup>.

---

<sup>56</sup> Ce type des phares métalliques a pris sa naissance grâce à la combinaison de l'ingénieur Walker entre le concept de cadre ajouré avec la semelle à pieu vissé inventé par Alexander Mitchell.

<sup>57</sup> © Lighthousefriends.

Les bâtiments des phares ajourés présentent comme tous les phares en maçonnerie ou en bois plusieurs variétés architecturales en termes de forme, leur structure en forme de treillis se compose d'une colonne verticale centrale entourée d'un nombre de colonnes. La colonne centrale porte un escalier spiral qui mène vers la plate forme où se trouve le logement et la source lumineuse. Les murs intérieurs et extérieurs du logement des gardiens ou la lanterne étant constitués de tôles ondulées et contreventés avec des tiges diagonales.

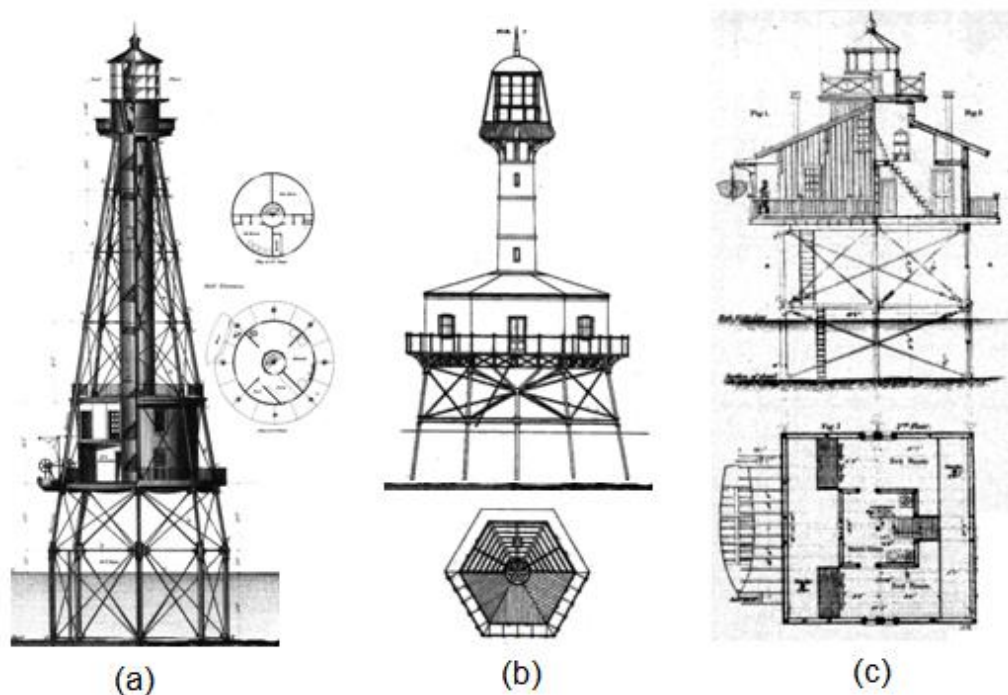


Figure 3.16 : les formes de phares métalliques ajourés : (a) une tour octogonale du Phare de Ship Shoal (b) la tour hexagonale du phare de Tarragone (c) la tour carrée du phare de Screw Pile [64].

Le nombre et la disposition des colonnes extérieurs de la structure défini la forme de la tour, le type standard est octogonal ou hexagonal en plan et rarement carrée. Dans le cas des tours octogonales ou hexagonales, les colonnes sont disposées en pente vers l'extérieur dans la base en formant le squelette d'un cône alors que le type des tours carrées forme un pylône carré. Les tours squelettes terrestre étaient construites sur des fondations conventionnelles en maçonnerie ou en béton, et les fondations à des pieux droits vissés étaient adoptées pour les structures en mer ou dans des endroits balayés par les vagues où les vagues traverseraient la fondation plutôt que de s'écraser contre elle [64].

### 3.3.2.3.2. Phares à tour solide

Le design des phares à tronc solide en forme de coffre métallique fut inspiré des tours rondes tronquées en maçonnerie, mais ils sont plus légers que celles en pierre ou en brique même avec une partie inférieure remplie, et lorsque la tour métallique est exposée directement à la mer, elle réagit de la même manière qu'une tour en maçonnerie.

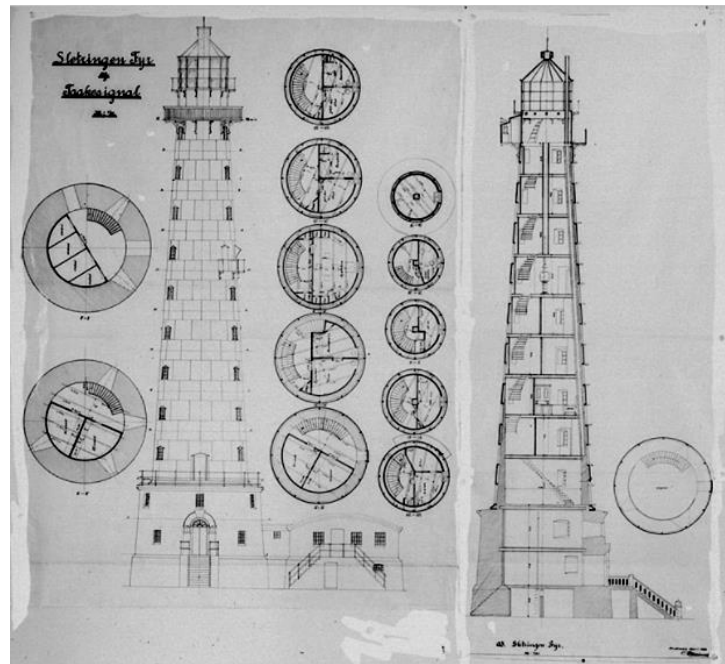


Figure 3.17 : Exemple des phares à tronc solide « phare de Sletringen en Norvège» <sup>(58)</sup>.

Les tours à tronc solide en fer ou les grands tubes en feuilles de tôle étaient composées de plusieurs niveaux de plaques en fer préfabriquées et boulonnées, dont le nombre varie selon la hauteur de la tour. Certaines plaques ont été percées pour avoir des ouvertures. Les planchers étaient aussi métalliques avec des poutres en I et l'escalier en colimaçon était supporté par une colonne centrale. La structure était stabilisée en remplissant sa partie inférieure et a fondation en béton et/ou en maçonnerie [64].

---

<sup>58</sup> © wikipedia.

### 3.3.2.3.3. Les variantes

De nombreux phares métalliques ont été installés dans le monde au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle. Dans un premier temps, la structure des phares métalliques avaient suivis le modèle courant des anglais en treillis ou à tronc solide, ce modèle a présenté à travers le temps plusieurs inconvénients malgré tous ses avantages. Leur plus grand problème c'est la solidité de l'ossature porteuse qui est directement exposée à l'oxydation et l'érosion maritime [55]. En effet, le domaine des phares métalliques a connu un nombre importants des structures hybrides et variantes, on décrit ci-dessous trois types, le modèle français, les tours de Texas ou le modèle Américain et un autre type aussi connu.

Un type exceptionnel et remarquable des phares en fer a été développé par les ingénieurs français<sup>59</sup> à travers le concept de l'enveloppe consommable afin d'avoir une résistante maximale face aux agressions du milieu marin. La structure hybride française était sous la forme d'un polygone très haut avec un gonflement en forme d'oignon dans sa base, elle était composée d'une ossature porteuse en cadres ajourés placés radialement et revêtu par une enveloppe extérieure en feuille de fer renouvelable et remplaçable dans le cas des attaques d'humidité ou de corrosion [55].

Les figures 3.18 et 3.19 présentent deux exemples jumeaux du modèle français conçu par Léonce Reynaud, le premier fut construit en 1861, il se trouve toujours debout sur l'île d'Amédée en Nouvelle-Calédonie. Et le deuxième exemple est le phare sur le plateau de Roches-Douvres en France, il est installé en 1965 mais il a été remplacé par l'actuel phare ensuite.

---

<sup>59</sup> Le concept d'un phare en fer moins vulnérable aux conditions climatique maritime a été développé par l'architecte-ingénieur Léonce Reynaud sous la direction de la Commission des Phares et le Comité des Travaux de la Marine.



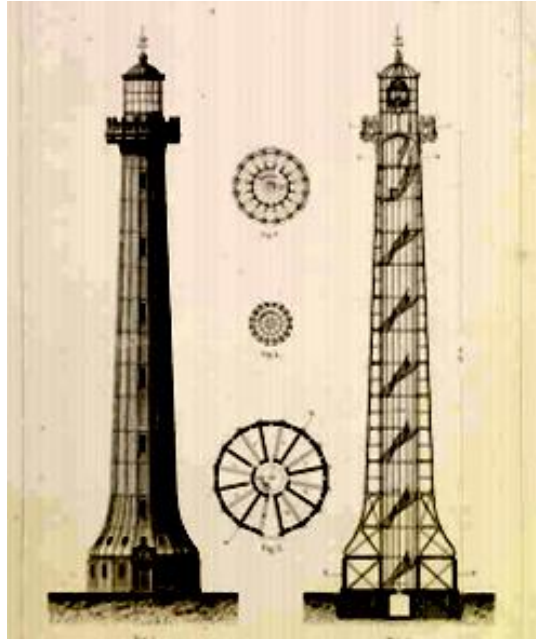


Figure 3.18 : Exemple des phares métalliques hybrides « phare de l'îlot Amédée en Nouvelle-Calédonie » [55].

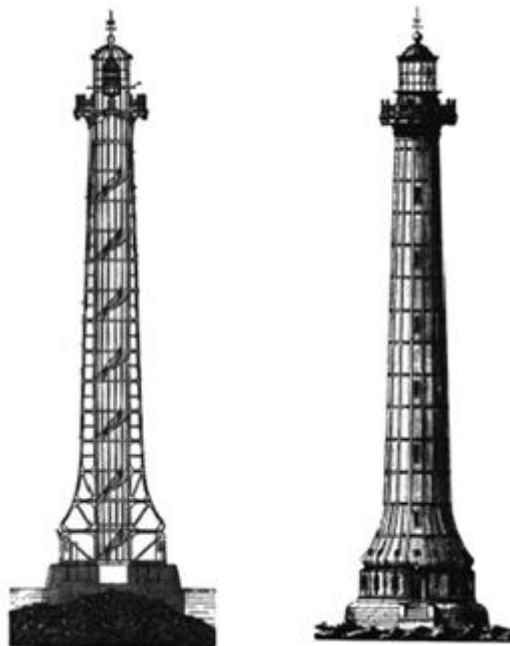


Figure 3.19 : Exemple des phares métalliques hybrides « phare de Roches-Douvres en France » [64].

Le type des phares métalliques appelé la tour de Texas est un développement technologique américain relativement récent par rapport aux autres types de variantes, la forme et la conception de ce modèle est inspiré des plates formes de

forage pétrolier marin utilisées pour la première fois proche de la côte de Texas, d'où il a pris son nom. Les tours de Texas a été utilisé pour remplacer les bateaux-navires installés au large [34]. La structure du phare est un tube métallique installé sur une plate forme carrée en cadre ajouré à quatre pieux.



Figure 3.20 : Exemple des tours de Texas « phare de la baie de Buzzards au Etats Unis » <sup>(60)</sup>.

Le troisième type est le modèle de la tour mixte, la structure du phare rassemble beaucoup plus à un phare ajouré mais avec un tube central plus grand et un dessus très évasé pour pouvoir accueillir les locaux de service, un encadrement métallique en piliers ajouré autour de cette structure solide était ajouté pour la renforcer en donnant la forme d'un phare ajouré [64]. La figure 3.21 présente un exemple des tours mixtes qui est le phare du port Adelaïde en Australie.

---

<sup>60</sup>© briantague.



Figure 3.21 : Exemple des phares métallique hybrides « phare du port Adelaïde en Australie » <sup>(61)</sup>.

#### 3.3.2.4. Phare en béton (non armé et armé)

Dans le domaine de la construction des phares, le béton est considéré parmi les matériaux les plus récent et le plus répandu. Il a pu remplacer la maçonnerie de pierre et de brique [19] et être en concurrence avec le fer. Le béton a été utilisé pour la construction de tous types de bâtiments moderne dès son invention. Cependant, son l'emploi dans la construction des phares suscita des réticences, c'est seulement au début du XXème siècle que le monde des phares a connu ce nouveau matériau qui fut adopté par les ingénieurs [65].

La première forme du béton était un mélange contenant des agrégats de : sable, gravier et maintenus ensemble par un ciment, il est combiné avec de l'eau pour former une pâte, son utilisation pour la construction des phares n'est pas liée à la nouveauté de ce matériau, mais beaucoup plus à sa forte résistance et durabilité, à son cout de construction, et à son avantage d'avoir une structure monolithique facile à entretenir [34]. En revanche, ce mélange n'a pas été la solution miracle car, si le béton était de mauvaise qualité, il se détériore avec le temps, et s'il n'a

---

<sup>61</sup> © pinterest.

pas été enduit, il absorbe l'humidité et lors de gel, l'eau gonfle et provoque des fissurations superficielles et parfois profondes.

Parmi les premiers exemples des phares en béton non armé il y a celui de Port-Saïd en Egypte conçu par la société centrale des bétons agglomérés Coignet, en 1869. Le concepteur a adopté la technique du béton banché non armé. La tour est réalisée en superposant quarante huit anneaux pour atteindre la hauteur de 36,1 m, cette structure similaire aux tours en maçonnerie rassemble en même temps l'élégance à la solidité [65].

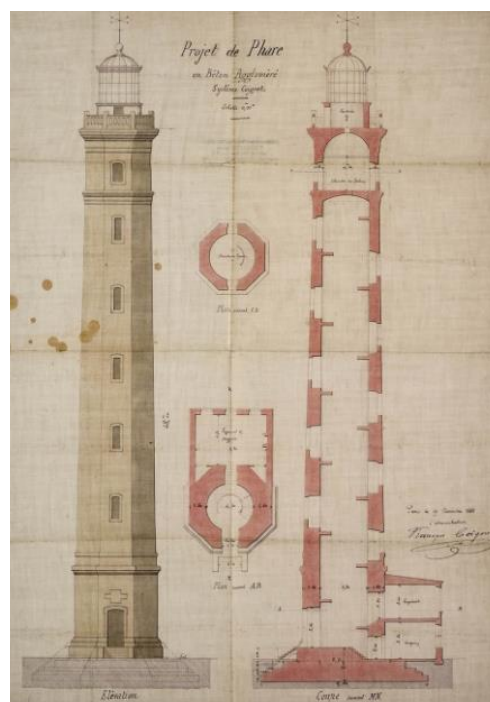


Figure 3.22 : Façade et coupe du phare de Port-Saïd <sup>(62)</sup>.

La forme du béton non armé était généralement utilisé dans le système des fondations en caissons adaptées pour des phares sur les fonds instables, ce type du béton est inventé par l'ingénieur JOHN SMEATON et connu sous le nom « chaux hydraulique<sup>63</sup> » [40]. Les fondations en caisson n'ont pas supportés

<sup>62</sup> © pinterest.

seulement les tours en béton, mais aussi celles en maçonnerie et en acier. Le caisson est formé d'un cylindre en acier ou en fonte ouvert à extrémité, coulé en béton pour obtenir une base solide sur laquelle le phare est construit. Ce type de fondation est plus solide que celle en pile en termes de résistance face aux forces des vagues [34].



Figure 3.23 : Exemple de fondation en caisson, le phare de Butler Flats aux Etas unis <sup>(64)</sup>.

Après le tournant du XX<sup>ème</sup> siècle, le béton a été largement utilisé pour la construction des phares, mais dans sa forme armée<sup>65</sup>, soit coulé sur place ou préfabriqué. Les phares sont généralement construits en utilisant le coulage sur place. L'avantage de cette méthode est qu'une fois le béton durci, le phare devient une structure monolithique [34]. Moins cher et structurellement adapté à ce type de bâtiment, le béton armé a offert la possibilité de réaliser divers formes géométriques, conceptions architecturales, expressions esthétiques; particulièrement pour les phares à terre.

---

<sup>63</sup> Vers la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, Smeaton a développé une forme de béton à séchage rapide capable de durcir sous l'eau, ce dernier est considéré comme la première utilisation du béton moderne en ingénierie.

<sup>64</sup> © lighthouseguy.

<sup>65</sup> On inclut des armatures métalliques dans le béton pour augmenter sa résistance à la traction.



Figure 3.24 : Exemple des phares moderne en béton armé, le phare de Cintrao <sup>(66)</sup>, le phare de la Pointe au Père <sup>(67)</sup>, le nouveau phare de Dellys <sup>(68)</sup>.

### 3.3.2.5. Les phares en fibre de verre (FVP)

Dans l'histoire des phares, le FVP (fibre de verre et la résine de polyester) représentent les plus récents matériaux de construction. Ce type des phares a été construit par des sociétés spécialisée sous forme des tours modulaire [66] tell que montre la Fig. 3.25 (a).

---

<sup>66</sup> © wikimedia.

<sup>67</sup> © pinterest.

<sup>68</sup> © onsm.

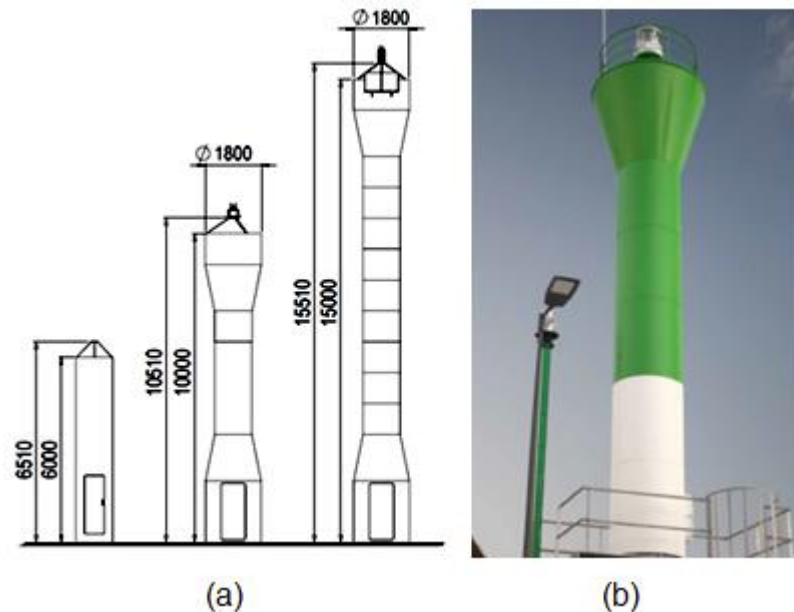


Figure 3.25 : (a) : tours modulaire en FVP <sup>(69)</sup>, (b) : Exemple d'un phare en FVP [66].

L'emploi de ce modèle des phares est lié à : la légèreté et la facilité de mise en œuvre, la capacité de résister aux intempéries et à la corrosion. Grâce à leur conception, les tours en FVP sont considérées en elles des amers marquants le territoire maritime, malgré sa pauvreté architecturale et esthétique.

### 3.3.3. Conception fonctionnelle / spatiale

Le phare est un espace clos, un lieu de travail et de vie. Malgré que les bâtiments des phares se diffèrent en termes de forme et de fonction, mais ils ont tendance à avoir des espaces communs. Une station de phare englobe pratiquement deux fonctions : l'éclairage et l'hébergement, Ces fonctions sont organisées dans le bâtiment du phare d'une manière rationnelle, avec une distribution judicieuse [13], et selon différents configuration :

- La fonction d'éclairage est assurée spatialement par la tour, cette dernière est accompagnée par d'autres fonctions secondaires telles que le stockage, les services techniques et l'administration (Magasin pour l'huile, les

---

<sup>69</sup> © detienne.

ustensiles et les objets d'approvisionnement, les chambre pour le service des lampes).

- La fonction d'hébergement des gardiens ou le personnel de service, n'est pas toujours présente dans le cas des phares sans gardien.

La conception des phares doit autant que possible suivre les critères des fonctions dédiées au phare, le terrain d'implantation à terre ou en mer, et aussi la volonté du concepteur. Selon ces critères la conception des phares prend l'une des deux configurations suivantes : un seul bâtiment compact et rigide (les phares tour, les phares tour avec un bâtiment adjacent), ou un ensemble de bâtiments.

### 3.3.3.1. Les phares tour

La conception architecturale des phares tour représente le cas de tous les phares antique, ceux du moyen âge, et aussi le modèle le plus utilisé durant la période moderne pour les phares isolés en mer. Le bâtiment du phare tour avait des sections variantes : circulaire (la tour de Livourne), carrée (la tour d'Hercule), octogonal (la tour d'ordre de Boulogne) ou à sections successives différentes (le phare d'Alexandrie).

L'organisation spatiale à l'intérieur de la tour est pratiquement typique et semblable dans tous les phares, un escalier, en bois, en maçonnerie ou en fer soit enroulé autour d'une colonne centrale ou en spirale encastré aux murs de la tour Fig. 3.21 (a), La salle de la lanterne où la lumière fonctionne se trouve en haut de la tour est atteinte par une échelle. Les locaux des services techniques et les logements des gardiens dans les rares cas où la tour est utilisée aussi comme résidence pour les gardiens, sont situés en bas de la tour et placées verticalement sur un ou deux étages selon la hauteur de la tour Fig. 3.21 (b). Lorsque le phare est établi sur un écueil ou sa base est baignée par les eaux, les logements de gardien sont soit installés en haut de la tour Fig. 3.21 (c), ou établis sur le continent, proche du port afin de faciliter la communication avec le phare [20].



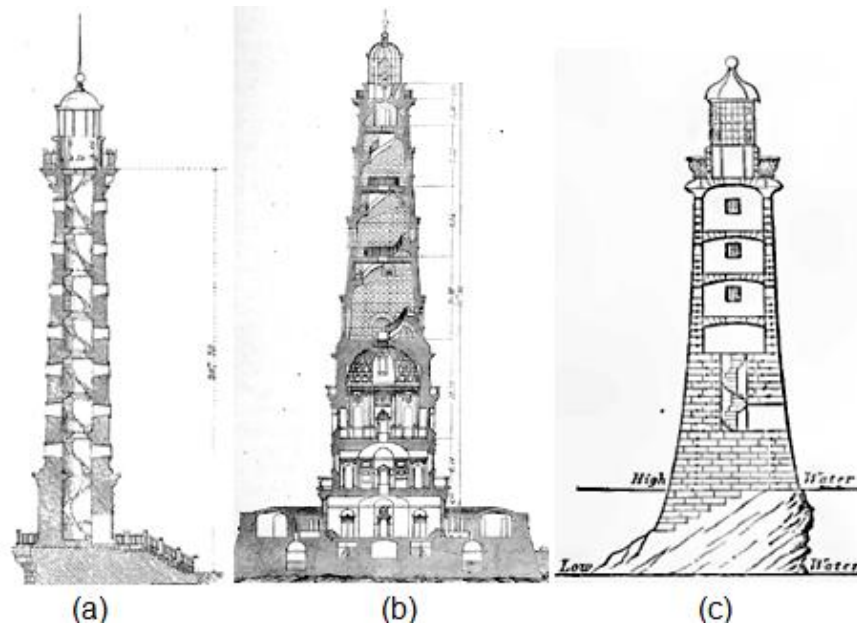


Figure 3.26 : Exemple des phares tour : (a) tour à escalier spiral [6], (b) tour avec une base réservée aux services et logement [13], (c) tour sur un écueil [37].

### 3.3.3.2. Les phares tour avec un bâtiment adjacent

Historiquement, cette typologie des phares est plus récente et moins diffusée que celle des phares tour. Le bâtiment est composé d'une tour, à laquelle s'accroche un corps du bâtiment, au dessous de la tour en formant une base ou au pied d'elle dont la tour est enclavée en partie dans le corps du logis. La forme et la disposition de ces deux entités prennent différentes manières selon les critères choisis par le concepteur. La tour dans ce cas des phares est réservée seulement pour assurer la fonction de signalisation, alors que le bâtiment adjacent englobe les logements, les magasins et les locaux de service, ces derniers sont distribués différemment suivant la forme du phare [6].



Figure 3.27 : Articulation tour-bâtiment adjacent : (a) tour au centre bâtiment <sup>(70)</sup>,  
(b) bâtiment accolé à la tour <sup>(71)</sup>.

Le bâtiment adjacent se trouve souvent en bas de la tour sur un ou plusieurs étage, l'hébergement des gardiens est placé de manière que, si le gardien est obligé de se lever pour s'assurer de l'état de la flamme, il ne serait pas exposé à sortir du lit la nuit ou dans les mauvais temps. Pour les phares métalliques portés par des pilotis, le logement des gardiens est généralement placé en haut de la structure, prêt de la lanterne.

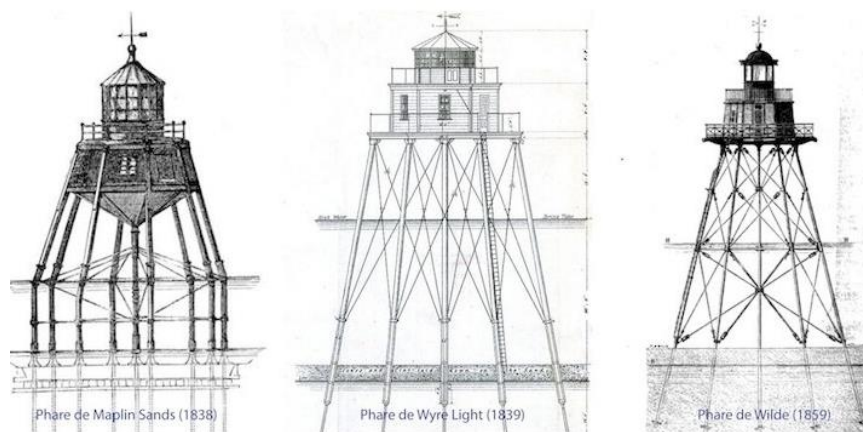


Figure 3.28 : Exemples des phares métallique ou l'habitation est à proximité de la lumière <sup>(72)</sup>.

<sup>70</sup> © locations.filmfrance.

<sup>71</sup> © augredesbalades.

### 3.3.3.3. Les phares tour et ensemble de bâtiments

Le concept de séparer spatialement les différentes entités fonctionnelles d'un phare est adapté seulement pour les phares à terre, où la surface déterminée pour la construction est suffisamment spacieuse, une station de phare comprend : la tour et son espace de travail, les bâtiments auxiliaires (logement des gardiens, bâtiment de signal de brouillard, maison de pétrole, bâtiments de stockage, grange, bateaux hangar), et les éléments du paysage (bermes, allées, les espaces plantés, la cour), ces aménagements paysagers extérieurs participent à la monumentalité du phare, ils sont parfois très riches et des fois plus sobres [14], telle que représente la Fig. 3.29.

La composition générale de l'ensemble est très souvent symétrique, la tour comme élément principal occupe la place centrale face à l'entrée, les logements des gardiens sont placés à proximité de la tour de telle sorte que le feu soit en vue d'une des fenêtres [14], et le reste des blocs de service technique sont organisés autour de la tour suivant des dispositions différentes. Cette mise en valeur de la tour et la répartition symétrique des structures auxiliaires offrent à l'ensemble une présence monumentale et permet d'améliorer le cadre de vie des gardiens à travers la distinction entre les pièces d'habitation et celles dédiées au travail.



Figure 3.29 : Exemples des phares tour et ensemble: le phare du Créac'h <sup>(73)</sup>, le phare de Eckmühl <sup>(74)</sup>.

---

<sup>72</sup> © nord-decouverte.

### 3.3.4. Expression esthétique

L'aspect esthétique et décoratif <sup>75</sup> des phares anciens a été placé au même niveau que l'aspect structurel de l'édifice ; mais durant la période moderne, l'ornementation des phares vient généralement en position au dessous de l'aspect technique [67]. Au fil du temps, la portée esthétique dans le bâtiment du phare a été influencée par : le développement des matériaux de construction, l'évolution des techniques constructives, et surtout par le courant ou le discours architectural de la période dans laquelle le phare est conçu. Le concept de standardisation des phares et le modèle du phare unitaire [14] développés dans la période moderne, n'ont pas pris en considération la touche esthétique dans la conception des phares.

L'importance du phare comme construction royale durant l'antiquité et le moyen âge lui a donné un aspect purement monumental et symbolique, ce qui explique le soin discret apporté à l'ornementation. Le bâtiment du phare a été conçu de façon à être un élément singulier dans son territoire, il est reconnu par ses: conceptions géométriques, typologies constructives, expression esthétique, et d'autres qualités architecturales. Chaque phare présente donc une merveille d'architecture, il expose une richesse en termes de décoration et d'ornementation intérieure comme extérieur qui le distingue des autres phares. Le fameux phare d'Alexandrie et celui de la lanterna en Italie représentent des exemples riches en ornementation et décoration. Même pour le cas des phares modestes, ils ont été aussi traités de façon monumentale avec des détails loin d'être grandioses sont plutôt simples et utilitaires.

---

<sup>73</sup> © vjoncheray.

<sup>74</sup> © stichelbaut.

<sup>75</sup> La décoration et l'ornementation est un caractère architectonique du bâtiment, il a pour but de révéler et de mettre en évidence la construction sans s'autoriser à toucher sa stabilité structurelle.

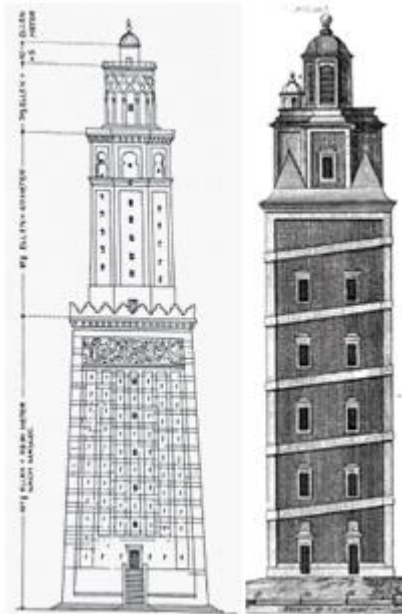


Figure 3.30 : Exemples des phares anciens : le phare d'Alexandrie [22], la tour d'Hercule [15].

En se penchant sur la question d'esthétique et d'ornementation des phares modernes, de nombreux débats entre architectes, ingénieurs et marins de l'époque ont été provoqués. Les ingénieurs des phares modernes ont adopté la pratique de la coupure entre l'objet architectural et son environnement [55], le phare pour eux était un bâtiment qui s'adressait au petit cercle des professionnels : architectes et ingénieurs, surtout quand il est situé loin de la population. Ils se sont basés pratiquement dans leurs conceptions sur la solidité structurelle et le caractère utilitaire et la standardisation des bâtiments, alors que tous les éléments d'ornementation superflus avaient été supprimés. En regardant la majorité des tours métalliques, nous voyons un objet générique qui peut être acheté sur catalogue, il est composé de poutrelles, boulons, et tôles en formant un squelette sans aucune valeur esthétique [55].

La deuxième vision sur l'aspect esthétique des phares modernes est celle de la majorité des architectes, elle consiste à donner le caractère monumental, symbolique et esthétique aux phares. Les architectes ont conçus des bâtisses riches d'ornementation et pleines d'éléments de décoration extérieure comme intérieure. Ces derniers sont généralement des éléments du vocabulaire néo-classique : les corniches, les pilastres, les chaînages d'angles, les frontons, les

entablements, les architraves et parfois les sculptures, qui sont importantes pour définir le caractère historique du phare. Parmi les phares modernes exceptionnels qui sont conçus par volonté d'être des monuments historique, on cite le phare de Cordouan, il présente une œuvre architecturale riche en éléments de décoration et d'ornementation [14].



Figure 3.31 : La décoration intérieur et extérieur du phare de Cordouan <sup>(76)</sup>.

Selon REYNAUD, DURAND et plusieurs autres architectes, le phare est considéré comme un établissement d'utilité public en raison de ses dimensions et par son apport à la société maritime [68]. Cette vision de l'aspect esthétique des phares modernes est basé sur une subtile dialectique du beau et du rationnel sans les dépourvus de leur caractère monumental [67]. Les valeurs techniques et fonctionnelles ont été adoptées plus que celles de décoration, dont l'emploi des éléments esthétiques était subtil et avec modération. Le bâtiment du phare présente beaucoup plus: la simplicité géométrique, la stabilité structurelle, l'harmonie des proportions, et une bonne distribution intérieure. L'ornementation et la décoration des phares isolés loin des centres de population sont aussi jugés inutiles et gaspillés, car les visiteurs de ces bâtiments isolés sont seulement le personnel de service [14].

---

<sup>76</sup> © boreally.

### 3.4. Conservation des phares

Aujourd'hui, l'éclairage du littoral s'appuie sur de nouvelles lois et moyens de navigation maritime, la géo-localisation à travers les cartes électronique est employée aussi bien en navigation commerciale qu'en navigation de loisir. En effet, la question posée ici focalise sur l'intérêt réel des phares qui ont perdu pratiquement leur mission principale et suite à cela ils souffrent souvent du manque d'entretien et parfois de l'abandon total.

Lorsqu'on suit une ligne côtière, il est facile de remarquer les variétés architecturales, techniques, de matériaux et paysagères qu'offrent les phares à travers le monde. En effet, chaque phare a son propre langage et son rayonnement [9]. La richesse et le caractère exceptionnel de ces ouvrages d'art se trouvent souvent dans des conditions très difficiles, exposés à des risques liés aux vents très fréquents, aux sels marins, au manque d'entretien quotidien, à l'abandon et parfois au vandalisme en raison de leur isolement géographique [45]. Ces derniers peuvent influencer leur état de conservation. En effet, les conditions citées précédemment justifient les premières mesures de protection des phares, et leur définition comme des «biens d'identité» mettent aussi en évidence l'importance de conserver ces parties constitutives du paysage maritime [9] à travers les différents modes d'intervention : la réhabilitation, la restauration et la reconvention qui est souvent le cas des phares abandonnés.

Les phares constituent la partie la plus visible du patrimoine maritime matériels, qui englobe aussi les structures portuaires, les signaux maritimes, les maisons des marins, les bateaux et les instruments de pêche [69]. Malgré que ces bâtiments emblématiques du patrimoine culturel aient perdu leur fonction principale de signaler la terre, mais en parallèle, ils présentent aujourd'hui d'autres intérêts culturels et économiques, qu'ils: transmettent une histoire passionnante de signalisation maritime, reflètent des valeurs culturelle et éducatives, promeuvent le tourisme et encouragent la durabilité économique.

### 3.4.1. Patrimonialisation des phares

Jusqu'à une date relativement récente, les phares étaient principalement vus, comme des simples bâtiments techniques et leur visibilité ne dépassait pas le cercle des navigateurs de la marine, sauf pour le cas de quelques phares historiques antiques ou médiévaux tels que le fameux phare de Cordouan en France<sup>77</sup>.

La problématique de patrimonialisation des phares est apparue il y a seulement une quarantaine d'années [3], et elle a attendu jusqu'au début du XXIème pour qu'elle puisse se manifester. Cette idée était relativement étrangère par rapport à d'autre type de bâtiments, et donc une analyse des valeurs était utile et nécessaire pour une meilleure connaissance de ce patrimoine vu que le patrimoine culturel des phares s'étend au-delà de la valeur architecturale des bâtiments, à la valeur monumentale et spectaculaire de leur paysage [66]. Ces valeurs se sont imposées dans l'esprit des gens progressivement partout dans le monde.

Au vu de richesse architecturale et patrimoniale qu'ils possèdent les bâtiments des phares, leur protection et conservation étaient un objectif de plusieurs acteurs, associations, des initiatives individuelles et parfois projets<sup>78</sup> dans le monde entier :

- A l'échelle internationale, les chartes de l'ICOMOS qui définit les principes d'analyse et de conservation du patrimoine bâti [70] et les initiatives de l'UNESCO visent toujours à la protection et la conservation du patrimoine maritime y compris le patrimoine des phares [71]. Les manuels de préservation des phares élaborés par l'Association Internationale de Signalisation Maritime « AISM », les projets MED-PHARE s'intéressent à la thématique de la préservation et de la valorisation du patrimoine des phares, sémaphores et balises dans tous les pays de l'espace méditerranéen [45].
- A l'échelle mondiale, toutes les nations maritimes ont adopté une politique nationale de conservation des phares par le biais du classement ou l'inscription

---

<sup>77</sup> Il est classé au titre des monuments historiques dès 1862.

<sup>78</sup> Les chercheurs et les historiens tell que JEAN-CHRISTOPHE FICHOU et FRANCIS DREYER.



dans l'inventaire des monuments historiques, et par les initiatives des associations non gouvernementales. Le premier plan national de protection des phares a été appliqué en Norvège, avec 84 phares classés comme monuments historiques. De 2000 à 2012, des mesures de protection significatives pour la conservation des phares sont adoptées par le ministère de la Culture et de la Communication français qui a inscrits ou classés 90 phares comme monument historique [2]. En 2006, la marine australienne a classé 58 phares dans la liste du patrimoine maritime phares [63]. En Algérie, et dans la même démarche de mise en valeur des phares, le ministère de la culture a classé en tant que patrimoine national «le phare de cap Caxine [72] et le phare de cap Bengut à Dellys [73].

#### 3.4.2. Interventions sur les phares

Le concept d'intervention sur le patrimoine des phares touche un vaste champ d'actions. Il ne consiste pas seulement à définir le type d'opération à suivre pour protéger le cadre bâti en lui-même, mais il doit être intégré dans une politique régionale et territoriale du pays y compris le cadre d'initiatives de promotion du tourisme [54], et le cadre économique.

Trois principales opérations d'intervention sont adoptées pratiquement par les conservateurs du patrimoine des phares : la restauration, la réhabilitation et la reconvention. A cause de son coût de réalisation très élevé et sa complexité comme opération d'intervention, la restauration architecturale est réservée seulement pour les phares exceptionnels qui présentent un nombre important de valeurs architecturales, culturelles et aussi naturelles, à l'image du phare de Cordouan en France [2], le phare du cap Spartel au Maroc et le phare de cap May aux Etats Unis ainsi que du phare du cap Bengut en Algérie. La deuxième démarche de préservation à travers la réhabilitation architecturale a pris sa place dans le cas des phares qui ont toujours gardé leur fonction maritime de signalisation, on cite l'exemple du phare de l'île d'Anacapa et le phare de la Point Bonita aux Etats Unis.

L'inscription ou le classement d'un tel phare au titre de monument historique coïncide le plus souvent avec la désaffectation fonctionnelle de son bâtiment<sup>79</sup>. Afin d'avoir une meilleur récupération et préservation de ces monuments historiques, il est nécessaire de leur redonner une seconde vie et aussi à travers l'organisation des manifestations artistiques, scientifiques et pédagogiques [2]. La recherche d'une nouvelle vocation au phare est appelé la reconversion architecturale. L'architecture des bâtiments des phares est purement fonctionnelle et elle présente une certaine rigidité spatiale intérieur, donc les nouvelles fonctions intégrées doivent s'adapter à cette conditions, ils sont généralement de nature soit culturelle ou touristique :

- Un musée : la tour des Baleines [2] et le phare Chassiron de l'île d'Oléron en France [66], le complexe monumental de la Lanterna en Italie, le phare de point et le phare de Hereford Inlet aux Etat Unis, le phare de cap Caxine en Algérie.
- Une résidence d'artistes : le phare de Tévenec [2].
- Un établissement d'enseignement : le phare de l'île de San Juan aux Etat Unis.
- Un hôtel ou une auberge des jeunes : le phare de cap Spartivento en Italie [74], le phare de Selkirk, le de Saugerties, Phare de Selkirk.



Figure 3.32 : La reconversion du phare de cap Spartivento en Italie [74].

---

<sup>79</sup> La perte d'utilité du bâtiment provoque une déshérence que seul l'intérêt pour l'art et l'histoire et la passion de citoyens.

### 3.5. Conclusion

Pendant de nombreux siècles, les phares revêtent un caractère historique important, même avec l'avènement de la technologie, ils restent une lueur d'espoir pour les marins. Ces colonnes géantes n'atteignent pas un grand public, à cause de leur situation généralement isolées, mais leur isolement dans le milieu naturel augmente plus l'impression et la monumentalité qu'elles exposent sur le littoral.

En règle générale, et au-delà de la diversité des phares qui évoque le dynamisme des formes et des époques, leurs conceptions présentent souvent une tripartition : une base, un fût composé d'une entité ou de deux et un couronnement. Cette association qui a représenté le caractère vertical des colonnes était devenue un résumé de la tradition pour les phares antique, du moyen âge, et même les architectes modernes, à l'image du REYNAUD qui ont adopté le concept de clarté et de vigueur expressive de la colonne dorique [67].

La maçonnerie de pierre ou de la brique ont été pendant plusieurs siècles le matériau le plus employé dans la construction de phares, les phares construits dans l'eau étaient toujours des structures en maçonnerie, comme le phare d'Eddystone en Grande-Bretagne et le phare de St. George Reef aux Etats Unis. Au fur et à mesure que la technologie progressait, le béton et l'acier sont devenus des matériaux largement utilisés. Les phares préfabriqués en fer ou en acier avaient tendance à être utilisés au XXème siècle, ils étaient employés pour construire rapidement des tours sous les plus défavorables conditions maritimes : les hauts-fonds dangereux et les sols sableux. Raisonnablement bon aux marchés et structurellement bien adapté au climat maritime, l'emploi du béton offre des conceptions esthétiques particulièrement pour les phares à terre.

Les phares représentent les rayons d'espoir et de lumière le long de la côte, ils font partie intégrante de notre histoire, notre héritage et de notre patrimoine, à travers leurs structures exceptionnelles et aussi leur environnement naturel très riche. Tous les phares méritent d'être conservés non seulement en raison du rôle qu'ils ont joué, leur richesse architecturale et technique, mais également de leur potentiel touristique pour l'avenir. Ce patrimoine qui a progressivement peuplé le

territoire maritime se trouve face à des conditions difficiles qui nécessitent des interventions de protection et de préservation et des initiatives de mise en valeur grâce à leur attraction extraordinaire toute l'année, et particulièrement pendant la saison touristique.

## **CHAPITRE IV.**

### **LES PHARES EN ALGERIE**

#### 4.1. Introduction

Malgré que le nombre important des phares qui matérialise la façade maritime algérienne, fasse partie de l'héritage colonial des XIXème et XXème siècles, où la navigation maritime était marquée par la mise en place d'un réseau d'éclairage moderne, l'origine de la pratique de signalisation maritime le long des côtes algériennes remonte plus loin, vers l'Antiquité. En effet elle est confirmée soit par les traces archéologiques découvertes sur site, ou par des indices d'existence dans la littérature [26].

Les phares, lumières de notre littoral algérien depuis plus d'un siècle et demi, présentent le fruit de l'acte colonial qui a voulu confirmer sa présence et son progrès technique dans le domaine de la signalisation maritime. Ces monuments architecturaux seront abordés successivement dans ce chapitre, en évoquant l'aspect historique, architectural, paysager et esthétique, qui fait preuve de leur durabilité et leur résistance à l'effet du temps. Avec un aperçu sur l'éclairage des côtes algériennes aujourd'hui et les phares construits après l'indépendance.

#### 4.2. La signalisation maritime en Algérie avant le XIXème siècle

##### 4.2.1. Aperçu historique

Avant que les phares prennent la forme d'un réseau lumineux, hiérarchisé, et uniformément réparti sur la façade maritime algérienne pendant la période coloniale, comme dans tous les pays de la Méditerranée, il faut signaler qu'il existe des indices sur l'existence des structures de signalisation maritime sur la cote algérienne durant l'Antiquité. Certes elles sont rares, à l'exception de quelques traces sur certaines tours à feu [26]. Selon KEN TRETHERWEY, le manque en termes de traces matérielle et recherches qui confirment l'existence des structures de signalisation maritime au Nord Africain et non seulement en Algérie est lié

principalement au non exploitation de cette région d'un point de vue archéologique. Malgré l'absence des traces matérielles, l'auteur confirme l'existence des structure pour la signalisation maritime en Afrique du Nord datent de l'époque phénicienne, et des phares romains à partir du premier siècle avant notre ère dans tous les sites où ils ont développé leurs activités portières[15]. Le long de tout le littoral algérien, KEN TRETHERWEY affirme dans son catalogue des phares l'existence d'un phare antique à Cherchell, et suppose un autre phare à Quiza Cenitana<sup>80</sup> sur les côtes de Mostaganem.

Au moyen âge, la signalisation maritime était assurée essentiellement par des feux au sommet des sémaphores, des tours de vigie telle que la tour de Sidi Brahim<sup>81</sup> à Honaine « *Bordj Sbanioul* ». Entre les XVIème et XVIIème siècles les phares étaient localisés au niveau des forteresses telle que la tour de "*Bordj el Fnar*", phare actuel de l'Amirauté et le phare de *Mers al Kebir* à Oran, des Ribats et parfois sur les mausolées situés dans les hautes collines [75][26].

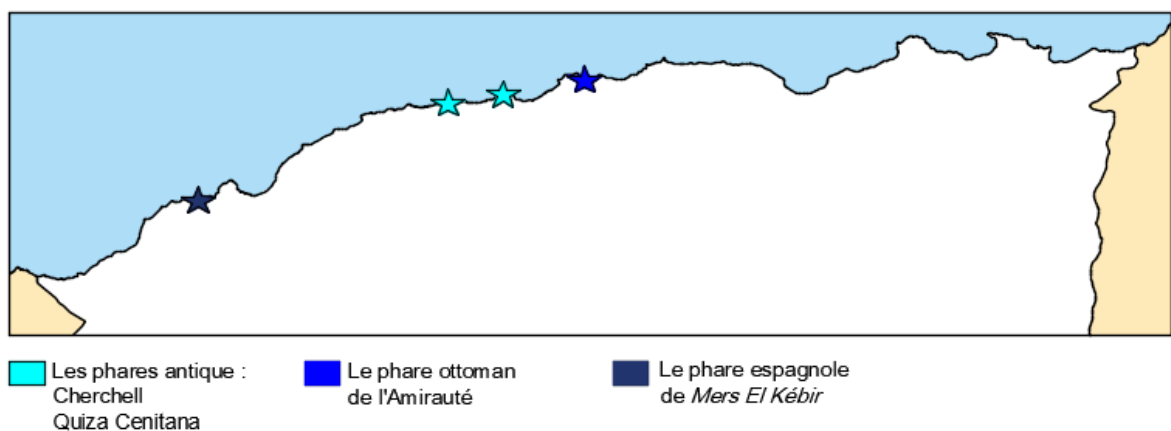


Figure 4.1 : Les phares en Algérie avant le XIXème siècle <sup>(82)</sup>.

#### 4.2.2. Les phares

##### 4.2.2.1. Le phare de Césarée Maurétanie, Cherchell

La ville actuelle de Cherchell est fondée sur un site stratifié, sa fondation est d'origine phénicienne depuis 400 avant J.C, nommée Iol, ensuite Césarée

<sup>80</sup> Un site des ruines qui remonte à l'Antiquité.

<sup>81</sup> Une tour de vigie datant de la période espagnole

<sup>82</sup> © Amari.K

Maurétanie [15][76]. Le phare antique a été probablement érigé au 1<sup>er</sup> siècle [15], au sommet d'une petite île appelée plus tard l'îlot Joinville<sup>83</sup>, son existence fut confirmée lors des fouilles archéologiques fait par M. GASPARY en 1959 sous le phare actuel. Selon Giardina et plusieurs auteurs, le phare antique suit le modèle de l'architecture hellénistique semblable au Pharos d'Alexandrie, une tour octogonale à degré, développée sur trois étages [26][75][76][77], le dernier niveau qui porte le feu a une section cylindrique [15].

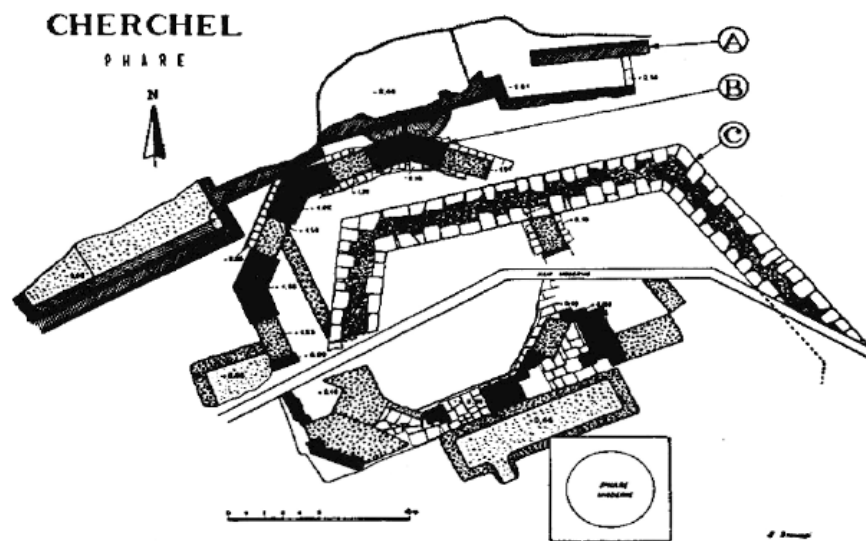


Figure 4.2 : Fouille du phare de l'îlot Joinville à Cherchell par E. Stawski, A : les restes du sanctuaire, B : le phare antique, C : les fondations du fort turc [77].

#### 4.2.2.2. Le phare de Quiza Cenitana, Mostaganem

D'après KEN TRETHERWEY, près de l'embouchure Est d'Oued Chlef, à la Quiza Cenitana, un site antique d'origine phénicien et développé au cours de la période romaine [78]. Un phare fut supposé construit, mais sans aucune trace matérielle encore trouvées dans le site [76].

#### 4.2.2.3. Le phare de l'Amirauté, Alger

Le phare actuel de l'Amirauté ou « *Borj el Fenar* », situé sur l'îlot de la Marine, au port d'Alger est construit à la période ottomane par Hassan-Pacha en 1544. Cette

<sup>83</sup> Des îles artificiellement au continent

tour octogonale est implantée sur les fondations de la forteresse espagnole « le Pégnon»<sup>84</sup> [79], pris en 1520 et démoli par la suite par Khaïr ed-Dîn Barberousse [26][75][80][81]. C'est une tour de 35 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer, sous le modèle des phares antiques, avec la caractéristique des structures de signalisation maritime médiévale par son rôle militaire[26].

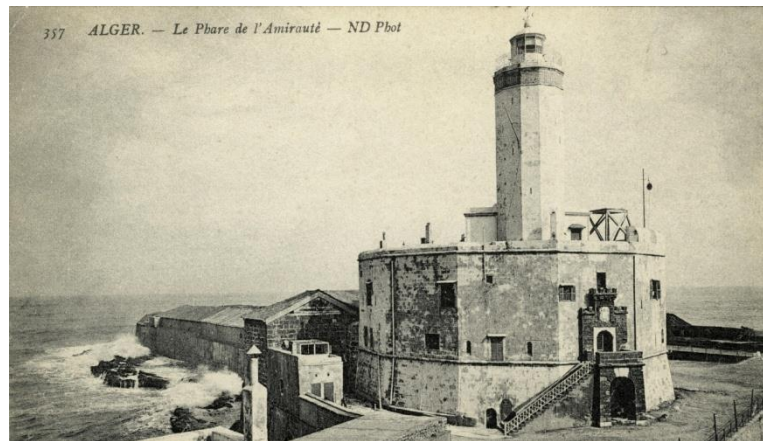


Figure 4.3 : *Bordj el Fnar*, phare actuel de l'Amirauté à Alger <sup>(85)</sup>.

#### 4.2.2.4. Le phare de Mers El Kébir, Oran

Durant l'occupation espagnole à Oran, un phare a été construit à la pointe du cap dans l'enceinte de la forteresse de Mers El Kébir vers XVIII<sup>ème</sup> siècle[82][83]. Une tour octogone sur un socle rectangulaire d'une hauteur de 23m [81], ce phare fut détruit pendant la deuxième guerre mondiale.

---

<sup>84</sup> La forteresse avait été construite par le comte de Navarre en 1510.

<sup>85</sup> © alger-roi.





Figure 4.4 : La situation de phare à l'extrémité de la forteresse espagnole de Mers El Kébir à Oran <sup>(86)</sup>.

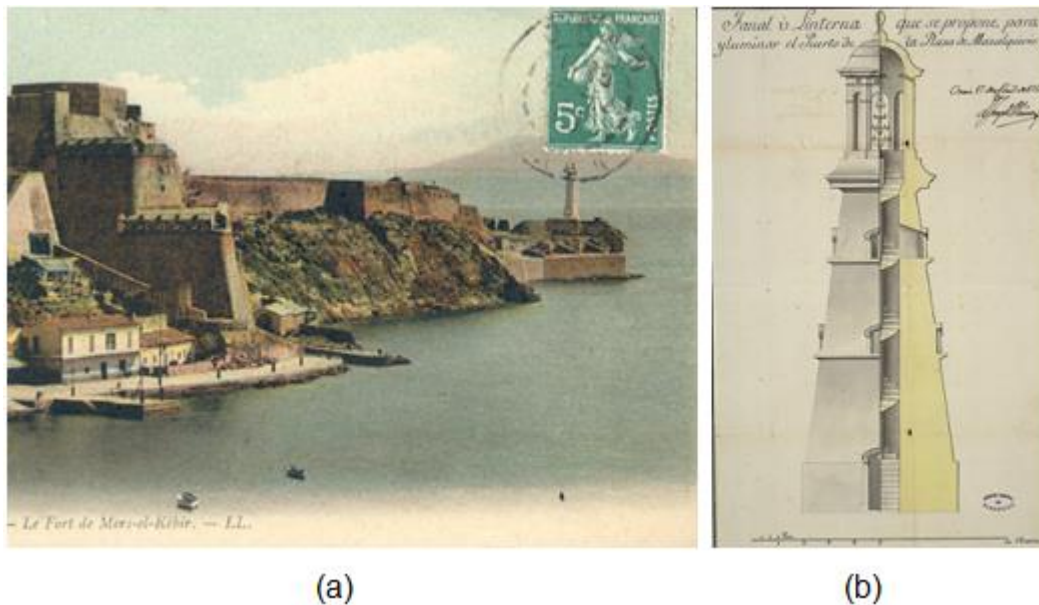


Figure 4.5 : Le phare espagnole de Mers El Kébir à Oran, (a) vue d'ensemble <sup>(87)</sup>, (b) la coupe de phare <sup>(88)</sup>.

<sup>86</sup> © elconum.huma-num.

<sup>87</sup> © vitaminedz.

<sup>88</sup> © elconum.huma-num.

### 4.3. Les phares coloniaux

#### 4.3.1. La politique maritime

Relier la nouvelle colonie à la France, était une politique prioritaire de l'état colonial dès son arrivé en 1830 en Algérie. Cette politique est concrétisée par l'installation des infrastructures nécessaires<sup>89</sup>, les travaux maritimes étaient parmi les premiers projets exécutés en Algérie vu la situation remarquablement défavorable des côtes algérienne avant la colonisation en termes de ports et phares et feux, sauf à Alger où une petite darse fût crée par la marine du Dey [26][84]. L'importance donnée à la construction de ces structures maritimes était liée à :

- Des objectifs militaires, l'état colonial a cherché dans un premier temps de sécuriser les mouvements de troupes en mer en procédant à la mise en place d'un éclairage de secours par le service du génie militaire [26]. Vers 1834, les français ont installé un nouvel appareil d'éclairage au phare de l'Amirauté à Alger [75].
- L'activité économique maritime qui a connu une croissance notable entre les côtes algériennes<sup>90</sup> et les ports de la France, puisque l'intérieur du pays est connu par ses richesses agricoles et minérales destinées à l'exportation vers la France [26][75][82][84].

#### 4.3.2. Histoire de construction des phares coloniaux

Après dix ans de colonisation, une série des commissions à été créée afin de préciser tous les dispositions de construction des structures maritime : entre 1834 et 1846 pour les ports, en 1846 pour les phares [75][84][85]. La commission centrale des phares en 1846 a établi un programme général de l'éclairage de la côte algérienne, qui fixe le nombre, l'emplacement et la nature des phares, ou chaque phare est caractérisé par un code lumineux qui le défère des autres [84][85].

---

<sup>89</sup> Les premiers travaux publics pour l'expansion dans tout le territoire algérien était: Les routes, les ponts, les ports, et les phares.

<sup>90</sup> Notamment Dans le golfe d'Oran, compris entre le cap Falcon, à l'Ouest, et le cap Ivi, à l'Est dans un premier temps.

Vers 1851, la période d'exécution de tous les travaux publique y compris les projets des phares [84], dont le premier construit est celui de cap Ténès en 1861 [75]. Selon les procès verbaux du 1869, seulement 09 phares ont assuré l'éclairage du littoral algérien en 1866. Cette situation est jugée insuffisante, donc pour assurer une meilleure navigation maritime 12 nouveaux phares ont été projetés par la commission centrale des phares, parmi lesquels 11 phares ont été construits entre 1866 et 1870 [86]. Après la construction de phare de cap Bengut en 1881, le premier programme de la commission des phares du 1846 est finalisé et les 21 phares ont été tous allumés [81][84][85][87]:

- A l'Ouest, les phares de : îlot d'Arzew, Ghazaouet (Nemours), cap Falcon, îles Rachgoun, cap Ivi, îles Habibas.
- Au centre, les phares de : cap Ténès, Cherchell, de Tipaza, cap Caxine, cap Matifou, cap Bengut.
- A l'Est, les phares de : cap Carbon, cep de Garde, cap Collo, Ras Afia, cap Rosa, cap de Fer, cap Bougaroun, l'îlot des Singes, et le phare de l'île Srigine.

En plus de ces phares, un nombre important de feux de petite portée ont été installés le long de toute la ligne côtière, surtout près des ports (Oran, Arzew, Cherchell, Alger, Dellys, Bejaia, Jijel, Collo, Stora, Bône et La Calle). Cet ensemble composé de 43 phares et feux vers la fin du 19<sup>ième</sup> siècle, a permis de couvrir tout le littoral et répondre aux besoins de la navigation maritime en Algérie pendant longtemps [84][85].

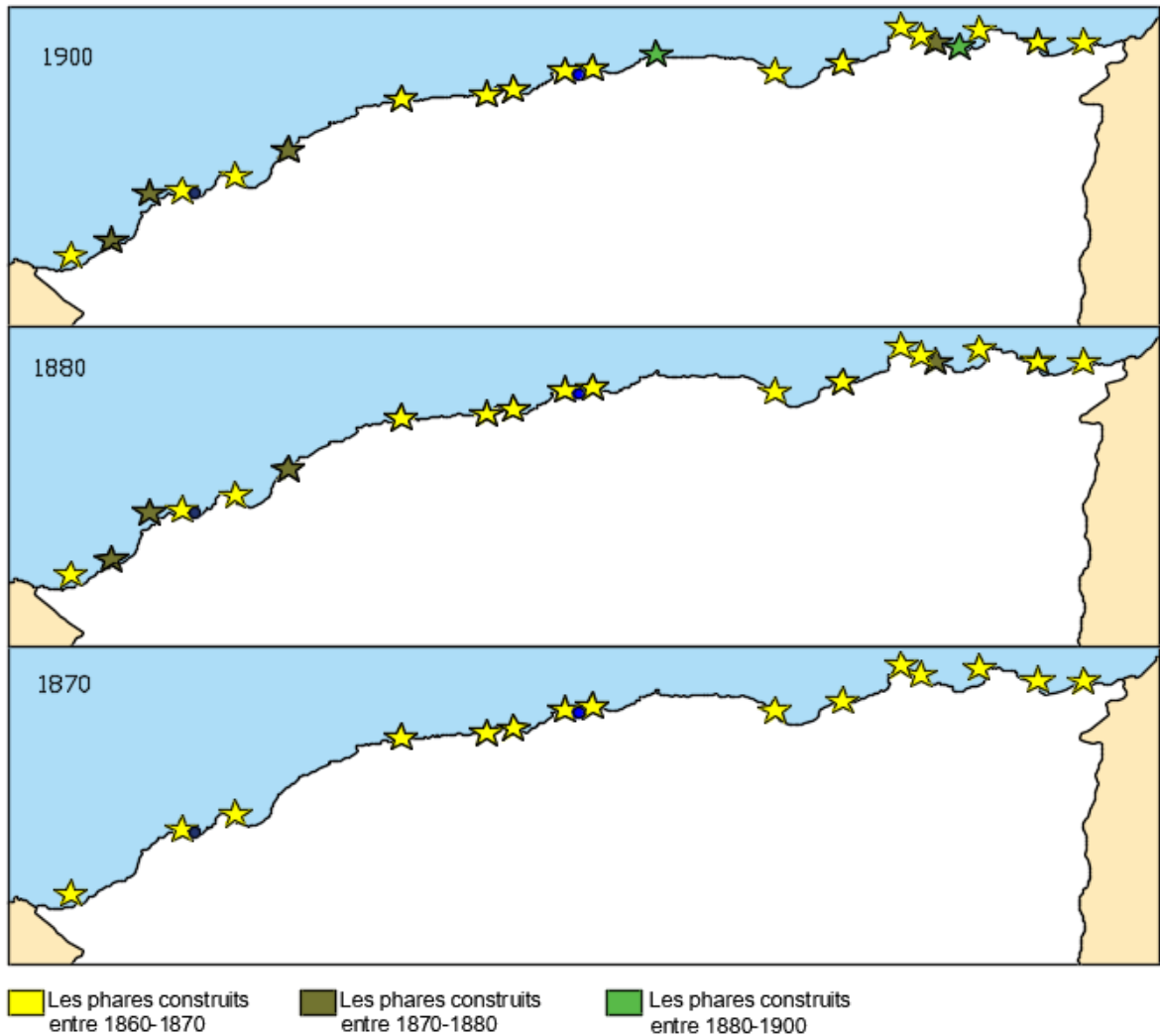


Figure 4.6 : Les phares en Algérie durant le XIXème siècle <sup>(91)</sup>.

En 1946, et après un siècle du premier programme des phares établis par la commission des phares, tout au long du littoral algérien se dressent majestueusement 25 phares coloniaux de navigation maritime. Ces structures étaient réparties selon les autorités coloniales sur trois départements (Oran, Alger et Constantine), avec 03 nouveaux phares édifiés durant la première moitié du XXème siècle, et un autre phare vers le début de la deuxième moitié :

- A l'Ouest, le phare du cap de l'Aiguille [88] .
- Au centre, le phare de cap Corbelin construit en 1946 et cap Colombi près de Ténès, construit plus tard en 1954 c'est le dernier phare colonial en Algérie [75].

<sup>91</sup> © Amari.K

- A l'Est, les phares de : cap Sigli [88].

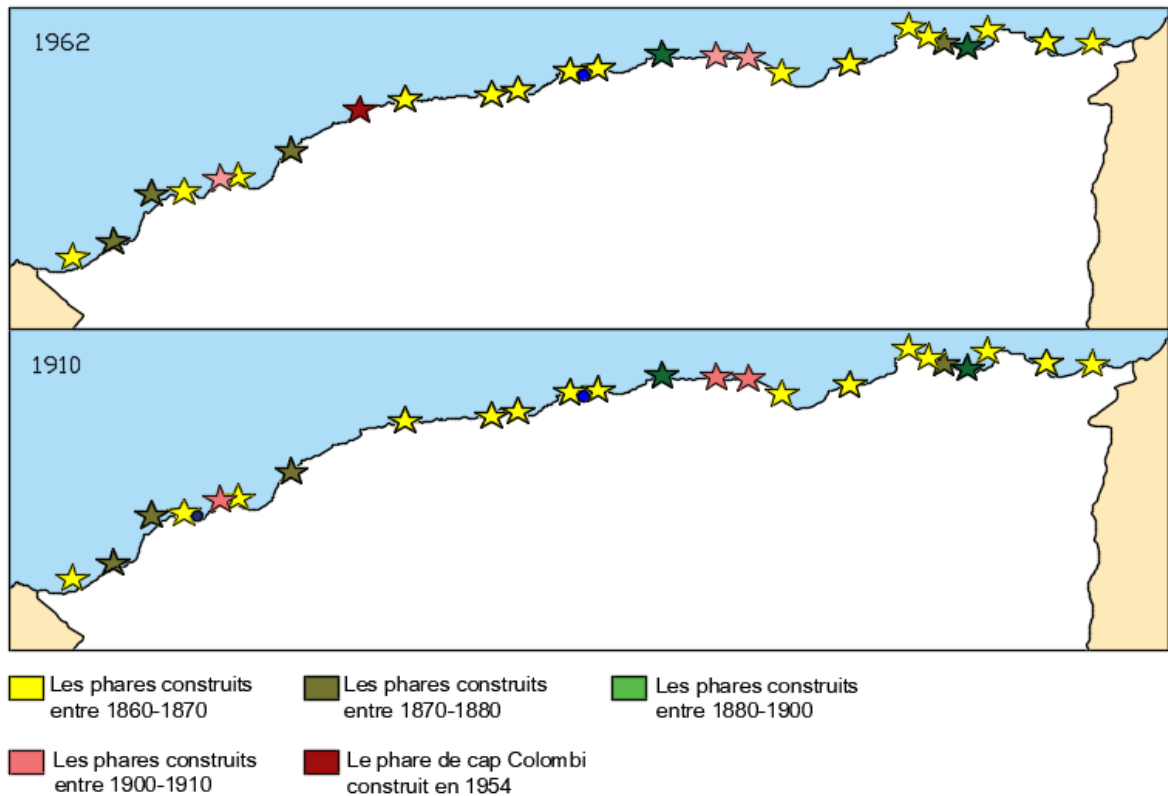


Figure 4.7 : Les phares en Algérie durant le XXème siècle <sup>(92)</sup>.

#### 4.3.3. Les phares du département d'Oran

Le littoral du département d'Oran qui offre trois baies : la petite baie à Ghazaouet, la baie d'Oran et celle d'Arzew<sup>93</sup>, était éclairé durant la colonisation par 07 phares, un nombre de feux de port et des bouées :

<sup>92</sup> © Amari.K

<sup>93</sup> Le golfe d'Oran, Le golfe d'Oran, compris entre le cap Falcon et le cap Ivi, est divisé en deux grandes baies par le cap Ferrat.



Figure 4.8. Réseau général des feux de signalisation maritime de département d'Oran en 1946: phares et feux de port et leur portée lumineuse [89].

#### 4.3.3.1. Phare de l'îlot d'Arzew

Le Golf d'Arzew est l'une des premières lignes du littoral éclairé, vers 1865. Un phare fut établi sur son îlot, sur une plate forme élevé de 7.5m au dessus de la mer [75][81][88].



Figure 4.9. Situation de phare de l'îlot d'Arzew <sup>(94)</sup>.

On accède à la plate forme du phare par un haut escalier. Le bâtiment est entouré par un mur d'enceinte en maçonnerie de pierres, auquel sont accolés des locaux technique et un hébergement pour le personnel de passage et le gardien. Ce

<sup>94</sup> © Google Maps.

bâtiment est de forme rectangulaire construit en moellons de pierres et chaîné aux angles [90]. Une tour circulaire se situe à l'intérieur du bâtiment, elle a 12m de hauteur et est couronnée par une petite corniche [75][88][91].

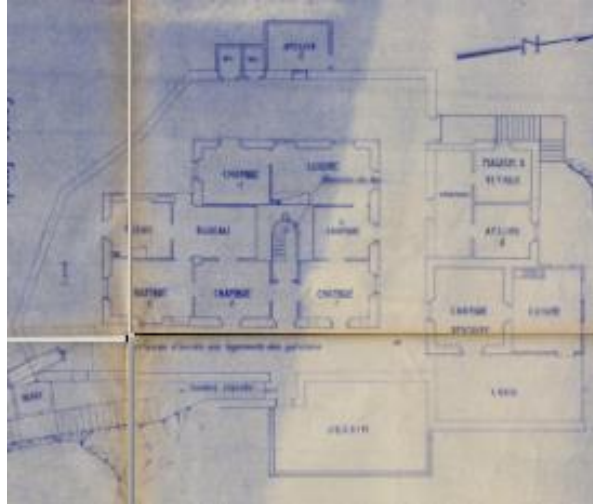


Figure 4.10. Illustration du phare de l'îlot d'Arzew: plan d'ensemble [92].



Figure 4.11. Illustration du phare de l'îlot d'Arzew <sup>(95)</sup>.

#### 4.3.3.2. Phare de Ghazaouet (Nemours)

Parmi les plus anciens phares coloniaux construits sur le littoral algérien, le feu du phare de Ghazaouet fut allumé vers 1867 [80]. Contrairement aux autres phares de l'Algérie qui sont installés sur des caps loin ou sur des îles. Le phare de Ghazaouet est implanté sur le sommet de la pointe Ouest de la baie [81][79][88],

---

<sup>95</sup> © Onsm.

ce qui offre une meilleure accessibilité aux autorités militaires françaises en vue de la situation stratégique de la ville de Ghazaouet comme frontière entre l'Algérie et le Maroc [75].



Figure 4.12. Situation de phare de Ghazaouet <sup>(96)</sup>.

Le phare est implanté sur une plate forme entourée par une enceinte, surélevée par rapport au niveau de la mer de 80.90m. Le bâtiment du phare est construit en maçonnerie, il est composé de deux blocs en RDC séparés par une cours intérieur et une tourelle surmontant le premier bâtiment [93]:

- Un bâtiment rectangulaire de 22m par 22m, abritant les logements des gardiens, les magasins et les bureaux, est précédé par une cour où se trouve l'accès principal du phare.
- Sur le centre du premier bâtiment, une tourelle circulaire de 11m repose sur la terrasse du premier bâtiment, cette dernière est couronnée par une corniche à garde corps en fer forgé.
- Un deuxième bloc en forme de deux rectangles juxtaposés, est réservé aussi pour l'hébergement de personnel et les locaux techniques.

Le bâtiment du phare présente une symétrie en façade, la présence de chaînage d'angle et encadrement des fenêtres en pierres apparentes.

---

<sup>96</sup> © Google Maps.







Figure 4.15. Situation de phare de cap Falcon <sup>(98)</sup>.

Le phare adopte une composition symétrique dominée par une tour au centre d'une assiette de 14 hectares, cette dernière est clôturée par un mur d'enceinte et développée sur trois plates formes [95]:

- Un rectangle abritant une cour d'entrée doté par de blocs rectangulaire pour les locaux techniques placés en symétrie de part et d'autre de la tour.
- Un rectangle surélevé du premier par des marches, il est organisé autour d'une cour où se trouve la tour et deux bâtiments rectangulaires réservés pour l'hébergement des gardiens.
- Une terrasse arrière de forme triangulaire.

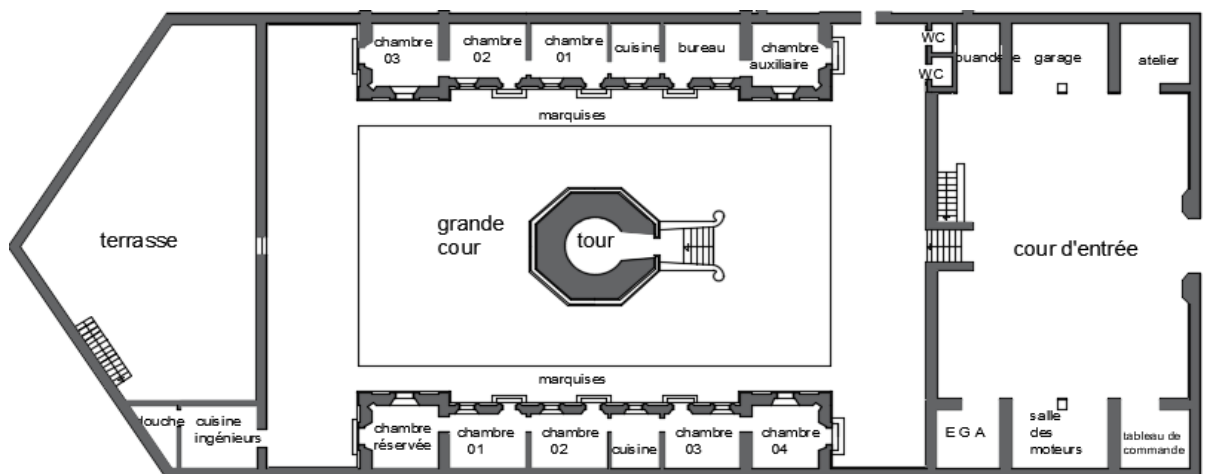


Figure 4.16. Illustration du phare de cap Falcon: vue en plan RDC <sup>(99)</sup>.

<sup>98</sup> © Google Maps.

<sup>99</sup> © Amari.K

Une haute tour octogonale en pierres de taille apparente avec 27m de hauteur[75][81][88][91][95], elle est composée d'un soubassement octogonal, et un fut de section plus petite. Elle est couronnée par un encorbellement pourvue d'une balustrade en pierres prolongée en bas par une corniche à denticules aux angles. Les quatre cotés des huit sont percés par trois ou quatre fenêtres.

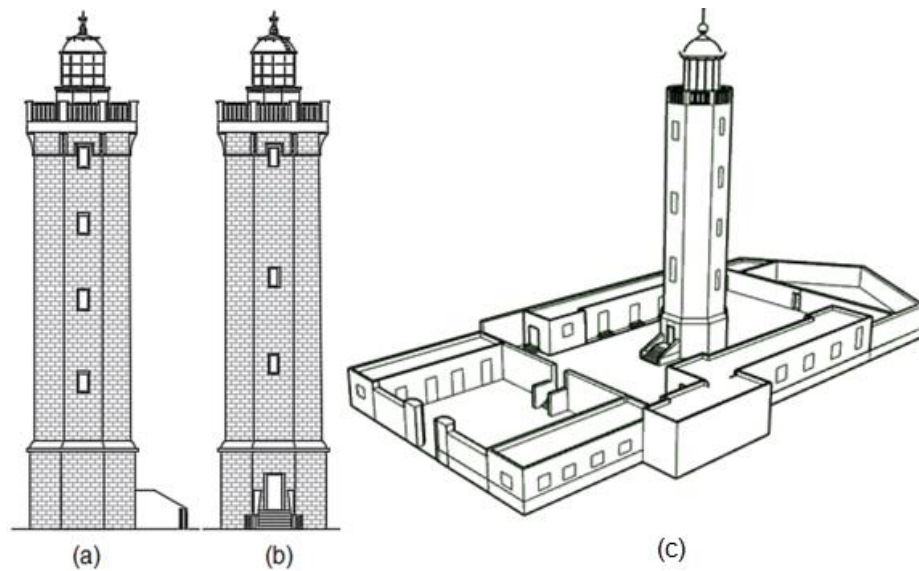


Figure 4.17 : Illustrations du phare de cap Falcon: (a) façade principale; (b) vue latérale; (c) vue 3D <sup>(100)</sup>.



Figure 4.18. Illustration du phare de cap Falcon <sup>(101)</sup>.

<sup>100</sup> © Amari.K

<sup>101</sup> © Onsm.

#### 4.3.3.4. Phare de l'île Rachgoun

L'île de Rachgoun<sup>102</sup> est parmi les plus importantes îles au large des côtes Ouest en Algérie [80]. Une île de profil escarpé qui se situe à 2 Km du continent, en face de l'embouchure de la Tafna. Au N-E de l'île, sur le mamelon le plus culminant à 65.5m au dessus du niveau de la mer, est allumé un phare depuis 1870 [75][81][88][91].



Figure 4.19. Situation de phare de l'île Rachgoun <sup>(103)</sup>.

Le phare est entouré par un mur d'enceinte en maçonnerie, le bâtiment au pied de la tour est précédé par une cour ou se trouve les locaux de services accolés au mur de clôture, et aussi suivi par une autre cours arrière. Ce bâtiment est réservé à l'hébergement des gardiens. Il est construit en maçonnerie de pierres sous la forme d'un U qui se développe sur un seul niveau.

La tour repose sur une terrasse accessible, elle est de section carrée et s'élève de 15m [81] de hauteur. Elle fut construite en maçonnerie lisse avec des chaînes d'angle en pierres apparentes [75][96], elle est percée dans ses 4 cotés par deux ouvertures. Sa partie supérieure est marquée par un encorbellement entouré d'une rambarde en pierre qui se continue en bas par une corniche à denticules. La

<sup>102</sup> L'ancienne Acra des Romains.

<sup>103</sup> © Google Maps.

façade du phare exprime une symétrie parfaite, avec la présence de chaînage d'angle et l'encadrement des fenêtres.



Figure 4.20. Illustrations du phare de l'île Rachgoun <sup>(104)</sup>.

#### 4.3.3.5. Phare de cap Ivi

Afin d'éclairer le port de Mostaganem, un phare au Nord Est du port a été construit et s'est allumé vers 1870 [86]. Sur le versant du cap Ivi qui constitue la limite Est du Golf d'Oran, à une hauteur de 100m au dessus du niveau de la mer il se localise [79][88][91].



Figure 4.21. Situation de phare de cap Ivi <sup>(105)</sup>.

---

<sup>104</sup> © Vitamine dz.

Le phare est situé sur une plate forme d'environ 2100m<sup>2</sup> qui est entourée d'une enceinte en pierre apparente flanquée dans ses quatre angles par de petites tours carrées. Le phare est un bâtiment rectangulaire en maçonnerie de pierre apparente, parfaitement symétrique ayant des chaînages d'angle en pierres et des encadrements d'ouvertures en pierres. Le bâtiment forme le soubassement d'une tour de 19m d hauteur par rapport au niveau de sol [81]. Elle est de forme octogonale et est coiffée d'une terrasse de la même forme en encorbellement ornée d'une corniche à denticules en bas avec une garde corps en pierre [75][97].



Figure 4.22. Illustration du phare de cap Ivi : plan de masse [98].



Figure 4.23. Illustrations du phare de cap Ivi <sup>(106)</sup>.

<sup>105</sup> © Google Maps.

<sup>106</sup> © Mostaganem.

#### 4.3.3.6. Phare des îles Habibas

L'archipel des îles Habibas est situé au large du Golf d'Oran à 9,2 miles au NNE du cap Figalo [99], à l'Est de la plus grande île fut implanté un phare qui s'est allumé vers 1879 [85] sur un point dominant la mer par 95.5m hauteur.



Figure 4.24. Situation de phare des îles Habibas <sup>(107)</sup>.

Le phare est entouré par une enceinte en maçonnerie, de forme rectangulaire précédée par une deuxième cour ou se trouve l'accès principal du phare. Dans son côté arrière, l'enceinte est accolée aux locaux de service.

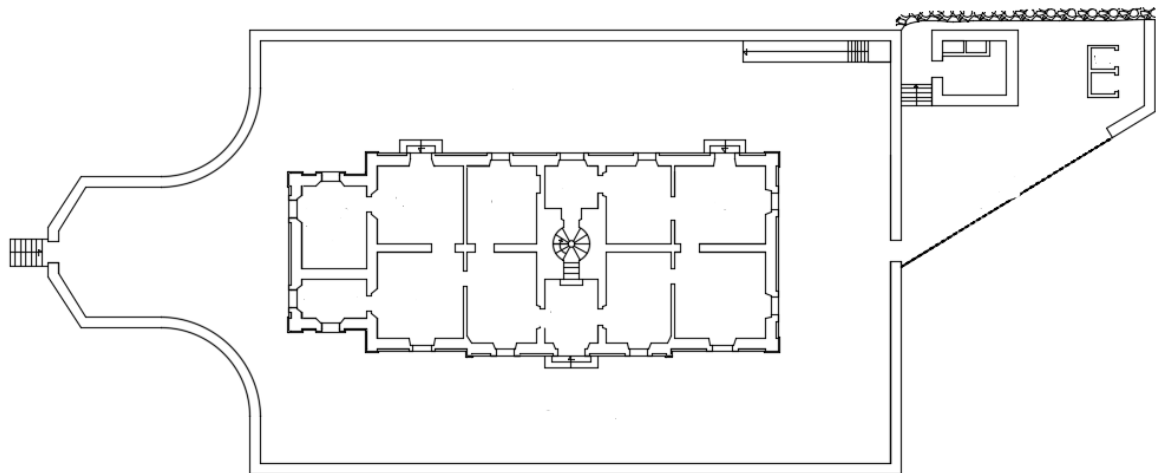


Figure 4.25. Illustration du phare des îles Habibas: plan d'ensemble <sup>(108)</sup>.

<sup>107</sup> © Google Maps.

<sup>108</sup> © Amari.K

Le soubassement de la tour est un rectangle en RDC de dimensions 22.50 x 9 m, hébergeant les gardiens et le personnel de passage. Le bâtiment présente une certaine symétrie, une structure en maçonnerie de pierres enduites, et chaîné aux angles [100].

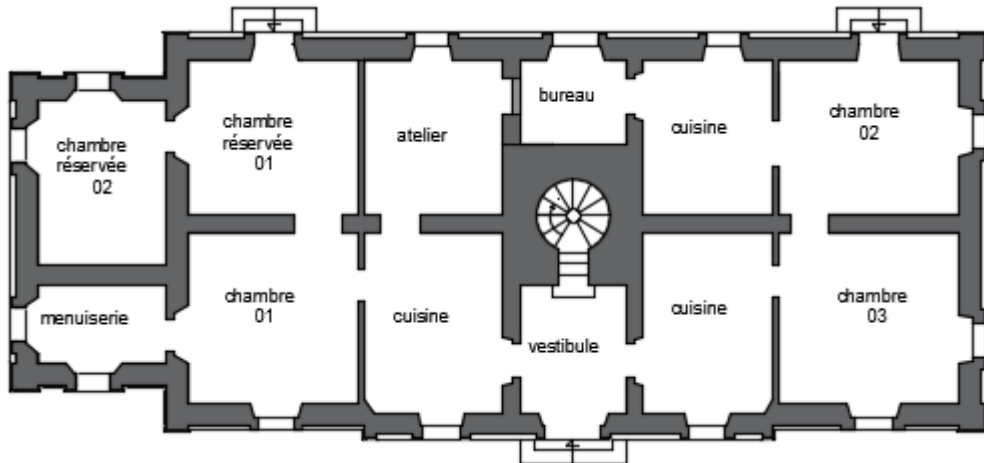


Figure 4.26. Illustration du phare des îles Habibas: vue en plan RDC <sup>(109)</sup>.

La lanterne du phare est implantée au sommet d'une tour carrée de 3.26m sur le côté et 6m en hauteur par rapport au niveau de la terre. Une structure en forme pyramidale construite et chaînée aux angles en maçonnerie de pierre, avec deux ouvertures dans chaque côté qui sont également encadrés en pierre [75][100].

<sup>109</sup> © Amari.K.



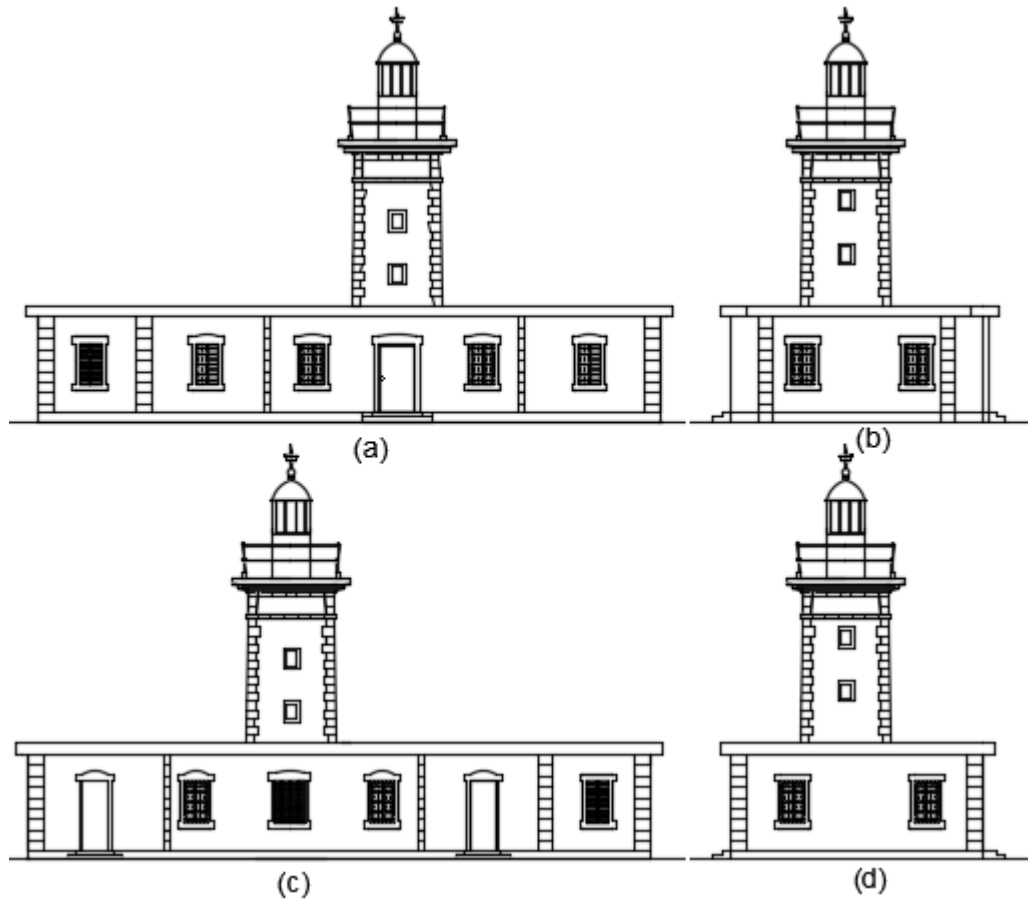


Figure 4.27 : Illustrations du phare des îles Habibes: (a) façade principale; (b) vue latérale gauche; (c) façade arrière; (d) vue latérale droite <sup>(110)</sup>.

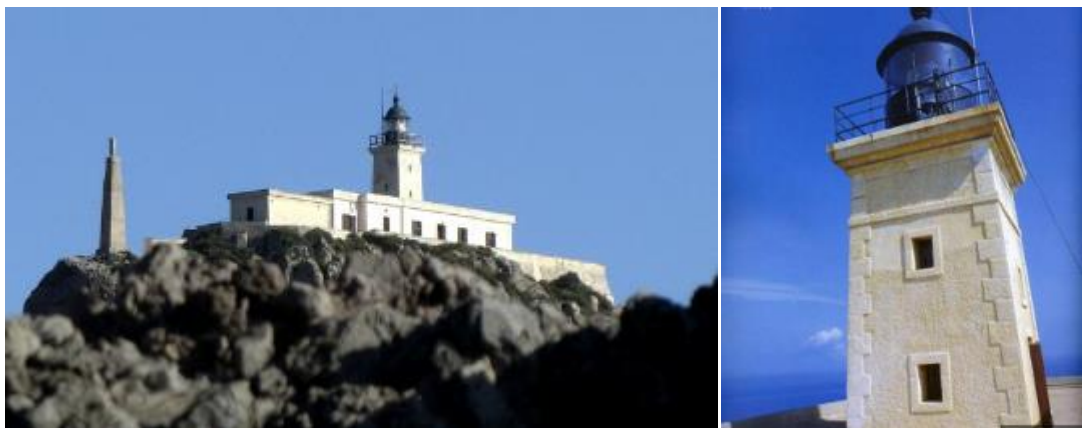


Figure 4.28. Illustrations du phare des îles Habibas : vues <sup>(111)</sup>, <sup>(112)</sup>.

<sup>110</sup> © Amari.K

<sup>111</sup> © fotocommunity.

<sup>112</sup> © bouzedjar.skyrock.

#### 4.3.3.7. Phare de cap de l'Aiguille

Vers 1906, fut construit le dernier phare du département d'Oran, sur le point Ouest de cap de l'Aiguille qui détermine golfe d'Oran à Est à 51m d'altitude au dessus de niveau de la mer [88][101].



Figure 4.29. Situation de phare de cap de l'Aiguille <sup>(113)</sup>.

Une petite tour indépendante de section circulaire en maçonnerie enduite de 3.25m de diamètre et 11m de hauteur. Elle est couronnée par une corniche à rambarde en fer forgé. Cette tourelle domine un ensemble de bâtiments à RDC qui constituent la maison du gardien et les locaux techniques [75][88][101].

---

<sup>113</sup> © Google Maps.

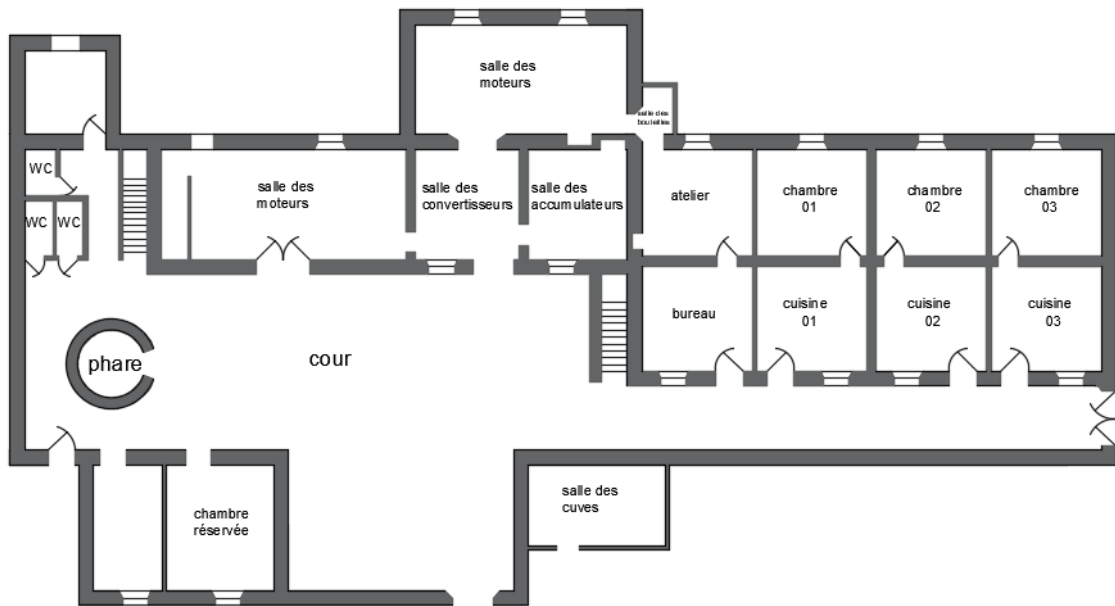


Figure 4.30. Illustration du phare de cap de l'Aiguille : vue en plan RDC <sup>(114)</sup>.



Figure 4.31. Illustrations du phare de cap de l'Aiguille: vues <sup>(115), (116)</sup>.

#### 4.3.4. Les phares de département d'Alger

Sous le régime colonial français, le département d'Alger était un marché maritime vaste surtout le port d'Alger car il avait une position stratégique reliant l'Est à l'Ouest, et le littoral au Sahara [82]. Les côtes du département d'Alger étaient signalées la nuit par 08 phares, en plus du phare Ottoman localisé au port d'Alger

<sup>114</sup> © Amari.K

<sup>115</sup> © dznature.

<sup>116</sup> © Onsm.

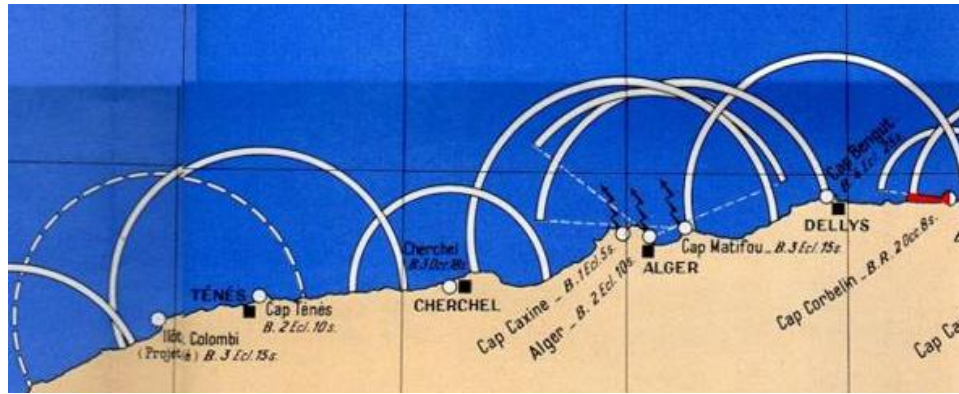


Figure 4.32. Réseau général des feux de signalisation maritime de département d'Alger en 1946: phares et feux de port et leur portée lumineuse [89].

#### 4.3.4.1. Phare de cap Ténès

L'Ouest du département d'Alger a connu la construction du premier phare colonial à l'Est du port de Ténès et le dernier phare à son Ouest sur le cap Colombi. L'importance d'éclairer les côtes de la ville de Ténès et son port était liée à la situation de Ténès comme ville stratégique à mi-distance entre Alger et Oran. Elle était classée parmi les marchés riches vue les ressources agricoles et minérales de son territoire qui devaient être exportées vers la métropole [82]. Le phare de cap Ténès fut construit vers 1861, à l'Ouest du cap sur une hauteur de 36m au dessus de la mer [75][79][80][91].



Figure 4.33. Situation de phare de cap Ténès <sup>(117)</sup>.

<sup>117</sup> © Google Maps.

Le phare est implanté sur un terrain escarpé. Il est composé d'un bâtiment en forme d'un H abritant la maison des gardiens. Il se développe sur un seul niveau et s'organisé autour de deux cours carrées. Ce bâtiment est construit en maçonnerie de pierre chaînée aux angles et couronné en haut par une corniche, il se termine dans les angles par un bloc en saillie [102]. La tour est adossée a ce bâtiment, elle est de section carrée, et d'une hauteur de 31.5m [75][81], elle est construite en en maçonnerie de pierres et chaînée aux angles. Sa partie supérieure est coiffée d'un encorbellement et une corniche à denticule en bas, et une rambarde en pierre [102].



Figure 4.34. Illustration du phare de cap Ténès <sup>(118)</sup>.

#### 4.3.4.2. Phare de Cherchell

Pendant la nuit, les approches du port de Cherchell sont signalées, du côté du large, par une haute tour sur l'îlot Joinville construite vers 1866 à la place de l'ancien phare punique [79][80][81][88]. La tour est implantée sur une hauteur de 11.5m au dessus de niveau de la mer.

---

<sup>118</sup> © Onsm.

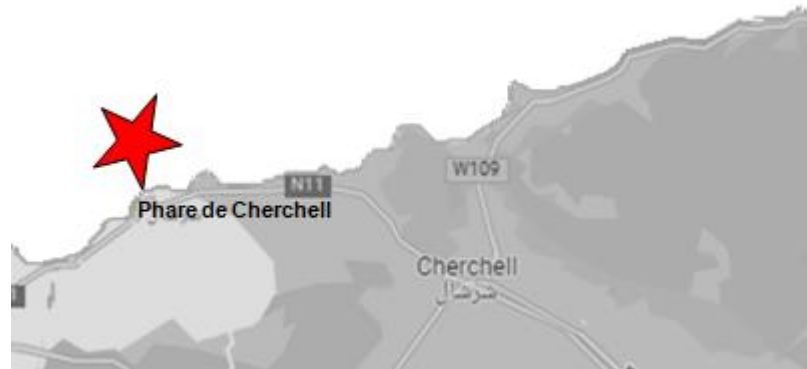


Figure 4.35. Situation de phare de Cherchell <sup>(119)</sup>.

La tour tronconique est en pierres de Cassis et s'élance d'une hauteur de 28.60m [79][81]. Elle est construite, sur une base carrée en pierres, la tour est percée par huit ouvertures sur toute sa hauteur et se termine par un encorbellement bordé d'une corniche et d'un garde-corps en fer forgé [75][103].



Figure 4.36. Illustrations du phare de Cherchell: vues <sup>(120)</sup>.

#### 4.3.4.3. Phare de Tipaza

Le port de Tipaza est signalé depuis 1868 aux navigateurs par un phare sur l'extrémité de la pointe Ras El Kalia à l'entrée Nord Ouest du port, à une hauteur de 20.5m au dessus de niveau de la mer [81][88][91][104].

---

<sup>119</sup> © Google Maps.

<sup>120</sup> © pinterest.



Figure 4.37. Situation de phare de Tipaza <sup>(121)</sup>.

La pointe rocheuse de Ras El Kalia est marquée par une tour carrée de 11m de hauteur construite en maçonnerie chaînée aux angles ayant une corniche au sommet. Cette tour émerge de la façade arrière d'un bâtiment symétrique en plan et de forme rectangulaire qui abrite le logement du gardien [81][104].



Figure 4.38. Illustrations du phare de Tipaza: vues <sup>(122)</sup>.

#### 4.3.4.4. Phare de cap Caxine

Vue l'importance de la ville comme capitale de la colonie ; la position stratégique du port d'Alger comme un port d'importation, d'exportation, de relâche, et de transport [88], et l'insuffisance de l'éclairage de ses approche que par le fanal de la jetée Khair-Eddine, il était nécessaire d'éclairer la baie d'Alger y compris entre le cap Caxine à l'Ouest et le cap Matifou à l'Est. Donc le phare à cap Caxine a été bâti vers 1868 [88][91][105].

---

<sup>121</sup> © Google Maps.

<sup>122</sup> © Onsm.



Figure 4.39. Situation de phare de cap Caxine <sup>(123)</sup>.

L'ensemble du phare, les bâtiments annexes et la cour, sont inscrits dans une plate forme rectangulaire sur hauteur de 31m au dessus de niveau de la mer [106], et clôturée par un mur en maçonnerie de pierres.



Figure 4.40. Illustration du phare de Caxine: vue d'ensemble <sup>(124)</sup>.

Le bâtiment du phare est de composition symétrique dominée par une haute tour de section carrée ayant 33m de hauteur dont la section diminue de bas en haut. La tour est adossée à la façade arrière d'un bâtiment rectangulaire qui s'organise sur deux niveaux, abritant cinq logements des gardiens [81]. La maçonnerie de pierres est apparente sur les façades de la tour dont les angles sont chaînés alors

<sup>123</sup> © Google Maps.

<sup>124</sup> © harba dz.



que le bâtiment est en maçonnerie enduite [26], La tour est bordée au sommet par un encorbellement au dessus d'une corniche à denticules [75][106].



Figure 4.41. Illustrations du phare de cap Caxine <sup>(125)</sup>.

#### 4.3.4.5. Phare de cap Matifou

Le troisième phare qui a éclairé la baie d'Alger depuis 1868 avec le phare de cap Caxine et celui de l'Amirauté, est situé à l'Est du cap Matifou, sur une hauteur de 63m au dessus de niveau de la mer [88][91][107].

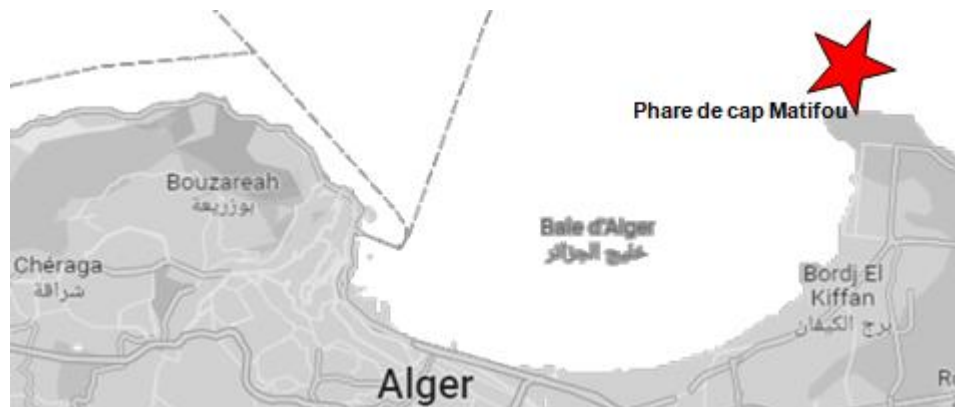


Figure 4.42. Situation de phare de cap Matifou <sup>(126)</sup>.

<sup>125</sup> © google.

<sup>126</sup> © Google Maps.

Une terrasse clôturée par un mur en maçonnerie englobant un phare et, des locaux de service. Le bâtiment est rectangulaire en maçonnerie à un seul niveau abrite la maison du gardien. Il est surmonté par une petite tour de section carrée ayant 11m de hauteur. Le tout est construit en pierres enduites [81][107].



Figure 4.43. Illustration du phare de cap Matifou <sup>(127)</sup>.

#### 4.3.4.6. Phare de cap Bengut

Vers la fin du XIXème siècle, il a été édifié le dernier phare qui complète le réseau d'éclairage projeté par le programme de 1846. Sa construction a été suspendue depuis 1873 jusqu'à 1881[108][109][110]. Le phare de cap Bengut ou le dit *Bordj Fnar* est situé à l'Ouest de la pointe des jardins au Nord Ouest du port de Dellys, sur une hauteur de 34.4m au dessus de niveau de la mer [79][80][81][88].



Figure 4.44. Situation de phare de cap Bengut <sup>(128)</sup>.

---

<sup>127</sup> © Onsm.

<sup>128</sup> © Google Maps.

Le phare est élevé sur une plate forme rectangulaire fermée par un mur d'enceinte en maçonnerie de pierre. L'aménagement extérieur présente une conception symétrique, le bâtiment du phare est situé en arrière du bâtiment et est précédé par un jardin.

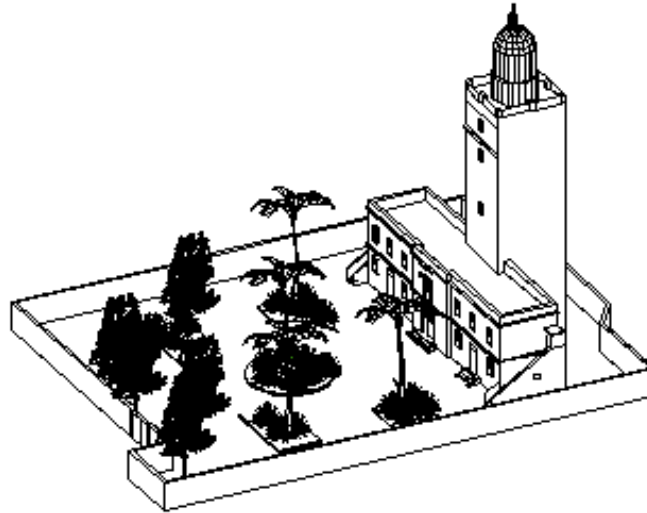


Figure 4.45 : Illustration du phare de cap Bengut: vue 3D <sup>(129)</sup>.

Les deux logements des gardiens et les locaux de service sont à l'intérieur d'un bâtiment rectangulaire symétrique construit en moellons de pierres. Il se développe sur deux niveaux, et est bordé de part et d'autre par un escalier extérieur. La pierre de taille était utilisée pour le chaînage d'angle, les corniches et l'encadrement des ouvertures. Ce bâtiment symétrique est dominé par une tour ancrée au centre de sa façade arrière [75][111], dont la section est carrée et s'élève sur une hauteur de 29m diminuant de bas en haut. La tour est coiffée dans sa partie supérieure par un encorbellement à corniche denticulé en bas, et un garde corps métallique [112].

---

<sup>129</sup> © Amari.K

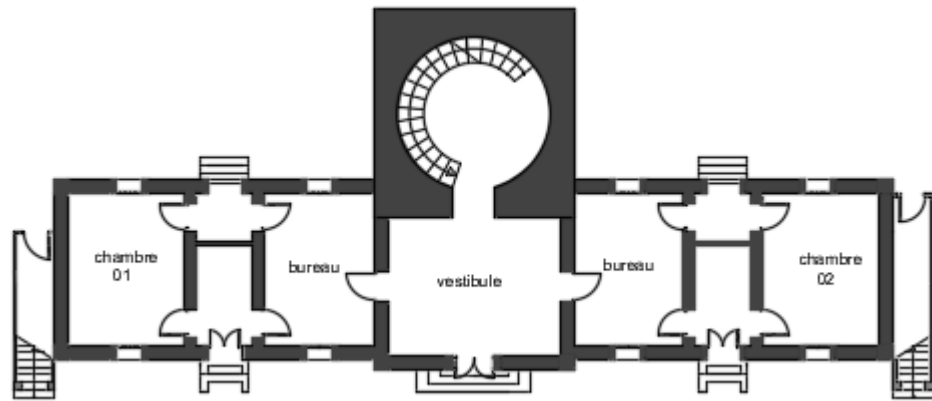


Figure 4.46 : Illustrations du phare de cap Bengut: vue en plan RDC <sup>(130)</sup>.



Figure 4.47. Illustration du phare de cap Bengut avant 2003 <sup>(131)</sup>.

<sup>130</sup> © Amari.K

<sup>131</sup> © vitamindz.

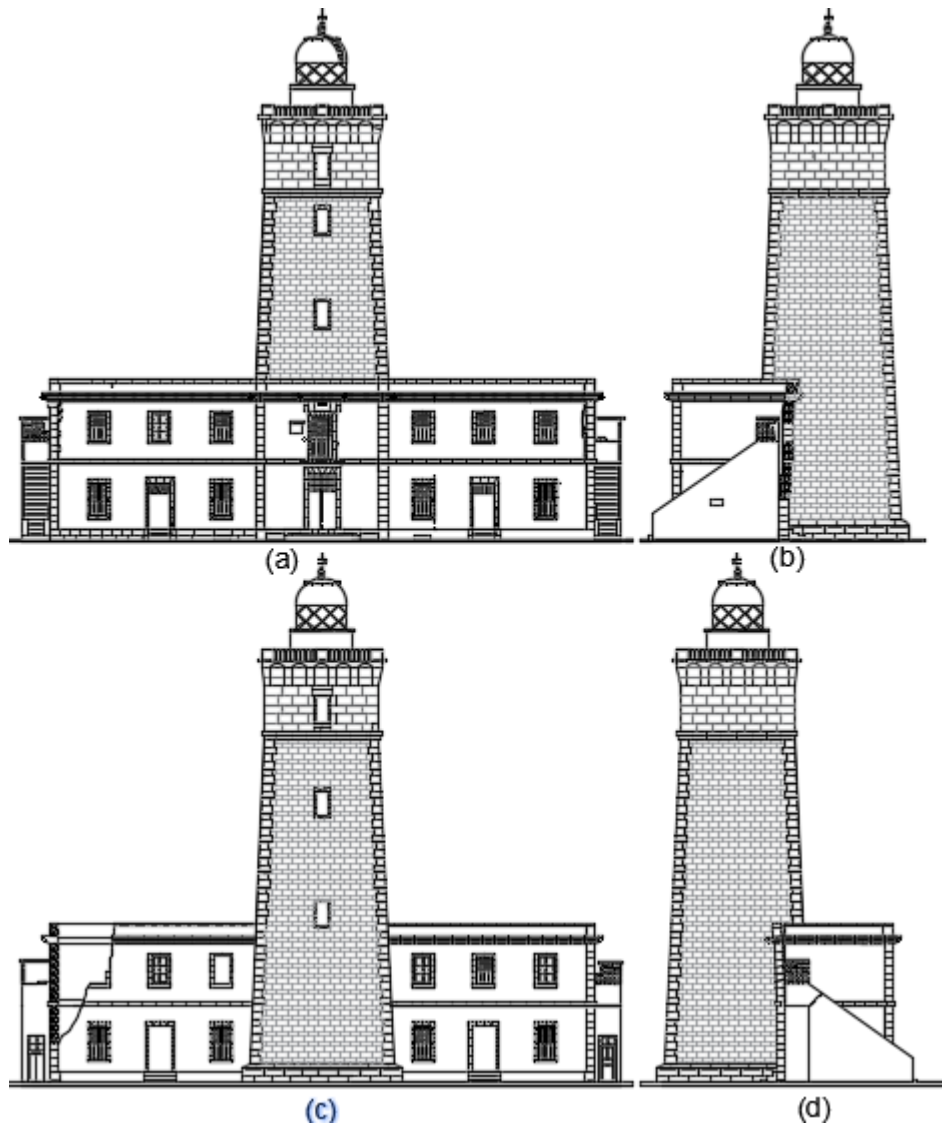


Figure 4.48 : Illustrations du phare Bengut actuellement : (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest <sup>(132)</sup>.

#### 4.3.4.7. Phare de cap Corbelin

Le phare de cap Corbelin fut construit en 1905, sur le pic Ouest de ce cap, à une hauteur de 28.5m au dessus de niveau de la mer [75][113].

---

<sup>132</sup> © Amari.K



Figure 4.49. Situation de phare de cap Corbelin <sup>(133)</sup>.

Le phare est composé de deux bâtiments identiques abritant les logements des gardiens, localisés en symétrie de part et d'autre d'une tour circulaire en maçonnerie enduite de 16m de hauteur, cornée dans son sommet et bordée d'une balustrade métallique [113].



Figure 4.50. Illustrations du phare de cap Corbelin <sup>(134)</sup>.

#### 4.3.4.8. Phare de cap Colombi

Sur le cap Colombi au Sud Ouest du port de Ténès fut construit le dernier phare colonial en Algérie en 1954 [75][114].

<sup>133</sup> © Google Maps.

<sup>134</sup> © wlol.arlhs.



Figure 4.51. Situation de phare de cap Colombi <sup>(135)</sup>.

A 30.9m au dessus de la mer, le phare est implanté au centre d'une enceinte rectangulaire en présence de deux blocs identiques, de plan quadrangulaires, placés en symétrie de part et d'autre du phare abritant les logements des gardiens, et un troisième bâtiment de service adossé au mur d'enceinte en arrière du phare [114].



Figure 4.52. Illustration du phare de cap Colombi : vue d'ensemble <sup>(136)</sup>.

<sup>135</sup> © Google Maps.

<sup>136</sup> © vitaminedz.

Le bâtiment du phare est composé de :

- une maison de gardien en forme rectangulaire d'un seul niveau, la structure est construite en maçonnerie de pierre, et chaînée aux angles, elle présente une symétrie parfaite en façade.
- une tour d'une hauteur totale de 29m, composé d'un soubassement qui émerge de la façade arrière du phare, de forme carrée bordée par une corniche. Le fut de la même section diminue au fur et à mesure de bas en haut [75][114]. Cette tour est marquée par l'appareillage en pierres apparentes, le chaînage d'angle. Elle est dotée de deux corniches surmontés par un encorbellement au sommet formant une terrasse, qui est protégée par une balustrade en pierre qui se prolonge vers le bas par une corniche à denticules.



Figure 4.53. Illustrations du phare de cap Colombi <sup>(137)</sup>.



#### 4.3.5. Les phares de département de Constantine

Les côtes du département de Constantine s'étendent du Golfe de Bougie au Golfe de Bône en passant par celui de Philippeville (l'actuel Skikda). Lorsqu'un navire venant du Nord pendant la nuit, il est guidé par 10 phares :

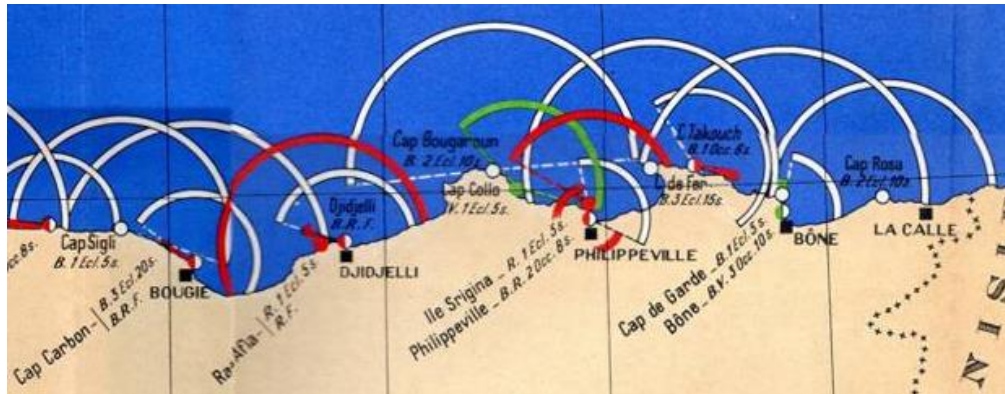


Figure 4.54. Carte de l'éclairage des côtes de département de Constantine en 1946 : phares, feux et leur portée lumineuse [89].

##### 4.3.5.1. Phare de cap Carbon

Lorsqu'on vient du Nord, on peut reconnaître la position du Golf de Béjaia compris entre le cap Carbon à l'Ouest et le cap Bougaroun à l'Est [82], avant d'y arriver grâce aux phares installés sur ces deux caps. L'énorme rocher du cap Carbon au Nord-Nord-Est du port de Béjaia est couronné par un phare depuis 1865 dans sa partie inférieure sur une hauteur de 220m<sup>138</sup> au dessus de niveau de la mer [75][80][88][91][105].

<sup>138</sup> Un des plus hauts phares naturellement.



Figure 4.55. Situation de phare de cap Carbon <sup>(139)</sup>.

Le phare est entouré par un mur d'enceinte en pierre, une basse tour circulaire en maçonnerie de pierre est centrée au milieu d'un rectangle en maçonnerie à un seul niveau [115]. Ce bâtiment abrite deux logements de gardiens alors que le troisième logement est introduit dans un édifice indépendant. La hauteur de la tour est de 14.60m [81][116].



Figure 4.56. Illustrations du phare de cap Carbon <sup>(140), (141)</sup>.

#### 4.3.5.2. Phare de cap de Garde (Ras El Hamra)

Entre le cap Rosa et le cap de Garde, est inscrit le Golf de Annaba (Bône), l'éclairage de la limite Ouest de ce dernier a été assurée la nuit par un phare installé sur le cap de Garde [79][90][81][88][105] vers 1866 [109]. Ce phare est

<sup>139</sup> © Google Maps.

<sup>140</sup> © flickr.

<sup>141</sup> © bejaia-guidedepoche.

bâti sur le versant Nord-Ouest du cap sur une hauteur de 129m au dessus de niveau de la mer [117].



Figure 4.57. Situation de phare de cap de Garde <sup>(142)</sup>.

Sur un terrain escarpé, le phare est marqué par une tour carrée en maçonnerie de pierre apparente qui domine un ensemble de bâtiments par une hauteur de 14m. Un bâtiment carré en maçonnerie est accolé au pied de la tour contenant deux logements des gardiens, les blocs près de la tour au Sud et à l'Ouest sont réservés pour les locaux techniques [117].



Figure 4.58. Illustrations du phare de cap de Garde <sup>(143)</sup>, <sup>(144)</sup>.

#### 4.3.5.3. Phare de cap Collo (pointe Djerda)

Un phare à été édifié au cap Collo depuis 1866 [80], au Nord Est du port de Collo, sur l'extrémité Nord de la presqu'île d'El-Djerda à une hauteur de 14.4m au dessus de niveau de la mer [81][88].

<sup>142</sup> © Google Maps.

<sup>143</sup> © pinterest.

<sup>144</sup> © vitaminedz.



Figure 4.59. Situation de phare de cap Collo <sup>(145)</sup>.

Le phare est implanté au centre d'une assiette rectangulaire clôturé par un mur en maçonnerie. Une tour octogonale en maçonnerie [81] de 11m en hauteur, marqué dans son sommet par un encorbellement entourée d'une rambarde en pierre qui se prolongé en bas par une corniche à denticules. Au pied de la tour, un bâtiment rectangulaire en maçonnerie chaîné aux angles, renferme un logement de gardien sur deux étages, avec une terrasse accessible [118].



Figure 4.60. Illustrations du phare de cap Collo <sup>(146)</sup>.

---

<sup>145</sup> © Google Maps.

<sup>146</sup> © labbize.

#### 4.3.5.4. Phare de Ras Afia

A l'Ouest du port de Jijel, vers 1867 [75][86], un phare a été construit sur la pointe Ouest de cap Afia [80][88][91]. Le phare est imbriqué au sol vu la nature rocheuse de terrain d'implantation, à une hauteur de 28.4m au dessus de niveau de la mer.



Figure 4.61. Situation de phare de Ras Afia <sup>(147)</sup>.

Le bâtiment du phare fut bâti sur un rocher accessible par un escalier, et fermé par un mur d'enceinte en pierre. Une tour octogonale de 14m de hauteur, en maçonnerie de pierre, chaînée aux angles et couronnée par une corniche au sommet, et percée par trois fenêtres. Au pied d'elle, une maison des gardiens rectangulaire développée sur deux niveaux, est construite en maçonnerie de pierres et chaine aux angles, elle compte également les locaux de service [75][81][119].

---

<sup>147</sup> © Google Maps.



Figure 4.62. Illustrations du phare de Ras Afia <sup>(148)</sup>.

#### 4.3.5.5. Phare de cap Rosa

Le Golf de Bône est signalé à l'Est par un feu sur phare de cap Rosa [79][91], ce phare fut bâti environ en 1868 [86] sur le sommet Nord Est de ce cap à une hauteur de 117m au dessus de niveau de la mer [120].

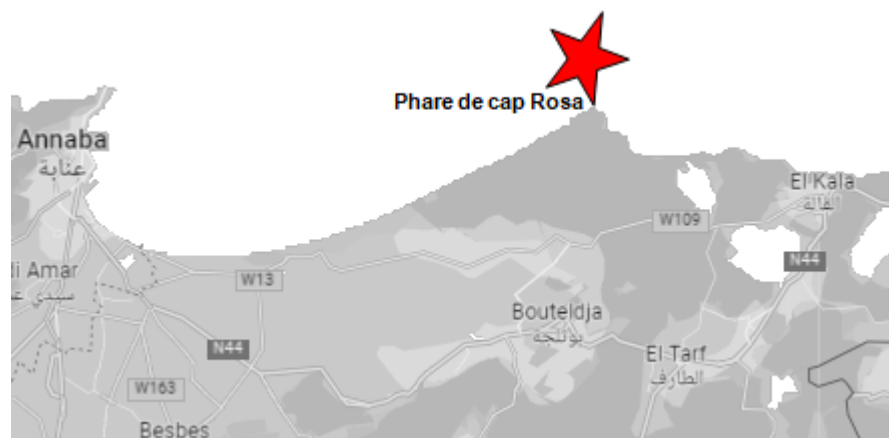


Figure 4.63. Situation de phare de cap Rosa <sup>(149)</sup>.

Au pied d'une tour cylindrique en maçonnerie enduite de 13m d'hauteur [81], les logements des gardiens sont introduits à l'intérieur d'un bâtiment symétrique rectangulaire en maçonnerie de pierre apparente développé sur un seul niveau, précédé et succédé par une cour, format avec un autre bâtiment rectangulaire la

<sup>148</sup> © Amari.K.

<sup>149</sup> © Google Maps.

partie réservée aux locaux technique adossés le long du mur de clôture. L'ensemble est clôturé par un mur en maçonnerie [120].



Figure 4.64. Illustration du phare de cap Rosa <sup>(150)</sup>.

#### 4.3.5.6. Phare de cap de Fer (Ras El Hadid)

Le golf de Skikda était un territoire à caractère commercial entre la France et l'Est algérien [79], il est marqué dans sa limite Est par un phare sur le cap de Fer construit et allumé vers 1868 [84][86][88][91], sur l'extrémité Ouest du cap à une hauteur de 48m au dessus de niveau de la mer [121].



Figure 4.65. Situation de phare de cap de Fer <sup>(151)</sup>.

---

<sup>150</sup> © vitaminedz..

<sup>151</sup> © Google Maps.

Le phare se présente comme un édifice au centre d'une enceinte rectangulaire se terminant dans le côté arrière par une terrasse en forme demi-circulaire qui est supporté par un mur de soutènement en pierre. Le bâtiment du phare prend la même forme que l'enceinte, construit aussi en maçonnerie sur un seul niveau il englobe trois logements des gardiens. Il est, surmonté par une haute tour cylindrique de 18m de hauteur, en maçonnerie de pierre bordée d'un garde corps métallique [81]. Deux blocs pour les locaux de service sont adossés au mur de clôture près de l'entrée [122].



Figure 4.66. Illustrations du phare de cap de Fer <sup>(152)</sup>, <sup>(153)</sup>.

#### 4.3.5.7. Phare de cap Bougaroun

Sur le point le plus septentrionale de la côte d'Algérie qui délimite le Golf de Skikda (Philippeville) à l'Ouest fut implanté un phare [88][91] qui est allumé depuis 1869 [86]. Le phare de cap Bougaroun culmine la pointe Nord du cap sur une hauteur de 80 m au dessus de niveau de la mer [123].

---

<sup>152</sup> © mapio.

<sup>153</sup> © google.





Figure 4.67. Situation de phare de cap Bougaroun (154).

La tour du phare est constituée par un fût octogone en maçonnerie enduite et chaîné aux angles, de faible hauteur bordée dans sa partie supérieure par une corniche et une balustrade métallique, surmonté par une base circulaire accueillant le feu sur une hauteur de 10.50m. Cette tour est articulée au centre de la façade arrière d'un bâtiment rectangulaire par un vestibule, le bâtiment abrite les logements des gardiens. Le bâtiment est accolé lui-même dans un seul côté aux locaux techniques [81][123]. Il est construit en maçonnerie de pierre sur un seul niveau.



Figure 4.68. Illustrations du phare de cap Bougaroun (155).

154 © Google Maps.

155 © vitaminedz.

#### 4.3.5.8. Phare de l'îlot des singes

Entre le port de Stora et celui de Skikda, un phare sur l'îlot des Singes à été érigé, sa construction remonte à la deuxième moitié du XIX siècle, à une hauteur de 7.8m au dessus de niveau de la mer [79][81][88].



Figure 4.69. Situation de phare de l'îlot des Singes <sup>(156)</sup>.

Le phare et ses dépendances sont implantés sur une plate forme de 800m<sup>2</sup> clôturée. Le noyau du phare est une tour pyramidale, quadrangulaire en plan, reposant sur un soubassement de même forme en pierre [75], et couronnée en haut par une rambarde métallique, avec une hauteur totale de 9m. A l'entrée de l'îlot, sont installés deux bloc pour le logement du gardien et les locaux de service [124].



Figure 4.70. Illustrations du phare de l'îlot des Singes <sup>(157)</sup>.

<sup>156</sup> © Google Maps.

<sup>157</sup> © Onsm.

#### 4.3.5.9. Phare de l'île Srigine

Le phare érigé sur l'île Srigine au Nord Ouest du port de Skikda en 1847 [75] est parmi les premiers phares coloniaux construits en Algérie [80], vers la fin du XIX siècle, ce phare a été reconstruit sur une hauteur de 42m au dessus de niveau de la mer [75][79][81][88].



Figure 4.71. Situation de phare de l'île Srigine <sup>(158)</sup>.

Le phare se distingue clairement, il domine majestueusement, au sommet de l'île Srigine, une tour carrée en maçonnerie, avec un garde-corps métallique, est centré sur la terrasse de la maison du gardien, un bâtiment rectangulaire, en maçonnerie enduite, bordé à l'extérieur par une série d'arcade dans les trois coté. Les locaux de services sont implantés autour du phare [125].

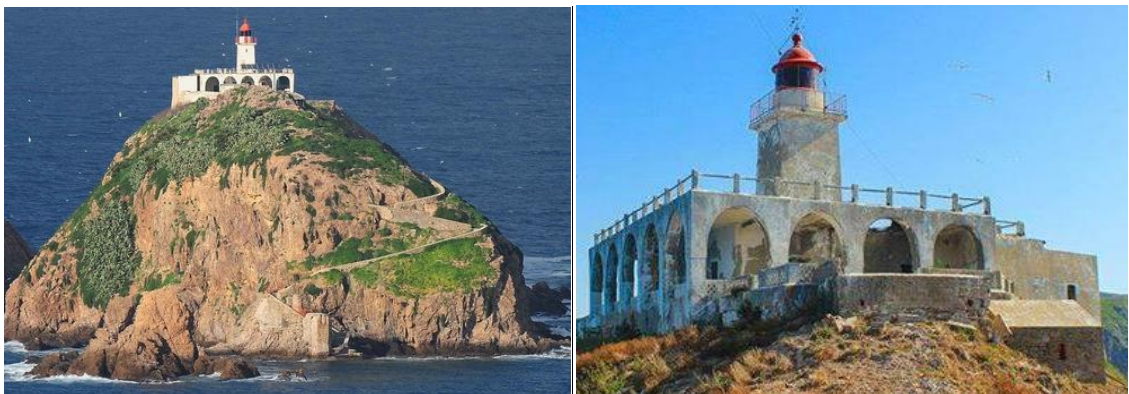


Figure 4.72. Illustrations du phare de l'île Srigine <sup>(159), (160)</sup>.

<sup>158</sup> © Google Maps.

<sup>159</sup> © Onsm.

<sup>160</sup> © Onsm.





Figure 4.74. Illustrations du phare de cap Sigli <sup>(162)</sup>.

#### 4.3.6. L'architecture des phares coloniaux

Les phares construits sous le régime colonial en Algérie ont été conçus afin d'être le symbole de la présence française et la preuve de leur évolution scientifique dans le domaine d'éclairage maritime. En effet, les typologies des phares en Algérie ont été influencées par la politique française adoptée pour la construction des phares, cela a donné naissance à deux typologies des phares:

- Les phares édifice modeste (1830-1845): la construction des phares durant cette période était basée sur les besoins stratégiques d'urgence pour sécuriser le littoral, et donc le souci de sécurité prime sur l'expression architecturale [26][127].
- Les phares œuvre architecturale (à partir de 1846): le programme d'éclairage maritime établi en 1846 par la commission des Phares était inscrit dans une politique maritime globale qui nécessite l'intervention de plusieurs acteurs, parmi eux on trouve l'architecte et l'ingénieur, qui sont chargés de la conception et le suivi des projet des phares, l'aspect architecturale a pris donc une place importante dans la construction des phares à l'exemple du projet de phare de cap Caxine conçu par LEONCE REYNAUD[26].

---

<sup>162</sup> © google.

A partir de 1846, la construction des phares coloniaux en Algérie suit la même procédure qu'en France, contrairement aux autres colonies françaises<sup>163</sup>. Les plans des phares étaient dessinés par des ingénieurs en France qui suivent aussi l'étape de leur construction avec quelque modification élaboré ensuite par des ingénieurs mise en place dans le site d'implantation. Ces plans sont validés par le directeur du service des Phares et Balises en France l'architecte Reynaud[26][128]. Cela justifie les similitudes des phares algériens à ceux français dans leur aspect techniques en termes d'outils d'éclairage, et en terme architecturale :

#### 4.3.6.1. La conception formelle et volumétrique :

La beauté des phares était dans la simplicité de leurs volumes, et leurs géométries claires qui présentent souvent une symétrie parfaite en plan et en élévation. Trois typologies ont été adoptées généralement :

- Une tour carrée, circulaire ou octogonale, adossée au centre d'un bâtiment rectangulaire d'un ou deux étages, elle peut être haute, moyenne ou basse et prendre une position centrale ou le long d'un côté du bâtiment.
- Une tour carrée, circulaire ou octogonale indépendante d'un ensemble de bâtiment, elle peut être haute, moyenne ou basse.
- Une tour carrée, circulaire ou octogonale sur la terrasse d'un bâtiment rectangulaire, au centre ou excentré, elle peut être haute, moyenne ou basse.

#### 4.3.6.2. L'organisation d'ensemble et l'aménagement extérieur

une composition élégante en réutilisant les dispositions classiques : la symétrie et de l'axialité, dominée par les tours carrées circulaires ou octogonales. L'ensemble est entouré par une enceinte, précédé ou/et succédé par une cour, ou un jardin.

#### 4.3.6.3. Les matériaux et techniques constructives

La maçonnerie de pierre taillée ou en moellon, apparente ou enduite était la technique utilisé pour la construction de tous les phares en Algérie.

---

<sup>163</sup> La commission nautique se limite à un rôle consultatif.

#### 4.3.6.4. Le traitement des façades et les éléments de décoration

Une qualité architecturale remarquable était affichée sur les façades des phares qui réutilise les éléments de l'architecture classique : la symétrie, l'encadrements des ouvertures en pierre, le chaînages d'angles en pierre, l'encorbellement, la corniche simple et à denticules.

Tableau 4.1 : Les similitudes des phares algériens à ceux en France.

Critère architectural	Les phares français	Les phares algériens
Conception formelle et volumétrique	 <p data-bbox="644 1106 818 1137">Phare d'Alistro</p>	 <p data-bbox="1114 1106 1334 1137">Phare de cap Sigli</p>
Organisation d'ensemble et aménagement extérieur	 <p data-bbox="612 1498 852 1529">Phare de la Giraglia</p>	 <p data-bbox="1099 1505 1347 1536">Phare de cap de Fer</p>
Matériaux	 <p data-bbox="624 1995 841 2027">Phare de la vieille</p>	 <p data-bbox="1082 1995 1362 2027">Phare de cap de Garde</p>

<b>Traitement des façades et éléments de décoration</b>		
	<p>Phare de l'île du Grand Rouveau</p>	<p>Phare de cap Ténès</p>
		
	<p>Phare du Mont Saint-Clair</p>	<p>Phare de cap Ivi</p>

#### 4.4. Les phares en Algérie après l'indépendance

Après l'indépendance en 1962, le littoral algérien a hérité de l'état colonial une ceinture lumineuse hiérarchisée et uniformément répartie, qui répondait suffisamment aux besoins de la navigation maritime de l'époque actuelle. En plus de ces phares coloniaux, d'un phare d'origine ottomane à Alger, la façade maritime algérienne a été renforcée seulement par un nouveau phare mise en service en 2010 au cap Bengut à Dellys, qui a été construit suite à la disqualification de l'ancien phare dans ce cap après son endommagement par le séisme de 2003 [26][75].

Selon la carte des phares, feux et port de la côte algérienne établie par l'office national de signalisation maritime, l'éclairage de la façade maritime est assuré aujourd'hui par 26 phares et 11 feux auxiliaires, 174 feux de port et 26 bouées<sup>(164)</sup>. Les phares en fonction sur le littoral algérien sont :

---



- Dans la ligne côtière Ouest on trouve d'Ouest à l'Est: le phare de Ghazaouet, l'île Rachgoun, l'île Habibas, cap Falcon, juté de large à Oran, cap de l'Aiguille, îlot d'Arzew, et le phare de cap Ivi.

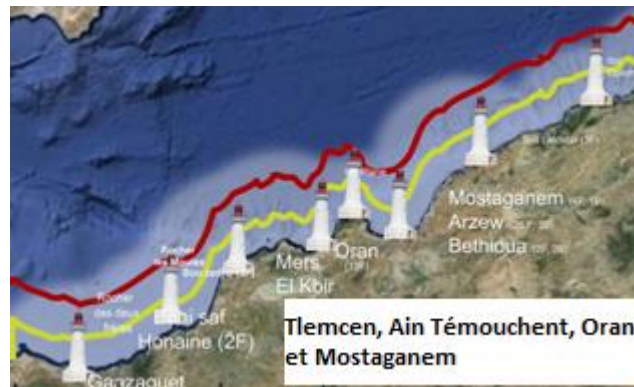


Figure 4.75 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne Ouest

(165).

- Au centre d'Ouest à l'Est on trouve: le phare de cap Colombi, cap Ténès, Cherchell, Ras El Kalia, Tipaza, cap Caxine, l'Amirauté, cap Matifou, et phare de cap Bengut.



Figure 4.76 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne du centre

(166).

- A l'Est on retrouve d'Ouest à l'Est : le phare de cap Corbelin, cap Sigli, cap Carbon, Ras Afia, cap Bougaroun, Djerda, île Srigine, cap de Fer, cap de Garde, et le phare de cap Rosa.



Figure 4.77 : Distribution des phares fonctionnels sur la côte algérienne Est <sup>(167)</sup>.

#### 4.4.1. Le nouveau phare de cap Bengut

Après plus d'un siècle de fonctionnement, l'ancien phare de cap Bengut construit en 1881 est mis hors service à cause des dégâts structurels du séisme de Boumerdès en mai 2003. En effet, un nouveau phare vient juxtaposer l'ancien phare et il a repris la lanterne optique de ce dernier.



Figure 4.78 : Situation de nouveau phare de cap Bengut <sup>(168)</sup>.

Le phare fut construit depuis 2006 sous la direction de l'office nationale de signalisation maritime, et mise en fonction en 2010. Une structure en béton armé [75] construite selon un modèle épuré ressemble aux structures des phares de l'après-guerre en Europe [26]. Le phare est composé d'une haute tour octogonale cantonné de contreforts, de 74.72m de hauteur, centré sur la terrasse d'un

<sup>167</sup> © ONSM.

<sup>168</sup> © Google Maps.

bâtiment développé sur deux niveaux en forme ovale abritant les locaux techniques.



Figure 4.79 : Le nouveau phare de cap Bengut <sup>(169)</sup>.

#### 4.4.2. Etat actuel des phares en Algérie

Le réseau de phares en Algérie demeure un élément essentiel du paysage maritime, compte tenu de leur ancienneté, souvent plus d'un siècle, et leur situation généralement déconnectée du territoire urbain<sup>170</sup>, de leur exposition permanente aux risques naturels. Les bâtiments des phares ont besoin d'un entretien périodique strict. Cela dépend de l'Office Nationale de Signalisation Maritime « ONSM », qui s'occupe des bâtiments, de leur appareillage d'éclairage et aussi de leur terrain d'implantation qui revient au domaine maritime sous la tutelle du Ministère des Travaux Publics.

Aujourd'hui, les phares en Algérie comme participants à la sécurité de la navigation maritime moderne sur le littoral, et éléments du patrimoine maritime du pays, ils présentent un intérêt historique, architecturale, et paysagère indéniable, grâce à leur diversité en termes de formes géométriques et styles architecturaux et aussi pour leur maillage géographique complet et précis. Cependant, seulement deux phares ont été classés comme patrimoine national :

---

<sup>169</sup> © Onsm.

<sup>170</sup> L'absence d'occupation permanente ou régulière des personnels.

- Le phare de cap Caxine classé en 1999 [72], il a été reconverti en un musée maritime tout en gardant sa fonction d'éclairage maritime.



Figure 4.80 : L'intérieur du phare de cap Caxine <sup>(171)</sup>.

- Le phare de cap Bengut classé en 2016 [73] , il se trouve dans un état de dégradation sévère dû au manque d'entretien qui a duré plus de 12 ans malgré le projet de restauration lancé en 2016, seuls les étaielements en bois ont été installés pour supporter les planchers.



Figure 4.81 : Installation des étaielements en bois dans le phare de cap Bengut <sup>(172)</sup>.

#### 4.5. Conclusion

Le programme des phares établi sous le régime colonial français en 1846, constitue un point de changement radical de la politique maritime le long des côtes

<sup>171</sup> © Onsm.

<sup>172</sup> © Amari. K.

algériennes. En passant d'une signalisation ponctuelle datant de l'antiquité traduite par l'installation de quelques feux et phares en des points stratégiques de la façade maritime sans aucun principe générateur, à une ceinture lumineuse linéaire, hiérarchisée et uniformément répartie. Cette dernière se traduit par les 25 phares placés sur des caps élevés, des îlots, et des îles bordant le littoral, et construits durant les XIXème et XXème siècles.

D'un point de vue architectural, les phares coloniaux qui se croiseront deux à deux sur une ligne côtière de 1622km, présentent une forte similitude à l'architecture des phares du XIXème siècle produits en France et ses colonies. Une architecture riche et diversifié par les formes géométriques, les typologies architecturales et l'expression esthétique.

Jusqu'à aujourd'hui, et depuis la frontière du Maroc jusqu'à celle de la Tunisie, le système d'éclairage en Algérie est composée d'un réseau de 25 phares hérités de l'état colonial, le phare ottoman de l'Amirauté au port d'Alger, et un nouveau phare fut construit à Dellys à la place de l'ancien phare colonial disqualifié, et allumé depuis 2010.

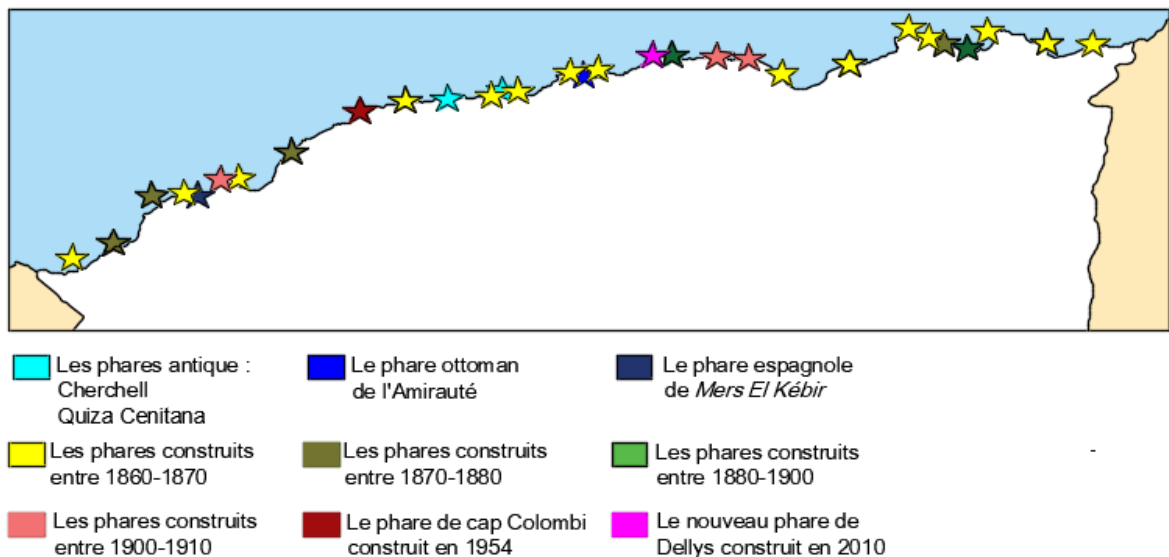


Figure 4.82 : Les phares construit en Algérie depuis l'antiquité jusqu'à aujourd'hui

(173)

## CHAPITRE V.

### LES PHARES FACE AUX RISQUES NATURELS ET L'ÉVALUATION DE LEUR VULNERABILITE

#### 5.1. Introduction

On peut définir le risque naturel par la rencontre d'un aléa naturel avec des enjeux humains, économiques ou environnementaux<sup>174</sup>. A la lumière de cette définition, le littoral développe une vulnérabilité multiple face aux risques naturels car il a toujours été un territoire favorable pour les établissements humains. Les risques naturels au milieu urbain côtier ont souvent des effets dévastateurs sur le cadre bâti en général et les structures maritime (phares, constructions portières) en particulier. Ces risques regroupent les phénomènes terrestres : séismes, mouvements des terrains, inondations, et vents, et aussi les phénomènes maritimes : inondations marine, houles, érosions marines et Tsunamis [129].

Le littoral algérien, représente un territoire exposé souvent aux risques naturels terrestres comme maritimes. En effet, les bâtiments des phares sont soumis à un nombre important d'aléas naturels, à cause de leur situation géographique et la morphologie géologique du site d'implantation.

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en maçonnerie est une approche extrêmement complexe. C'est un grand défi auquel sont confrontés les ingénieurs de structure. Elle nécessite un bon niveau de connaissance de la structure et du risque sismique, et une bonne maîtrise des méthodes et des outils d'analyse sismique. A ce propos, on présente dans ce chapitre :

- Les critères de la vulnérabilité sismique des tours en maçonnerie.
- Les différentes méthodes qualitatives et quantitatives d'analyse sismique adopté par les règlements internationaux de l'échelle urbaine jusqu'à celle

---

<sup>174</sup> Le risque n'a d'effet qu'en présence de l'homme et de ses édifices dans le bassin d'impact

d'un seul bâtiment, et en particulier les approches d'évaluation de la vulnérabilité sismique des tours en maçonnerie.

- L'approche adoptée dans notre analyse sismique des phares en Algérie : le logiciel d'analyse, la stratégie de modélisation, la caractérisation des matériaux, et aussi la méthode d'analyse numérique.

## 5.2. Le phare et les risques naturels

A la rencontre entre terre et mer, le territoire dans lequel ils s'inscrivent les phares est soumis à un nombre important de risques naturels, ces bâtiments sont donc exposés à plusieurs risques majeurs, dont certains sont spécifiques au bord de mer. On cite ici les trois types de risque qui peuvent toucher le cadre bâti sur la ligne côtière :

### 5.2.1. Le risque sismique

Selon l'UNDRO, le risque sismique représente le degré de pertes des vies humaines et de biens exposés dans une zone donnée, sur une période de référence d'un an. Alors que l'aléa sismique est défini par la probabilité d'avoir une secousse sismique, caractérisé par une intensité macrosismique IM, dans un site défini et dans un intervalle de temps défini [130]. Ces mouvements se produisent généralement au niveau de la jonction des plaques tectoniques, le long des anciennes fractures de l'enveloppe terrestre et ses zones de faiblesse [131].

La carte de la sismicité mondiale représentée sur la Fig. 5.1 montre que la majorité des lignes côtières et les fonds maritime près de la côte qui doivent accueillir les structures de signalisation maritimes, sont caractérisés par une activité sismique importante dont la magnitude au moins est égale à 4. Au vu de leur situation géographique dans une zone terrestre ou en plein mer/océan, les phares sont donc exposés au risque sismique soit directement ou touchés par les conséquences des mouvements sismiques des fond marins.

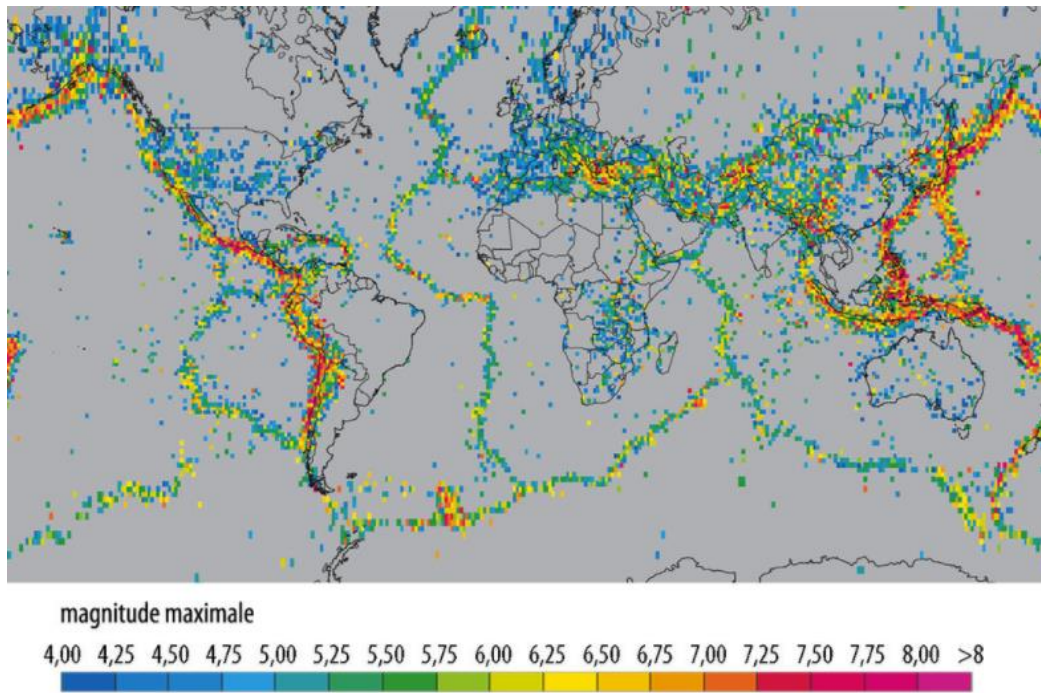


Figure 5.1 : carte de sismicité mondiale entre 1900 à 1997 [132].

Le séisme constitue un risque majeur, le plus probable et le plus destructif, à cause de son impact direct sur le cadre bâti, et aux phénomènes naturels qu'il induit : glissements des terrains ou les tsunamis dans les zones côtières [133]. Les dégâts post-sismiques sur le cadre bâti dépendent des caractéristiques du séisme (magnitude, fréquence, durée) et de la vulnérabilité des bâtisses (matériaux, typologie constructives, et configuration géométrique), les dommages qui touchent le cadre bâti peuvent aller jusqu'à l'effondrement global des structures.

On peut apercevoir les conséquences du risque sismique sur les bâtiments des phares dans la méditerranée à travers l'exemple du phare d'Alexandrie qui a été détruit en 1302 par un tremblement de terre [19], le phare de la pointe Ribeirinha au Portugal détruit par un récent tremblement de terre en 1998 et le phare de cap Bengut en Algérie touché par le séisme de Boumerdès en 2003.





Figure 5.2 : Exemple des phares touché par le risque sismique <sup>(175)</sup>.

### 5.2.2. Les risques climatiques

Les phares sont aussi soumis aux risques liés aux phénomènes atmosphériques qui viennent en deuxième position après l'aléa sismique en vue de leur impact sur la ligne côtière. Les conditions climatiques au bord de la mer peuvent provoquer des violentes tempêtes qui engendrent le risque des vents et la force des vagues particulièrement dans le cas des phares isolés en mer/océan, ils peuvent causer aussi le risque d'inondation terrestre ou marine et des phénomènes associées (humidité et corrosion).

#### 5.2.2.1. Le risque des houles (l'action des vagues)

Malgré que les tempêtes en pleine mer ou près des côtes aient une fréquence faible durant l'année, mais l'impact de leurs violentes vagues présente un risque majeur de premier degré sur les phares érigés en plein mer, soit sur un récif rocheux ou un fond sableux. La structure du phare est entourée de profondeurs d'eau, et donc les vagues ont le potentiel d'atteindre le haut du phare lors des tempêtes et de provoquer des dommages dues à l'interaction vague/structure. Les phares à terre situés sur des caps sont aussi soumis à l'action des vagues dangereuses qui frappent souvent les côtes rocheuses [134] [135] .

---

<sup>175</sup> © alamyimages.



Figure 5.3 : Exemple d'un phare isolé en mer face aux violentes vagues [136].

Lorsqu'une vague se brise contre le phare, la structure est exposée à la charge de pression de l'eau, à la succion due au retraitement des vagues, et aussi aux vibrations par suite de chocs successifs des vagues<sup>176</sup>. Cette force est capable de provoquer la formation d'une charnière circulaire créée sur le côté opposé de la force [137]. La Fig.5.4 représente le comportement du phare de Wolf Rock face à la force des vagues.

---

<sup>176</sup> Le phénomène de résonance.

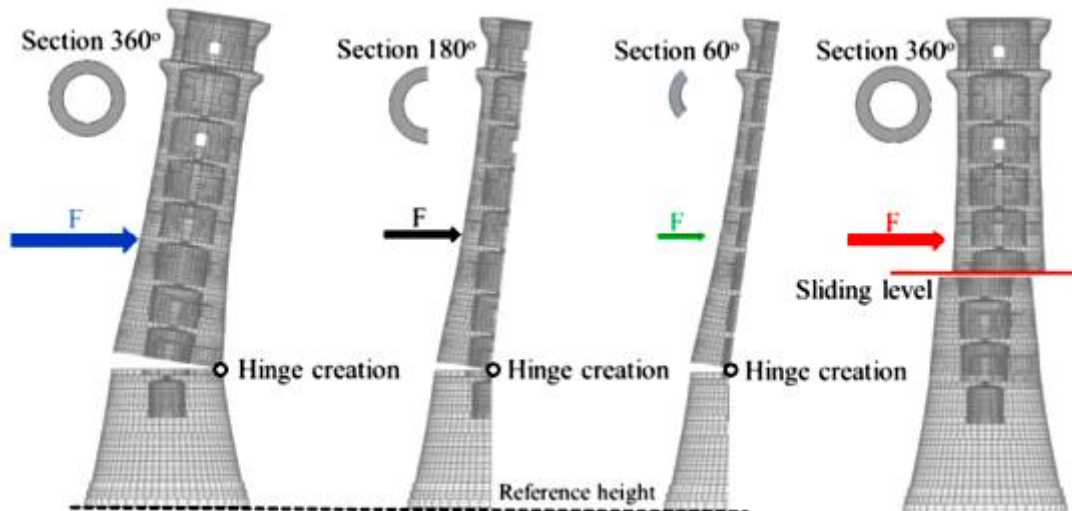


Figure 5.4 : Les mécanismes de rupture due à la force des vagues [138].

Vu l'impact destructif de cet aléa naturel sur la structure des tours de signalisation maritime situées en plein mer, un nombre important d'études ont été élaborées à ce propos, et sur plusieurs phares : TRINH et al 2016 [139], BANFI et al 2017 [140] et RABY et al 2019 [135], BANFI 2018 [141] sur le phare d'Eddystone, PAPPAS et al 2018 [138], 2021 [137] sur le phare de Wolf Rock , BROWNJOHN et al 2018 sur les phares britanniques [142], DENARIE et FADY 2019 [136], FILIPOT et al 2019 [143] sur le phare de la Jument, PAPPAS et al 2019 [144], ANTONINI et al 2019 [145] sur le phare de Fastnet.

Le comportement des phares face au risque des houles dépend à la fois des caractéristiques de la structure en terme de fréquences propres, configuration géométrique et de la manière dont les vagues s'approchent du phare : la variation temporelle et spatiale de la force des vagues [140]. L'incertitude de la force réelle des vagues sur les phares en mer rend ce phénomène peu connu et ne nous permettra pas de connaître le vrai comportement de la structure lors des tempêtes. L'un des phares détruits par le risque des tempêtes violentes est le premier phare d'Eddystone en 1703.

#### 5.2.2.2. Le risque du vent

Selon les scientifiques spécialisés dans le domaine de la construction et la fabrication des phares, FRESNEL, SMEATON et RANKINE, l'action du vent sur la

structure est définie comme une force horizontale, uniforme et seulement dans le sens du vent [146]. Un coefficient de  $\frac{1}{2}$  selon RANKINE, et de  $\frac{2}{3}$  selon FRESNEL, a été appliqué pour obtenir la pression du vent sur les structure des phares quelle que soit leur hauteurs et diamètres ; pour les tours métalliques, EIFFEL a proposé un coefficient de 0,9 [146].

Les phares sont souvent exposés aux vents à cause de leur situation géographique en bord ou isolés en mer [147]. D'un point de vue géométrique, le carré est la forme la plus affectée par l'action du vent. FRESNEL a supposé que l'effort exercé sur une tour cylindrique est égal aux deux tiers de celui exercé sur une section carrée, cela justifie le choix de cette forme pour les tours de faible hauteur, alors que les tours cylindriques et octogonales sont généralement hautes.

Pratiquement, la force des vents ne présentent pas de risques majeurs sur la stabilité structurelle des phares sauf celui en métal [20], dont aucun phare dans l'histoire de la signalisation maritime n'a été détruit sous l'impact du vent. Cela est aussi démontré théoriquement par l'ingénieur français FRESNEL qui a évalué et confirmé la résistance de plusieurs phares existants. Cependant, les dommages qui peuvent être causés par l'action du vent d'ordre structurel sont: le développement des dégâts déjà existant dans la structure tel que l'ouverture des fissures dans le cas de phare de l'île Vierge [148], et généralement d'ordre fonctionnel : ils affectent le système optique et le confort des gardiens [61].

### 5.2.2.3. Le risque de l'inondation et ses phénomènes associés

Comme toutes constructions sur le littoral, les phares sont soumis au risque d'inondation soit intérieure<sup>177</sup>, ou les submersions marines [149], Le phénomène d'inondation est reconnu comme l'un des facteurs destructifs du cadre bâti qui a déjà endommagé au fil des siècles des villes et leur patrimoine architectural [150] [151], cela est dû principalement au non prise en considération de cet aléa lors de la conception des édifices [152].

---

<sup>177</sup> D'origines terrestres causées par les eaux de la pluie sur le littoral.

Le risque d'inondation affecte principalement le sol sur le quel est implanté la structure<sup>178</sup>, les matériaux de construction et les aussi éléments architecturaux en causant des dégâts structurels directs et indirects, qui peuvent provoquer l'effondrement de l'édifice [151]. Selon DRDACKÝ, l'action de l'eau d'inondation sur les structures peut causer plusieurs types d'effets: pression statique horizontale/hydrostatique ascendante, flux dynamiques, compactage des sols, saturation des matériaux en eau, contamination des matériaux par des agents chimiques et biologiques [153]. Ces aspects sont étroitement liés aux matériaux de construction :

- Les phares en maçonnerie de pierres: le cas de la majorité des phares, ils sont touché par cet aléa indirectement sous la forme d'humidité qui peut causer des fissures, des infections biologiques [153] et la corrosion en présence des éléments métalliques [147].
- Les phares métalliques : sous l'impact des eaux d'inondation terrestre ou marine, la corrosion constitue la principale cause de la détérioration des phares métalliques [34], elle est défini comme une réaction chimique d'un métal avec son environnement, le type et le degré de ce phénomène dépend des composantes du métal lui-même, et de l'environnement marin : l'eau de la mer ou de la pluie et l'air marin [154].
- Les phares en bois : cette catégorie est la plus affecté par le risque d'inondation, dont les structures en bois peuvent facilement s'effondrer en raison de leur saturation en eau [153].

Les effets post-inondation sont aussi dangereuse que l'inondation elle-même, ils ne touchent pas seulement les matériaux et les superstructures en contact avec les eaux, mais aussi les fondations qui se trouvent toujours en interaction avec le sol [155], et donc différents phénomènes se produisent : les fissures dans les murs dues au tassement différentiel, gonflement ou glissements de terrain et détérioration des fondations.

---

<sup>178</sup> Dans le cas de sols argileux, Les fondations provoque la montée d'humidité et conduire à des problèmes structurels, à cause de saturation du sol en eau.

### 5.2.3. Les risques géologiques

Pour les raisons de la sécurité maritime, la majorité des phares terrestres ou en plein mer sont implantés sur des sites de nature géologique rocheuse en forme de : falaise, cap, pointe, îlot, île ou récif qui peuvent être exposés aux phénomènes de mouvement des terrains. Certaines structures de signalisation maritime sont plutôt installées sur des sols exposés à l'érosion marine, et rarement sur des terrains argileux qui souffrent aussi des phénomènes de mouvement des terrains.

#### 5.2.3.1. Le mouvement des terrains

Les mouvements de terrain dus à l'activité géologique ou sismique du sol peuvent prendre plusieurs formes selon la morphologie du sol (nature géologique, relief, pente et hydrogéologie), et les facteurs de déclenchement<sup>179</sup>: les affaissements, les tassements, les glissements, le retrait-gonflement, les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements [156].

Ces phénomènes géologiques sont fréquents aux milieux littoraux et influencent directement la stabilité structurelle des bâtiments côtiers en général et les phares en particulier, ils peuvent causer des dommages négligeables à très sévères au niveau des fondations ainsi que dans la structure [157]. Le sol transmet les déformations dus aux mouvements vers la structure à travers le frottement et la pression en dessous des fondations. Les déformations dépendent de la morphologie du sol, la configuration, le type et l'orientation de fondation par rapport à l'aléa [158]. Les bâtiments des phares en maçonnerie et en béton sont considérés comme des structures rigides, ils présenteront une concentration des contraintes au niveau des points rigide et pourraient causer l'effondrement de la structure, alors que le comportement des structures souples telles que les phares métalliques et en bois peut suivre les déplacements verticaux du terrain [159].

---

<sup>179</sup> Ce sont des causes soit naturels (activité sismique ou conditions hydro-météorologiques), atrophiques (travaux de terrassement, excavation, etc.)

### 5.2.3.2. l'érosion marine

L'érosion marine est un phénomène naturel qui touche les milieux côtiers, elle est causée par divers facteurs tels que le vent, les vagues, les courants et les houles [160]. Ce phénomène dépend également de la morphologie géologique des sites, dont les côtes sableuses sont considérées comme les plus sensibles territoires à l'érosion marine, puisque les sables mobiles sont remaniés par l'action des vagues, ou des vents déterminant un recul linéaire [133].

Parmi les exemples des phares touchés par l'aléa d'érosion marine, on cite le phare de Rubjerg Knude au Danemark, une dune de sable mouvant est installée entre le phare et la mer et progressivement, elle a couvert le bâtiment Fig. 5.5. En 2003. Le toit du phare a été enlevé pour éviter les accidents [161][162], et en 2019, le bâtiment a été déplacé à 70 mètres du bord de la falaise[163].



Figure 5.5 : Le phare de Rubjerg Knude [156].

### 5.3. Les phares en Algérie face aux risques naturels

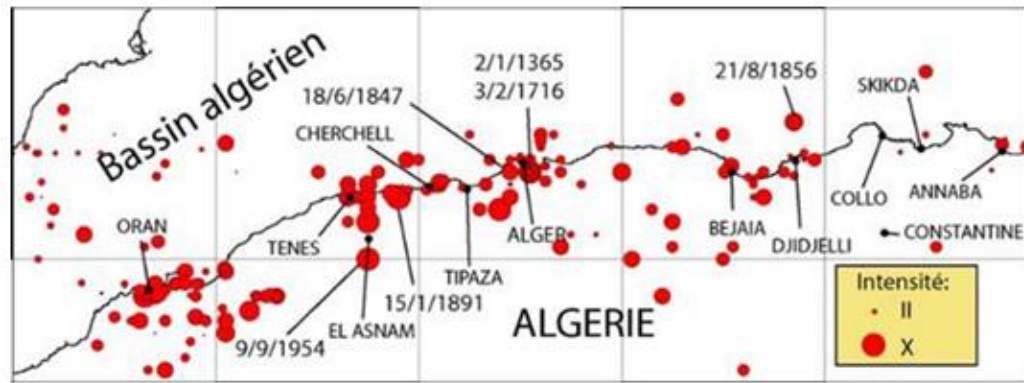
Parmi les quatorze risques majeurs répertoriés par l'ONU, l'Algérie est exposée à dix risques cités par la loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable [164]. Les structures des phares sont localisées au Nord algérien, et sont exposées aux

aléas terrestres et aussi à ceux liés à la mer : les séismes, les risques climatiques et les aléas géologiques.

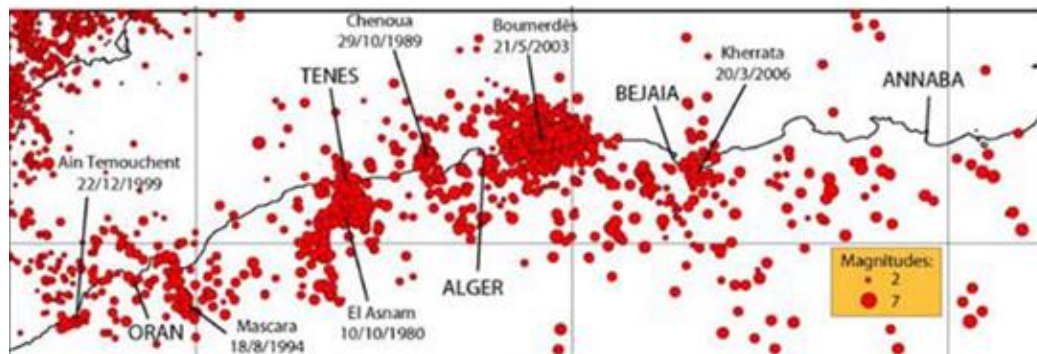
### 5.3.1. le risque sismique

En termes de sismicité historique, le Nord algérien est classé parmi les zones les plus actives du Bassin Méditerranéen [165], où il se produit périodiquement des tremblements de terre majeurs. Il est caractérisé par un grand nombre d'évènements sismiques modérés à faible, et parfois forts à violents et meurtriers. Selon les différents catalogues de sismicité en Algérie : ROUSSEL 1973 [166], BENHALLOU 1971 [167] et 1985 [168], CRAAG 1994 [169], MOKRANE 1994 [170], BENOUAR 1994 [171], BOUDIAF 1996 [172], YELLES et al 2002 [173], HARBI 2010 [174], nous pouvons citer ceux les plus significants : Alger 1365,1716 (l'intensité macrosismique épacentrale  $I_0=10$ ) ; Oran 1790 (magnitude estimée à 6.5-7.5, l'intensité macrosismique épacentrale  $I_0=11$ ); Blida 1825 (magnitude estimée à 7.5); Djidjel en 1856 (magnitude estimée à 7.5) et Gouraya 1891 ( $M_s=7.5$ ) [169]. Et parmi les plus récents, on cite ceux de : 1910 à Aumale, 1954 à Orléansville, 1980 à El Asnam ( $M_s=6.0$ ), 1985 à Constantine, 1989 à Tipaza ( $M_s=6.0$ ), 1994 Mascara ( $M_s=6.0$ ), 1999 à Ain Témouchent ( $M_s=5.9$ ) [175] et celui de mai 2003 de Boumerdès qui a atteint une magnitude de 6,8 sur l'échelle de Richter [176]. Ce dernier était le plus destructif séisme dans le Nord algérien après celui d'El Asnam en 1980 en terme de perte humaines et cadre bâti [177]. Après le séisme Boumerdès et jusqu'à nos jours, un nombre importants évènements sismique a eu lieu au Nord algérien avec une magnitude de faible à moyenne et sans aucun dégâts matériel ou humaine dont on peut citer : le séisme de Béjaïa en mars 2022 ( $M_s=5.5$ ) et celui d'Oran en juin 2022 ( $M_s=5.1$ ) [169].





(a)



(b)

Figure 5.6 : carte de la sismicité historique du Nord algérien : (a) de 1365 à 1972, (b) de 1973 à 2006 [178].

L'activité sismique du nord algérien a montré une forte vulnérabilité du littorale face au risque sismique en raison d'une grande densité urbaine. Suivant la carte de sismicité en Algérie représentée dans la Fig.5.7, la ligne côtière est caractérisée par quatre zones sismiques différentes: la zone I, la zone II a avec  $PGA = 0,25 g$ , la zone II b avec  $PGA = 0,3 g$  et la zone III avec  $PGA = 0,4 g$  [179].



Figure 5.7 : Localisation des phares en Algérie sur la carte sismique, CGS [165].

En effet, L'aléa sismique représente le premier risque majeur qui touche les bâtiments des phares en Algérie, cela est montré à travers les dommages structurels du phare de cap Bengut (Dellys) sous le tremblement de terre de Boumerdès en mai 2003 [165].



Figure 5.8 : l'état de conservation du phare de cap Bengut après le séisme de Boumerdès 2003 <sup>(180)</sup>.

### 5.3.2. Les risques climatiques

La catégorie des aléas climatiques vient en deuxième position après les séismes dans le classement national algérien des risques majeurs vu l'ampleur des dégâts matériels et immatériels engendrés [164]:

- En ce qui concerne le risque des houles qui touchent en particulier les phares isolés en mer : l'Algérie ne possède aucune tour de signalisation maritime en plein mer, sauf quelques phares sur des îles ou îlots qui se situent près de la côte. Par conséquent, les houles et leurs vagues ne constituent pas un risque d'ordre majeur sur les structures des phares.
- La côte algérienne est caractérisée par la dominance des vents permanents d'Ouest Nord Ouest et d'Est Nord Est viennent du large, les vents d'Ouest dominant toute les saisons et sont trois fois plus fréquents que ceux d'Est [82][88]. La carte des vents tertiaire en Algérie représenté

---

<sup>180</sup> © pinterest.

sur la Fig.5.11 montre la prédominance de la troisième et la quatrième zone sur le littoral avec une vitesse de 3 à 5 m/s à 25m de hauteur. En effet, l'action des vents tertiaire ou maritime sur la ligne côtière est faible et son risque sur bâtiments des phares est considérée négligeable.

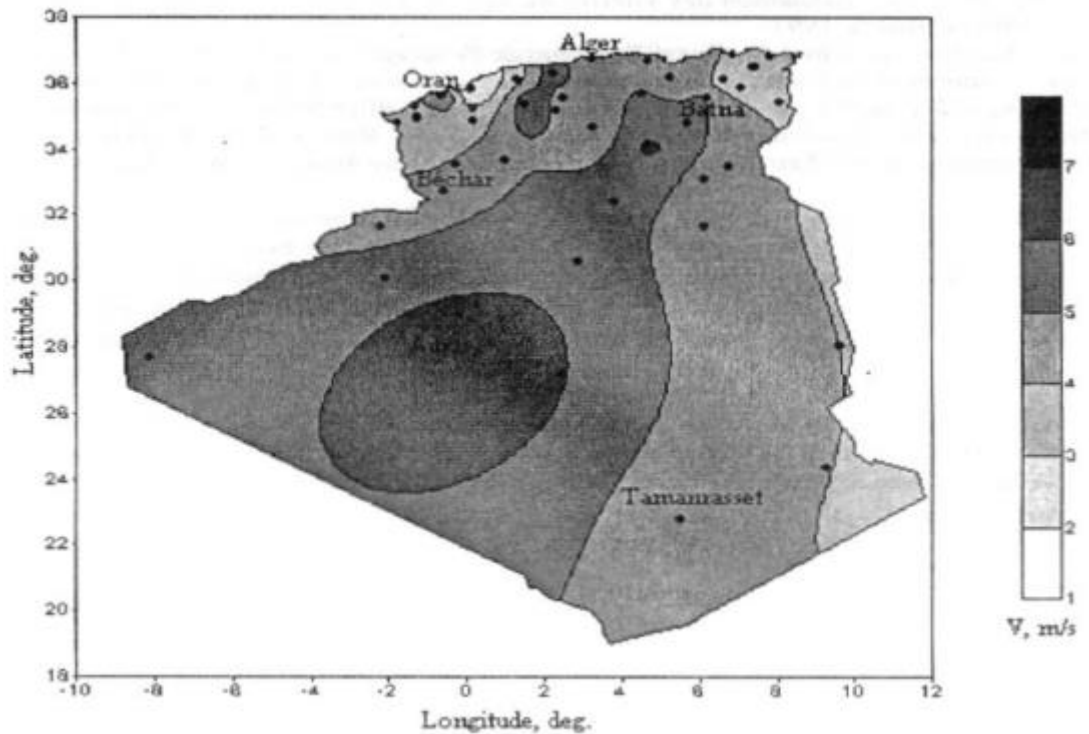


Figure 5.9 : La carte des vents en Algérie mesurée à 25 mètres d'altitude [180].

- Tous les bâtiments des phares en Algérie sont construits en maçonnerie de pierres soit taillées ou en moellons. Cela diminue l'impact direct et indirect (l'humidité) des inondations sur les phares, car ce phénomène a plus d'effets destructifs sur les phares métalliques, en bois ou en brique de terre que à ceux en pierre [153].

### 5.3.3. Les risques géologiques

Sur un linéaire d'environ 1622 km, la côte algérienne offre une grande variété morphologique, donc les sites qui reçoivent les phares en Algérie sont exposés aux :

- mouvements de terrain qui sont classés parmi les risques majeurs [158], En effet la ligne côtière est caractérisée par une grande sensibilité aux mouvements gravitaires [181], et donc cet aléa a un impact direct sur les bâtiments des phares.
- L'érosion marine ne représente pas un phénomène naturel qui peut avoir des effets destructifs sur les structures des phares, car aucun phare n'est installé sur un site sableux.

#### 5.4. La vulnérabilité sismique des phares

La vulnérabilité sismique est définie comme la susceptibilité d'une structure aux dommages causés par des secousses du sol et d'une intensité donnée dans un site spécifique. Elle est en fonction de nombreux paramètres physiques et géométriques propres de la structure (le matériau de construction, la période de vibration fondamentale, la configuration géométrique en plan ou en élévation) et les caractéristiques du séisme (Magnitude, Intensité, Fréquence) [182][183] et on distingue deux formes : la vulnérabilité observée  $V_o$ <sup>181</sup> et la vulnérabilité prédite  $V_p$ <sup>182</sup>.

##### 5.4.1. La stabilité structurelle des tours en maçonnerie

Le comportement des structures en maçonnerie est particulièrement complexe et dépend de plusieurs facteurs : la configuration géométrique de la structure, la qualité des matériaux et les conditions réelles du bâtiment. Cependant, certaines caractéristiques communes peuvent être reconnues : un poids propre élevé, une bonne résistance à la compression et au cisaillement avec une résistance négligeable à la traction, un comportement structurel anisotrope qui dépend de l'histoire du bâtiment [184][185][186].

---

<sup>181</sup> Elle est évaluée à partir de l'observation des dommages poste-sismique sur une construction.

<sup>182</sup> Elle estimée à partir de la prédiction des dommages que pourrait provoquer un futur séisme sur une construction.

#### 5.4.2. Les critères de la vulnérabilité sismique des tours en maçonnerie

Selon plusieurs chercheurs dans le domaine de la vulnérabilité sismique des bâtiments anciens en maçonnerie: BINDA et al 2000 [187], BECONCINI et al 2001[188], CASCIATI et al 2009 [189], CASOLO et al 2013 [190], PINTUCCHI et al 2014 [191], BARTOLI et al 2016 [192], TORELLI et al 2020 [193], AMARI et al 2020 [165], les tours sont classées comme des structures particulièrement vulnérables face aux actions dynamiques : vent, mouvement des cloches<sup>183</sup> et surtout l'action sismique. Dans le cas d'un tremblement de terre, ces structures ont présenté de graves dommages, des fissures de cisaillement vertical et peuvent causer aussi des défaillances locales ou globales [191].

La vulnérabilité sismique des tours en maçonnerie n'est pas liée seulement à la sismicité de lieu où se trouve le bâtiment, mais elle dépend aussi de la hauteur et d'élançement des tours<sup>184</sup>[191], de la configuration géométrique de la structure en plan [192], et également de la maçonnerie elle-même comme matériau de construction [190]. En effet, on peut citer trois critères importants qui influencent particulièrement la vulnérabilité des phares en maçonnerie:

##### 5.4.2.1. La verticalité :

En raison de leur hauteur, leur élançement et de leur poids propre, les tours sont soumises à des charges gravitaire permanentes grandes, donc les contraintes verticales de compression sont élevées à la base, souvent du même ordre de grandeur que la résistance limite en compression du matériau [190][191]. Lors des secousses sismiques, les charges gravitaires combinées à l'élançement conduisent à une contrainte de compression élevée, des charges de flexion supplémentaires et une dérive latérale importantes. À long terme, l'ensemble de ces contraintes peuvent provoquer des dommages locaux ou des effondrements globaux [165][191][194][195]. Parmi les tours historiques endommagés par leurs

---

<sup>183</sup> Les vibrations induites par le mouvement de la cloche dans les tours ou tourelle des cathédrales.

<sup>184</sup> Ce paramètre est défini comme le rapport entre la hauteur de la tour et la longueur de sa base, il donne une idée générale sur la vulnérabilité attendue.

charges: le dernier effondrement du 14 juillet 1902 de la tour Saint-Marc [196], le clocher de la cathédrale de Monza [187] et la cathédrale de Pavie [190][197].



Figure 5.10 : L'effondrement soudain de la tour de Saint-Marc le 14 juillet 1902, par Antonio De Paoli <sup>(185)</sup>.

#### 5.4.2.2. La configuration géométrique en plan

D'après la conception fonctionnelle des phares présentée dans la section 3.3.3, leurs bâtiments peuvent prendre deux configurations géométriques en plan : phare-tour, phare-tour accolée à un bâtiment adjacent. Comme il est déjà mentionné, la tour en tant qu'élément isolé en présence de charges à long terme ou sous charge d'événements sismiques, présente des contraintes verticales de compression très élevées, des charges de flexion importantes, et une concentrations de stress [190]. Dans le cas des phares composés d'une tour et un bâtiment adjacent de basse hauteur, l'interaction tour/structure influence directement la vulnérabilité du bâtiment. L'élancement<sup>186</sup> de la tour est réduire mais, en parallèle, cela produit la concentration des contraintes au niveau de la zone de contact [192].

---

<sup>185</sup> © lefigaro.

<sup>186</sup>L'élancement dans ce cas la est calculé en prenant compte seulement la hauteur de la partie libre de la tour.

#### 5.4.2.3. Le matériau :

Le comportement sismique de toutes les structures en maçonnerie a démontré par le temps une susceptibilité particulière d'être endommagé, effondré partiellement et même totalement [187]. En particulier, les tours qui présentent des contraintes verticales souvent élevées en bas de la structure, ces dernières peuvent avoir des problèmes d'instabilité : l'écrasement de la maçonnerie à la base et/ou même le tassement des fondations [189][187]. La réponse sismique des constructions en maçonnerie dépend en particulier des caractéristiques suivantes :

- Qualité des murs: le comportement mécanique global dans le plan et hors plan est étroitement lié à la géométrie des composants, l'interaction entre eux et aussi leurs propriétés, qui sont extrêmement variables [184][198].
- Élançement des murs : dans les anciennes constructions en maçonnerie URM, le mécanisme hors plan est le type de dommage le plus observé dans les diagnostics post-sismique [199][200].
- Organisation structurale : lors d'un séisme, elle assure la bonne répartition des charges entre les éléments porteurs, réduire les mécanismes hors plan et augmenter la redondance structurale [184].
- Rigidité et résistance des diaphragmes horizontales: la présence de connexions efficaces entre les murs orthogonaux, entre les murs et les diaphragmes horizontaux assure le comportement de " la boîte" [84].

#### 5.5. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

L'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant en maçonnerie est un sujet très abordé au cours des dernières décennies en vue de ses valeurs architecturales et patrimoniales. A ce propos, la littérature scientifique récente développe plusieurs méthodes d'analyses et approches d'évaluation de la vulnérabilité sismique, qui se distinguent les unes des autres par l'échelle d'investigation (l'échelle d'une construction ou à grande échelle), et par le degré de précision [201]. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité qui ont été proposées au fil du temps peuvent être divisées en deux catégories principales : empirique ou analytique, toutes deux pouvant être utilisées dans des méthodes hybrides.

5.5.1. les méthodes empiriques :

Les approches empiriques sont employées généralement dans les analyses sismiques à grande échelle, ils sont basés sur la reconnaissance *in situ* pour établir des statistiques sur les dommages post-séisme. Il existe deux principaux types de méthodes empiriques pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments : les matrices de probabilité de dommages DPM et les fonctions de vulnérabilité [202].

5.5.1.1. Les matrices de probabilité de dommages DPM:

C'est une méthode directe<sup>187</sup> basées sur le jugement et l'opinion d'experts qui s'exprime sous forme de probabilité conditionnelle d'obtenir un niveau de dommage dû à un tremblement de terre d'intensité donnée, elle propose quatre niveaux de vulnérabilité sur l'échelle MSK [203], et cinq niveau sur l'échelle macrosismique EMS98 [204].

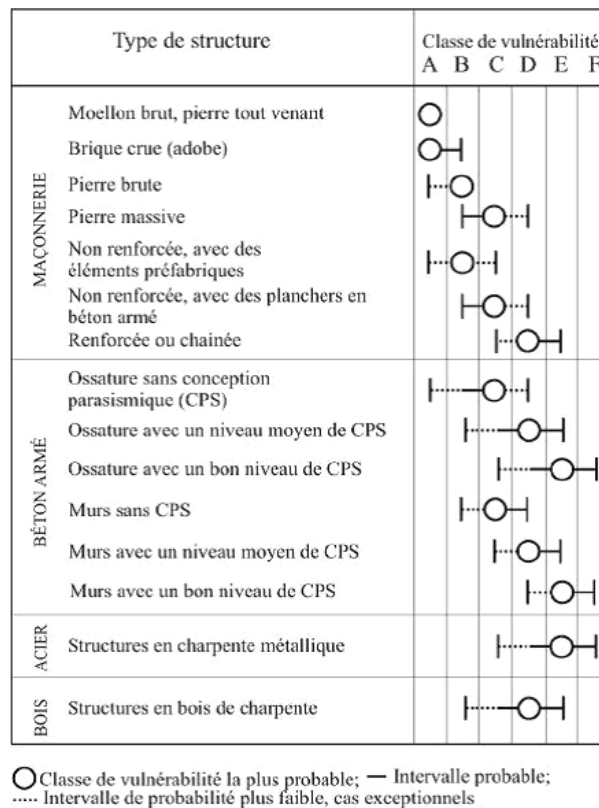


Figure 5.11 : Les classes de vulnérabilité selon l'EMS98 [204].

<sup>187</sup> Il existe une relation directe entre la typologie du bâtiment et les dommages constatés.



#### 5.5.1.2. La méthode de l'indice de vulnérabilité

La méthode de l'indice de vulnérabilité a été utilisée largement en Italie, elle est basée sur une les données d'enquête sur les dommages<sup>188</sup>, l'indice de vulnérabilité sismique varie de 0 à 1, où 0 représente les bâtiments les moins vulnérables et 100 les plus vulnérables [205]. Parmi les projets qui ont employés cette méthode on cite : le projet RISK UE [206] et le projet Catania [207][208].

#### 5.5.1.3. Les courbes de vulnérabilité continues

Les fonctions de vulnérabilité continues sont basées directement sur les dommages poste-sismiques causés aux bâtiments, en exprimant la probabilité de dépasser un état de dommage donné en fonction de l'intensité du séisme [202].

#### 5.5.1.4. Les méthodes de dépistage

La méthode de dépistage adopte l'approche d'indice sismique japonaise [209]. Selon cette méthode, la capacité sismique d'un bâtiment est représentée par une valeur d'indice sismique en fonction de sa résistance et de sa ductilité<sup>189</sup>, elle propose trois niveaux de dépistage. Cette méthode a été calibrée pour les bâtiments turcs à l'aide d'analyses statiques non linéaires [210].

#### 5.5.2. Les méthodes analytiques/mécaniques

Les méthodes analytiques sont plus détaillées que celles empiriques, ils permettent d'établir des études d'évaluation avant le séisme, et également d'élaborer un étalonnage à diverses caractéristiques sur les bâtiments et l'aléa sismique, cela rendre ce type de méthode comme un outil idéale d'évaluation sismique et dans les études paramétriques visant la définition/calibrage de la planification et la rénovation urbaine [202].

---

<sup>188</sup> Tels que : la configuration en plan et en l'élévation, le type des fondations, les éléments structuraux et non structuraux, l'état de conservation, et le type et la qualité des matériaux.

<sup>189</sup> Pour des raisons économiques, cette méthode n'est pas convenable pour l'évaluation du risque sismique à grande échelle.

#### 5.5.2.1. Les courbes de vulnérabilité et les DPM dérivés analytiquement

Une combinaison des probabilités de dommages DPM avec les fonctions de vulnérabilité à été adopté en assemblant les statistiques de dommages post-sismique avec des statistiques de dommages analytiques<sup>190</sup>, cette méthode se base sur trois étapes : la caractérisation de la structure lorsqu'elle est soumise à des charges dynamiques, la caractérisation du séisme et la quantification de la réponse structurelle [202].

#### 5.5.2.2. Les méthodes hybrides

Les modèles hybrides sont utilisés particulièrement dans le cas de manque des données de dommages à certains niveaux d'intensité<sup>191</sup>, dont ils permettent de réaliser un calibrage du modèle analytique. KAPOS et al [211][212] ont dérivé des matrices de probabilité de dommages DPM en utilisant la procédure d'indice de vulnérabilité, BARBAT et al [213] ont utilisé la méthode de l'indice de vulnérabilité italienne pour une vulnérabilité hybride évaluation des zones urbaines en Espagne [202].

#### 5.5.2.3. Les méthodes basées sur les mécanismes d'effondrement

Les méthodes basées sur les mécanismes d'effondrement sont généralement utilisé dans le cas des bâtiments en maçonnerie URM. Afin de déterminer la formation des mécanismes d'effondrement dans le plan et hors du plan au niveau de la structure, le calculé est élaboré à partir d'une analyse mécaniques par une procédure statique équivalente. Parmi ces méthodes, on peut citer : VULNUS proposé par BERNARDINI [214] et FaMIVE proposé par D'AYALA et SPERANZA [215].

#### 5.5.2.4. Méthodes basées sur le spectre de capacité HAZUS (Hazard US)

HAZUS est un projet élaboré par l'Institut national en science de la construction NIBS aux Etat Unis en coopération avec l'Agence fédérale de gestion des

---

<sup>190</sup> Qui sont simulés à partir d'un modèle mathématique.

<sup>191</sup> L'utilisation d'observation in situ réduit l'effort de calcul.

urgences FEMA [216][217], afin de développer une méthodologie l'estimation de la vulnérabilité sismique à l'échelle urbaine. La procédure est basée sur la méthode du spectre de capacité de l'ATC-40 [218] En représentant le déplacement horizontal de la structure sous l'augmentation de la charge latérale, cette méthode est appliquée en Turquie [219], à Oslo [220], à Taïwan [221], et le projet RISK\_UE.

#### 5.5.2.5. Les méthodes basées sur le déplacement

Le déplacement horizontal de la structure est défini comme un indicateur fondamental des dommages post-sismique [222], la structure à plusieurs degrés de liberté MDOF est modélisée comme un système DOF unique, et différents profils de déplacement sont pris en compte selon le mécanisme de rupture en plan/hors plan, ou selon le profil de déplacement à un état limite, en utilisant les propriétés géométriques et mécaniques de la structure.

#### 5.6. L'analyse de la vulnérabilité sismique à l'échelle du bâtiment

Les normes sismiques internationales les plus connues comme l'EC8 [223], ASCE [224] et la norme italienne NTC08 [225] indiquent clairement qu'il est impossible d'éviter l'approche quantitative dans l'évaluation de la vulnérabilité sismique d'un bâtiment individuel, car les méthodes qualitatives ne peuvent pas décrire le comportement sismique réel de la structure<sup>192</sup>. Les tours élancées en maçonnerie comme les phares, les clochers des cathédrales et aussi les minarets des mosquées, sont des structures très sensibles à l'action sismique, qui ont souvent une valeur stratégique ou historique, donc l'évaluation de leur vulnérabilité sismique nécessite une approche quantitative détaillée.

Depuis la fin du XXème siècle jusqu'à l'heure actuelle, un nombre très important d'étude est disponible dans la littérature technique traitant l'analyse numérique/expérimentale des tours en maçonnerie sous charge sismique. Ces études vont des travaux expérimentaux à des enquêtes d'investigation : BINDA

---

<sup>192</sup> Les méthodes qualitatives se basées sur une simple expertise visuelle et donc elles se caractérisent par des incertitudes.

1998 [226], BINDA et al 2000 [187], BINDA et al 2005 [227], IVORRA et PALLARES 2006 [228], IVORRA et al 2009 [229], ANZANI et al 2010 [197], RUSSO et al 2010 [196], BARTOLI et al 2013 [230], aux approches d'analyse numérique non linéaire qui se différencient par [192][231][232]:

- la méthode de modélisation : le modèle numérique d'une telle structure en maçonnerie est réalisé par la méthode des éléments finis FEM, la méthode des éléments discrets DEM, et suivant plusieurs stratégies de modélisation.
- La méthode d'analyse: soit des analyses statiques non linéaires dites Pushover ou des analyses dynamiques : CASOLO 1998 [233], RIVA et al 1998 [234], CASOLO 2001 [195], BERNARDESCHI et al 2004 [235], GENTILE et al 2002 [236], BENNATI et al 2005 [237], CARPINTERI et al 2006 [238], GENTILE et SAÏSI 2007 [239], JULIO et al 2008 [240], ABRUZZESE et al 2009 [241], GIRARDI et al 2010 [242], PENˆA et al 2010 [243], IVORRA et al 2010 [244], MILANI et al 2012 [245], D'AMBRISI et al 2012 [246], CASOLO et al 2013 [190], PIERACCINI et al 2014 [247], CASOLO et al 2017 [200], TORELLI et al 2020 [193].

### 5.7. L'approche d'analyse sismique des phares en Algérie

Il faut noter que même après le tremblement de terre de Boumerdès en 2003, le récent code sismique algérien RPA2003 [165] n'a pas pris en compte ni la vérification des bâtiments existants ni la conception des bâtiments en maçonnerie non renforcée [248]. A ce propos, et en se basant sur les méthodes d'analyse sismique à l'échelle du bâtiment présentée dans la section précédente, il a été décidé d'adopter l'approche italienne d'évaluation sismique des bâtiments existants <sup>193</sup>. Cette approche repose sur trois niveaux : l'estimation de la vulnérabilité sismique du patrimoine culturel à l'échelle territoriale par des méthodes simplifiées (LV1), l'analyse sismique visant la conception d'interventions locales ou de réparation (LV2), et l'évaluation sismique visant l'intervention de renforcement impliquant le comportement du bâtiment (LV3). Suivant l'objectif de

---

<sup>193</sup> Un nombre très important des études d'analyse sismique des tours ont été élaborées en Europe en général et en Italie particulièrement.

notre travail et le niveau de connaissance actuel dont nous disposons sur les phares en Algérie, notre évaluation sismique des phares sera arrêtée sur le deuxième niveau LV2, dont :

- La modélisation numérique a été réalisée par le logiciel TreMuri [249], basé sur l'approche de Macro-éléments, qui est largement reconnu et répandu dans le domaine de l'analyse sismique des bâtiments en maçonnerie [250].
- L'hypothèse des valeurs de référence concernant les paramètres mécaniques des matériaux a été référée au code technique italien NTC08 [225] intégré au TreMuri.
- L'analyse numérique a été effectuée premièrement par une analyse dynamique linéaire préliminaire afin de calibrer le modèle numérique. Ensuite, une analyse statique non linéaire « pushover » fourni par les normes italiennes a été élaborée [231].

#### 5.7.1. La modélisation numérique

Dans le domaine de la modélisation numérique des structures, la maçonnerie est considérée comme un matériau hétérogène complexe<sup>194</sup>, un matériau composé de substances à des propriétés mécaniques différentes, et des joints de mortier qui constituent des plans de faiblesse [251]. Ce matériau présente une réponse élastique linéaire à des niveaux de faibles contraintes, mais sa réponse devient de plus en plus non linéaire [252].

Les différentes stratégies de modélisation des structures en maçonnerie pourraient être résumées dans les modèles suivants :

##### 5.7.1.1. Approche continue :

Cette méthode considère la maçonnerie et ses composantes (unités, mortier et interfaces unité/mortier) comme un matériau continuum<sup>195</sup>, avec des propriétés mécaniques isotropes ou anisotropes, Fig. 5.12(b). Cette approche est adéquate à

---

<sup>194</sup> La maçonnerie est substituée par un matériau fictif avec propriétés mécaniques qui peut représenter comportement global de la structure sous contraintes croissantes.

<sup>195</sup> Les composants : maçonnerie, mortier et l'interface de contact sont regroupés en un matériau homogène.

l'échelle d'un bâtiment complet [231][252]. Plusieurs structures historiques ont été modélisées avec la stratégie de macro-modélisation [253].

#### 5.7.1.2. Approche discrète (simplifiée /détaillée) :

Les unités individuelles de maçonnerie sont modélisées par des éléments continus, tandis que le mortier et l'interface unité/mortier sont représentés par des éléments discontinus avec des propriétés mécaniques différentes. Dans la micro-modélisation détaillée, les unités de la maçonnerie et le joint de mortier sont modélisés par des éléments continus supplémentaires ayant les mêmes caractéristiques mécaniques appropriées, alors que l'interface de contact unité/mortier est représentée par des éléments discontinus [231][252][254].

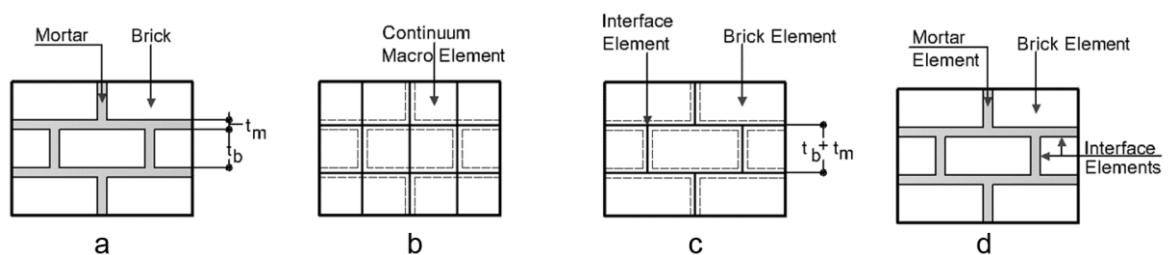


Figure 5.12 : Les stratégies de modélisation de la maçonnerie (a) échantillon typique de la maçonnerie; (b) modèle continu; (c) modèle discret simplifié; (d) modèle discret détaillé [252].

En se reposant sur l'approche continue, plusieurs logiciels de simulation numérique des structures en maçonnerie ont été développés, y compris MAS3D [255] et PEFV [256], SAM [257], et TreMuri [258]. Le logiciel TreMuri [249] développé à l'Université de Gênes, adopte comme stratégie de modélisation de l'approche macro-éléments, basée sur la formulation originale proposée par GAMBARTTA et LAGOMARSINO 1996 [259]. Les algorithmes intégrés dans ce programme sont décrits en détail dans plusieurs recherches : GALASCO et al 2004 [230], PENˆA et al 2004 [261], LAGOMARSINO et al 2006 [262], LAGOMARSINO et al 2013 [263]. A l'aide d'une action sismique assignée, TreMuri permet d'effectuer les analyses non linéaires suivantes [264] : statique incrémentale, pushover, et dynamique.

Le modèle macro-éléments intégré dans le logiciel TreMuri permet de représenter les panneaux muraux dans la présence des ouvertures comme des éléments unidimensionnels équivalents divisés en trois types : montants verticaux, traverses horizontales qui sont considérées comme des éléments déformables et nœuds rigides qui restent dans le domaine élastique, cela est montré schématiquement dans la Fig. 5.13. Chacun d'entre eux est défini par sa propre géométrie et sa propre réponse en cas de chargement sismique [265].

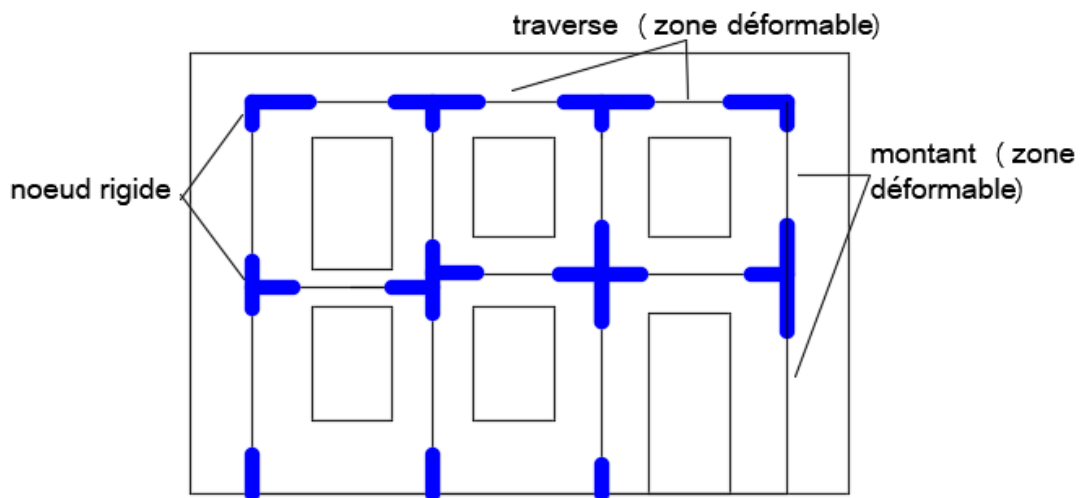


Figure 5.13 : Identification des éléments déformables et rigides dans un panneau en maçonnerie modélisé par TreMuri <sup>(196)</sup>.

### 5.7.2. La caractérisation des matériaux

Dans une démarche d'évaluation de la vulnérabilité sismique d'un bâtiment en maçonnerie, la plus importante étape est celle de la connaissance de la structure, elle est basée sur la récupération de toutes les informations et données existantes, et les investigations *insitu* (le levé géométrique, les détails constructifs concernant le type des fondations, mur et plancher, la caractérisation mécanique des matériaux). L'identification des propriétés mécaniques de différents types de la maçonnerie par des testes expérimentaux *insitu* est une étape nécessaires pour comprendre le comportement de ce matériau composite [198], mais cette tâche

---

<sup>196</sup> © Amari. K

est pratiquement très difficile vu le coût des campagnes expérimentales et le caractère destructifs et invasif des tests *insitu*<sup>197</sup> et au laboratoire [191].

À l'heure actuelle, aucune campagne d'enquête de caractérisation n'a été menée sur la maçonnerie des phares en Algérie [165]. En effet, l'estimation de ces paramètres mécaniques a été faite en utilisant uniquement les informations disponibles dans la littérature technique du code italien NTC08 intégrées qui est intégré dans le logiciel TreMuri. Compte tenu du type et la qualité de maçonnerie<sup>198</sup>, l'approche du code italien, qui sera suivie ici, consiste à définir un ensemble de référence pour chaque type de maçonnerie, et à associer une plage de variation spécifique, les propriétés mécaniques adoptées dans le modèle numérique et sont résumées dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1. Valeurs moyennes de référence retenues pour les propriétés mécaniques de la maçonnerie (E=module de Young; G = module de cisaillement; W=poids spécifique)

	Moellons de pierres		Pierres de taille		Blocks de pierre	
	Max-Min	Moyenne	Max-Min	Moyenne	Max-Min	Moyenne
E (N/mm <sup>2</sup> )	690-1050	870	900-1260	1080	2400-3200	2800
G (N/mm <sup>2</sup> )	230-350	290	300-420	360	780-940	860
W (KN/m <sup>3</sup> )	16		19		22	

### 5.7.3. L'analyse modale

Une analyse dynamique linéaire a été réalisée dans un premier temps afin d'évaluer le comportement dynamique de la structure, calibrer le modèle numérique et définir les principaux modes de vibration, elle est aussi utile pour vérifier la cohérence des hypothèses liées aux propriétés mécaniques des matériaux [266].

<sup>197</sup> Les essais, les sondages carottés, les sondages minéralogiques, etc.

<sup>198</sup> Choisir la classe appropriée et la valeur dans l'intervalle, en tenant également compte des facteurs de dégradation des matériaux ou, au contraire, du renforcement.



Il est nécessaire de rappeler que l'application de l'approche d'analyse dynamique linéaire, selon la législation algérienne RPA2003 définit pour la participation massique une valeur limite égale à 90% dans les deux directions X et Y pour les bâtiments existants. Dans le code sismique italien NTC08, l'application de l'analyse dynamique linéaire nécessite plutôt de considérer un nombre de modes qui active au moins 85% de la masse participante.

#### 5.7.4. L'analyse Pushover

L'analyse statique non linéaire dite généralement « l'analyse Pushover » consiste à charger la structure avec une répartition adéquate des charges latérales progressivement augmentées dans le but de pousser la structure vers le champ non linéaire [165]. Les méthodes d'analyse Pushover sont de plus en plus reconnues aujourd'hui, leur utilité dans la conception et l'évaluation sismique des bâtiments reviens premièrement à la simplicité de l'approche statique, et aussi leur possibilité de capter le comportement non linéaire globale de la structure, cela est valable lorsque la réponse est dirigé par le mode fondamental [191][192]. Mais si les modes supérieurs donnent une contribution importante dans la réponse globale de la structure, il est recommandé de faire une analyse dynamique non linéaire.

Selon les recommandations de nombreux codes internationaux du bâtiment tels que Eurocode8 et le code sismique italien NTC08, et en se référant aux méthodes utilisées dans de nombreuses études similaires sur les tours en maçonnerie, l'analyse Pushover de nos cas d'étude sera organisée comme suit:

- La procédure adoptée est basée sur le contrôle de déplacement et non pas de la force. D'après Pintucchi, la procédure de contrôle par déplacement est la plus adéquate pour les tours en maçonnerie, car l'estimation des dommages peuvent être beaucoup plus précise que celle fournies par la force [191], elle reproduire à la fois la réponse locale en termes de déplacement horizontal et la répartition des dommages le long de toute la hauteur de la tour.

- Deux profils de charge horizontaux seront supposés: une distribution uniforme<sup>199</sup>, et une distribution proportionnelle à la première forme modale.
- Les charges appliquées sont : le poids propre de la maçonnerie, le poids de la lanterne, le poids des voûtes plates en pierre (charges permanentes et charges d'exploitations) et l'action sismique.
- Les charges sismiques seront appliquées le long des directions (+X-X) et (+Y-Y), avec une excentricité accidentelle selon la géométrie du phare en plan.
- Dans le modèle 3D, l'escalier intérieur n'est pas modélisé.
- Dans les cas des phares tour/bâtiment adjacent de basse hauteur, la tour est supposée épinglée au bâtiment adjacent dans sa base.
- En supposant que la valeur maximale de déplacement se trouve en haut de la tour, et les tours présentent une symétrie dans les deux directions, le point de contrôle est placé à un nœud quelconque au sommet de la tour.
- Les courbes de capacité sont tracées à l'aide des déplacements horizontaux du nœud de contrôle, exprimé en termes de déplacement et de cisaillement à la base.

### 5.8. Conclusion

Les risques naturels sur la ligne côtière rassemblent l'ensemble des événements résultant d'aléas d'origine naturelle, qui influencent directement le cadre bâti et peuvent provoquer des dommages légers, graves dégâts structurels jusqu'à la l'effondrement local/global parfois. Selon la situation géographique du phare en terre ou isolé en mer, il peut être exposé à trois types de risque naturels:

- Les séismes
- Les risques climatiques (houles, tempêtes, vents et inondations)
- Les risques géologiques (mouvements de terrain, l'érosion marine).

Après la présentation de tous les aléas naturels qui touchent le cadre bâti sur le littoral algérien, qui peuvent potentiellement induire des dommages sur les phares,

---

<sup>199</sup> Un modèle uniforme qui représente les forces latérales proportionnelles aux masses (répartition uniforme de l'accélération)

en particulier. On conclue que l'aléa sismique est le risque le plus destructif risque, vu son effet sur le bâtiment du phare de cap Bengut. Ensuite, on trouve le risque des mouvements de terrain en deuxième position, et les risques climatiques viennent en dernière position, dont ils n'ont pas vraiment affecté les structures des phares en Algérie.

D'un point de vu structurel, considérant qu'il n'y avait pas de prescription sismique au moment de la construction<sup>200</sup>, et que les phares maçonnerie sont très élancés, ils sont très sensibles à toutes forces latérales en générale, et aux actions sismiques en particulier. Cette vulnérabilité est liée principalement : au poids propre de la maçonnerie elle-même, à leur hauteur, et à leur configuration géométrique en plan.

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des tours en maçonnerie est l'un des sujets pertinent dans la conservation du patrimoine national et mondial des monuments architecturaux [188]. En effet, de nombreuses études ont été consacrées au développement et à la validation d'outils spécifiques pour l'évaluation détaillée du comportement sismique de ces structures au cours des trois dernières décennies [190][193][200].

Après une présentation des différente méthode d'analyse sismique des tours en maçonnerie et des stratégie de modélisation numérique, en en s'appuyant sur le code sismique italien NTC08; l'analyse sismique des phare en Algérie a été effectuée à l'aide du logiciel TreMuri qui se base sur stratégie de macro-éléments. Chaque cas d'étude a été étudié par une analyse dynamique linière, ensuit une analyse statique non linéaire (Pushover), cette dernière est recommandée par plusieurs règlements sismique et codes de réhabilitation, en raison de sa relative simplicité conceptuelle et informatique, combinée à une bonne capacité à décrire le comportement sismique non linéaire des structures.

---

<sup>200</sup> Un nombre important de ces structures est construit avant l'élaboration des codes sismique.

## **CHAPITRE VI.**

### **L’EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DES PHARES EN ALGERIE**

#### **6.1. Introduction**

Le séisme est classé comme le premier risque majeur de nature géologique au Nord algérien qui touche le cadre bâti à cause de l’ampleur des dégâts matériels [164]. Cependant, la vulnérabilité sismique des phares côtiers algériens n’est pas principalement liée à leur situation géographique dans des zones à forte et à moyenne sismicité, mais aussi aux matériaux et techniques constructives utilisés, et est fortement influencée par la configuration géométrique de la structure et aussi à leur état de conservation.

Le travail présenté dans ce chapitre est composé de deux parties, la première partie aborde les critères de la vulnérabilité sismique des phares en Algérie, ou on présente les trois différentes typologies des phares selon le critère de la configuration géométrique : le phare tour, le phare tour accolé à un bâtiment adjacent et la catégorie des phares tour au centre du bâtiment, et on choisi les cas des phares les plus vulnérables à l’aléa sismique. Dans un second lieu, nous allons entamer l’évaluation de la vulnérabilité sismique des cas d’étude qui est élaboré en trois étapes : une présentation des cas d’étude à travers une description architecturale, structurelle, et des matériaux. En suite, les critères de la vulnérabilité sismique de chaque phare: risque sismique et configuration géométrique. Et en fin, on applique une analyse sismique du deuxième niveau LV2 selon les normes italiennes, en modélisant les spécimens étudiés par la méthode de Marco-modélisation intégrée sur le logiciel de calcul non linéaire TreMuri. Afin d’évaluer le comportement sismiques des phares, nous proposons aussi par la suite une analyse modale spectrale et une autre statique non linéaire « pushover ».

## 6.2. La vulnérabilité sismique des phares en Algérie

Historiquement, toutes les régions de la ligne côtière algérienne ont connu des évènements sismiques considérables depuis 419 jusqu'à nos jours [175], donc tous les phares algériens sont situés dans des zones sismiquement actives. Malgré que ces bâtiments aient été construits à des périodes différentes, à partir du XIXème siècle au XXème siècle, mais les techniques de construction n'ont pas considérablement changé en Algérie durant cette période, et la maçonnerie principalement faite soit en pierre de taille, en moellon de pierre ou en brique de terre cuite était le matériau le plus répandu jusqu'à 1935, date à laquelle le béton armé a été introduit comme matériau de construction.

En ce qui concerne le volet réglementaire, Les premières mesures parasismiques en Algérie sont celles du Dey Ali CHAOUCH d'Alger après le séisme 1716<sup>201</sup> [267][268][269]. Alors que la première norme parasismique française en Algérie date de la même année que la construction du dernier phare en 1954. Cette norme nommée « recommandation de constructions parasismiques AS 55 » est établie après le séisme de 1954 à Orléansville, Chlef actuellement, et elle n'a été applicable qu'à partir du mai 1955. En effet, tous les phares en Algérie ont été construits avant même l'élaboration du premier code sismique.

Par conséquent, le choix des cas d'étude ne dépend pas uniquement de la situation géographique des phares par rapport à l'aspect sismique et de leurs techniques de construction mais il dépendra aussi de la configuration géométrique de la structure qui varie d'un phare à un autre.

Selon la conception architecturale et fonctionnelle des phares, la localisation de la tour prend plusieurs configurations par rapport au reste du bâtiment annexé, soit comme structure indépendante en elle-même, soit liée à un bâtiment adjacent à faible hauteur qui englobe pratiquement les logements des gardiens et les locaux de service. D'un point de vue structurel, une tour élancée est caractérisée par une forte vulnérabilité face aux forces sismiques [190], et elle n'a pas le même

---

<sup>201</sup> Des dispositions constructives qui ne précisent pas des méthodes de calcul sismique

comportement sismique qu'un bâtiment à faible hauteur. Lors des secousses d'un tremblement de terre, cette différence dans la réponse du comportement entre la tour et le bâtiment adjacent peut poser de grands problèmes structurels spécifiquement dans les zones de connexion et généralement le long de toute la structure du phare [192].

#### 6.2.1. La configuration géométrique

La configuration géométrique des phares est liée spécifiquement à l'emplacement de la tour par rapport au reste de la structure<sup>202</sup>, sa forme, sa régularité structurelle en plan et en élévation, l'épaisseur du mur d'enceinte, sa hauteur, et aussi son élancement. Selon ses caractéristiques géométriques, les phares en Algérie sont regroupés dans trois catégories principales avec plusieurs variantes dans chaque catégorie. Cette variété des configurations géométriques peut être responsable de leurs réponses structurelles aux mêmes excitations sismiques [190].

Le niveau de la vulnérabilité sismique de telles structures peut être estimé à travers les paramètres structurels. Dans le cas des phares à tours indépendante, il est clair que le paramètre le plus important qui détermine le niveau de vulnérabilité sismique est son élancement [190][231]. Bien que, pour les phares composés d'une tour et un bâtiment adjacent expose une irrégularité structurelle en élévation, l'emplacement de la tour par rapport au centre des masses représente le paramètre déterminant [192].

#### 6.2.2. Classification typologique des phares

Selon l'ouvrage faros de Galicia [270], les phares de la période modernes sont classés en trois grandes typologies selon la forme et la configuration géométrique :

---

<sup>202</sup> Dans les cas où le bâtiment du phare est composé d'une tour et un bâtiment adjacent.

### 6.2.2.1. La tour indépendante

Les tours à structure indépendantes en Algérie présentent une configuration parfaitement symétrique en plan et en élévation dans les deux directions, le tableau 6.1 rapporte les principales caractéristiques géométriques des phares tours. Ces structures offrent aussi une variété formelle: carrée, circulaire ou octogonale (Fig.6.1):

- Typologie A<sub>1</sub> : les tours carrées dans cette typologie sont caractérisées par une faible hauteur, et donc sont moins vulnérables aux forces sismiques, à l'exemple du cas du phare de l'îlot des Singes à Skikda.
- Typologie A<sub>2</sub> : le cercle est la forme la plus stable structurellement, les tours circulaires exposent souvent une hauteur importante, le cas du phare de Cherchell. Et parfois, les tours circulaires sont peu élevées inhabituellement, le cas de phare de cap de l'Aiguille à Oran et celui de cap Corbelin à Tizi-Ouzou.
- Typologie A<sub>3</sub> : la seule tour octogonale indépendante en Algérie est celle du phare de cap Falcon à Oran, elle a une hauteur très importante.

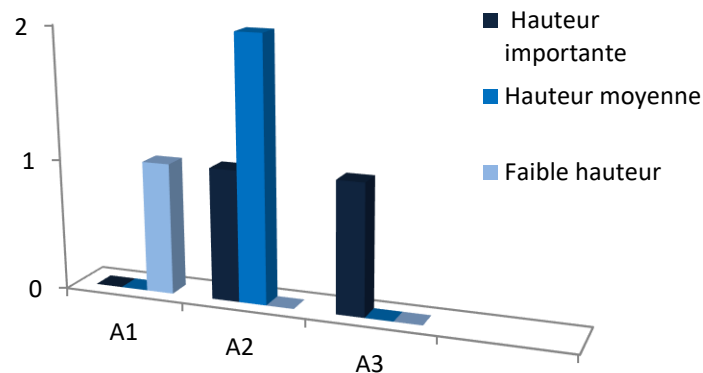





Figure 6.1 : Classification des phares typologie « tours » selon la forme et la hauteur <sup>(203)</sup>.

Tableau 6.1 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares tour <sup>(204)</sup>.

			
<b>Nom du phare</b>	phare de l'îlot des singes à Skikda	phare de cap de l'Aiguille à Oran phare de Cherchell	phare de cap Falcon à Oran
<b>Typologie</b>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>Forme</b>	carrée	circulaire	octogonale
<b>Hauteur</b>	9 m	10-25 m	27 m
<b>Elancement</b>	2.25	3.3- 4.9	3.94
<b>Régularité en plan</b>	100 %	100 %	100 %
<b>Régularité en façade</b>	100 %	100 %	100 %

#### 6.2.2.2. La tour accolée à un bâtiment adjacent

Un nombre importants des phares en Algérie fait parti de cette catégorie, ils sont représentés dans la Fig.6.2. Les variantes sont classées dans les tableaux 6.2 et 6.3 selon : la forme, la hauteur, et l'emplacement de la tour par rapport à la structure du phare.

- B<sub>1</sub>: Les hautes tours sont accolées généralement à un bâtiment rectangulaire allongé de un ou deux niveaux. La structure est en forme d'un T et la tour est intégrée dans le bâtiment adjacent. Les bâtiments des phares présentent une symétrie dans une seule direction en plan, cette catégorie englobe soit des tours carrées dans le cas des phares de



Colombi à Ténès, de cap Bengut à Dellys et le phare de cap Caxine à Alger ou en forme octogonale comme le phare de cap Sigli à Bejaïa.

- B<sub>2</sub> : les tours à faible et à moyenne hauteur sont toujours situées en périphérie de la structure adjacente. cette typologie des phares en Algérie offre plusieurs configurations géométriques, la structure des phares présente parfois une symétrie dans une seule direction en plans et en façade et parfois la tour est implantée dans l'angle ou en rive. La tour a la forme carrée dans le cas des phares de cap de Garde à Annaba, de cap Ténès, de cap Matifou à Alger et le phare de Tipaza, ou octogonale à l'image des phares de ras Afia à Jijel et celui de cap Bougaroun à Skikda.

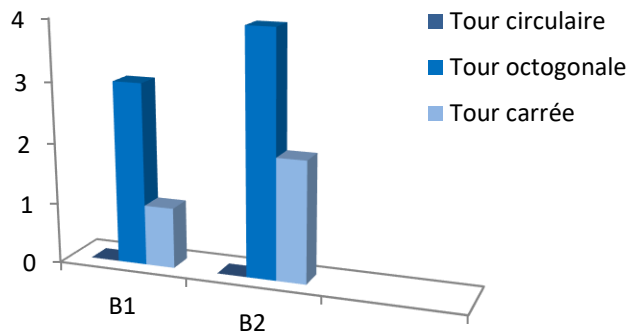


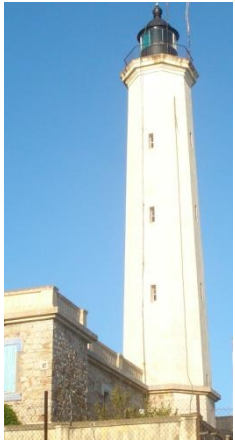



Figure 6.2 : Classification des phares typologie « tour accolée à un bâtiment adjacent » selon la hauteur la forme de la tour <sup>(205)</sup>.

Tableau 6.2 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie B1 <sup>(206)</sup>.

			
<b>Nom du phare</b>	Phare de cap Caxine à Alger	phare de cap Bengut à Dellys	Phare de cap Sigli à Bejaïa
<b>Sous-type</b>	B <sub>1</sub>		
<b>Forme</b>	Carrée		Octogonale
<b>Hauteur</b>	25-33 m		26 m
<b>Emplacement de la tour</b>	Au centre de la façade arrière		Au centre de la façade arrière
<b>Pourcentage d'intégration de la tour</b>	25-95 %		50 %
<b>Régularité en plan</b>	25-50 %		25 %
<b>Régularité en façade</b>	0%		0 %

<sup>206</sup> © Amari. K.

Tableau 6.3 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie B2 <sup>(207)</sup>.

				
<b>Nom du phare</b>	phare de cap Matifou à Alger	phare de cap Ténès	phare de cap Bougaroun à Skikda	phare de Ras Afia à Jijel
<b>Typologie</b>	B <sub>2</sub>			
<b>Forme</b>	Carrée		octogonale	
<b>Hauteur</b>	11-25 m		9-14 m	
<b>Emplacement de la tour</b>	Variant		Au centre de la façade arrière	
<b>Pourcentage d'intégration de la tour</b>	50-100 %		10-50 %	
<b>Régularité en plan</b>	0-75 %		50 %	
<b>Régularité en façade</b>	0%		0 %	

### 6.2.2.3. La tour au centre du bâtiment

Les phares avec tour au centre du bâtiment sont caractérisés par une hauteur modérée par rapport aux typologies précédentes, les sous-types dans cette catégorie sont classés dans la Fig.6.3 selon l'emplacement et la forme de la tour et ils offrent deux configurations géométriques :

<sup>207</sup> © Amari. K.

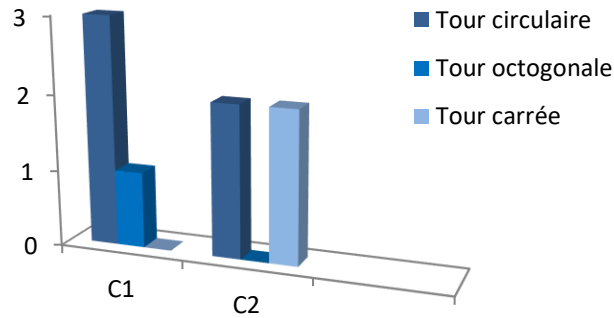


Figure 6.3 : Classification des phares typologie « tour au centre du bâtiment» selon la forme et l'emplacement de la tour <sup>(208)</sup>.

- C<sub>1</sub> : les phares avec une tour située au centre du bâtiment sont généralement symétriques en plan et en élévation au moins dans une direction. Le bâtiment est soit carré ou rectangulaire et la tour est circulaire dans le cas des phares de Ghazaouet à Tlemcen, de cap Rosa à El Kala et le phare de cap Carbon à Bejaïa, et octogonal pour le phare de l'Amirauté à Alger, de cap IVI à Mostaganem, et de cap Collo à Skikda.
- C<sub>2</sub> : les phares dans cette typologie sont généralement asymétriques ou ils représentent une symétrie en plan dans une seule direction, la tour est donc implantée sur le bâtiment d'une manière excentrique. La tour a la forme d'un carré dans le cas des phares des îles Habibas à Oran, l'île Srigina à Skikda et le phare de l'île Rashgoun à Beni Saf, ou la forme circulaire pour les phares de l'îlot d'Arzew et celui du cap de Fer à Annaba.

Tableau 6.4 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie C1 <sup>(209)</sup>.



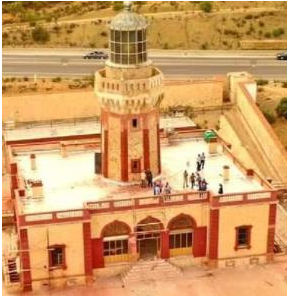


			
<b>Nom du phare</b>	phare de cap Carbon à Bejaïa	phare de cap Rosa à El Kala	phare de cap Ivi à Beni saf
<b>Typologie</b>	C <sub>1</sub>		
<b>Forme</b>	Circulaire		octogonale
<b>Hauteur</b>	13-15 m		21 m
<b>Emplacement de la tour</b>	Excentrée par rapport au centre de gravité la structure		Au centre du bâtiment
<b>Régularité en plan</b>	75 %		100 %
<b>Régularité en façade</b>	75%		75 %

Tableau 6.5 : Les caractéristiques géométriques pertinentes des phares de la typologie C2 <sup>(210)</sup>.

		
<b>Nom du phare</b>	Phare de l'île Srigina à Skikda	Phare de l'îlot d'Arzew
<b>Typologie</b>	C <sub>2</sub>	
<b>Forme</b>	Carrée	Circulaire
<b>Hauteur</b>	12-17 m	13-19 m
<b>Régularité en plan</b>	50 %	50 %
<b>Régularité en façade</b>	75 %	75 %

A partir de cette classification typologique des phare en Algérie, on déduit que le grand nombre des phares est classé dans la deuxième et la troisième typologie, 10 phares à tour accolée à un bâtiment et 09 phares composés d'une tour située au centre du bâtiment. Alors que la typologie des phares à tour indépendante englobe seulement 05 phares.

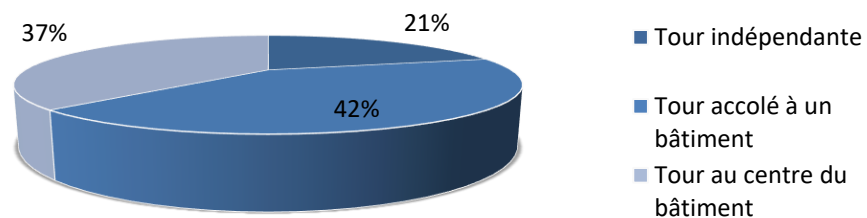


Figure 6.4 : classification des phares en Algérie selon la configuration géométrique <sup>(211)</sup>.

<sup>210</sup> © Amari. K.

### 6.2.3. Justification de choix

Selon la classification des phares liée aux différents paramètres géométriques, trois cas ont été choisis pour l'étude de la vulnérabilité sismique :

- Le phare de cap Falcon à partir de la typologie A<sub>3</sub>, c'est une tour indépendante fortement vulnérable aux secousses sismiques à cause de sa forme octogonale et son élancement assez élevé.
- Le phare de cap Bengut à partir de la catégorie B<sub>1</sub>, ce phare est un cas particulier dans la catégorie des phares à tour accolé à un bâtiment adjacent, car il a déjà subi des dommages post-sismiques après le tremblement de terre de Boumerdès en 2003.
- Le phare des îles Habibes à partir de la typologie C<sub>2</sub>, il fait l'objet d'étude car il présente une configuration géométrique irrégulière en plan et en élévation avec une hauteur modérée.

### 6.3. Le phare de cap Falcon

#### 6.3.1. Description architecturale

L'ensemble du phare de cap Falcon est composé d'une tour octogonale entourée par un nombre des bâtiments en RDC. La tour a la forme d'un octogone de 2.77m de coté avec une hauteur de 27m[95]. Le phare est illustré en 3D et en plans dans les figures suivantes :

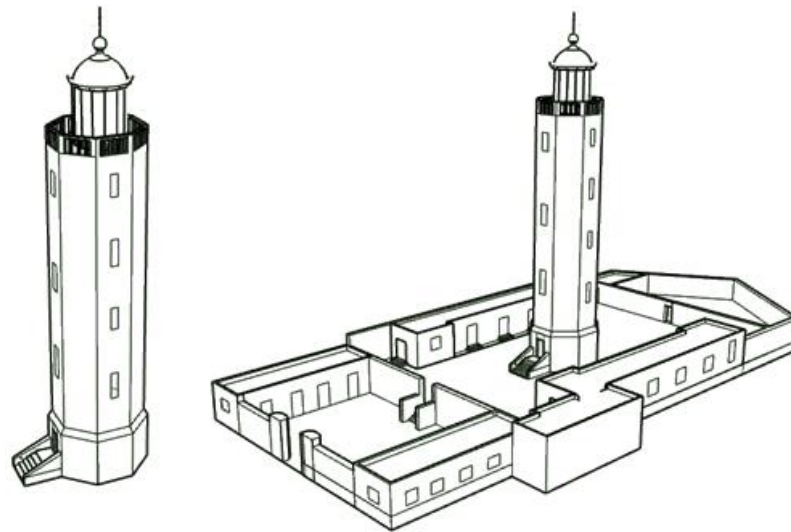


Figure 6.5 : Illustrations du phare de cap Falcon: vue 3D (212).

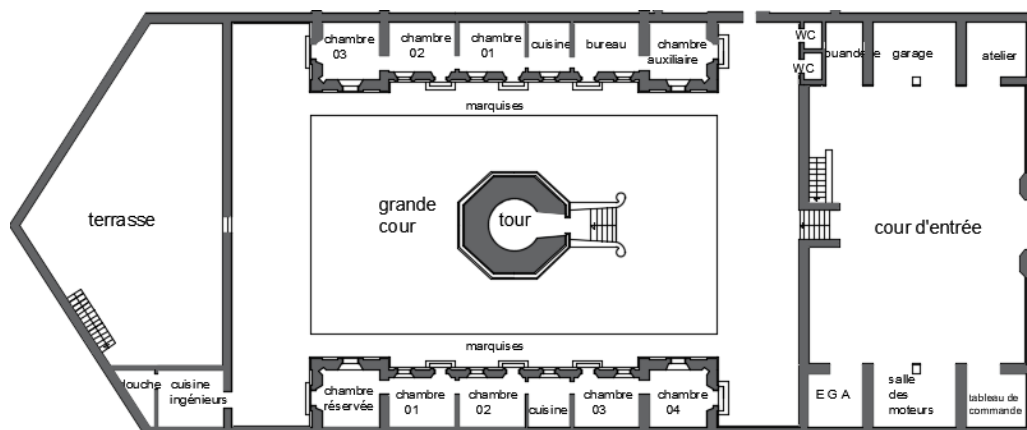


Figure 6.6 : Illustrations du phare de cap Falcon: vue en plan RDC (213).

212 © Amari. K.

213 © Amari. K.



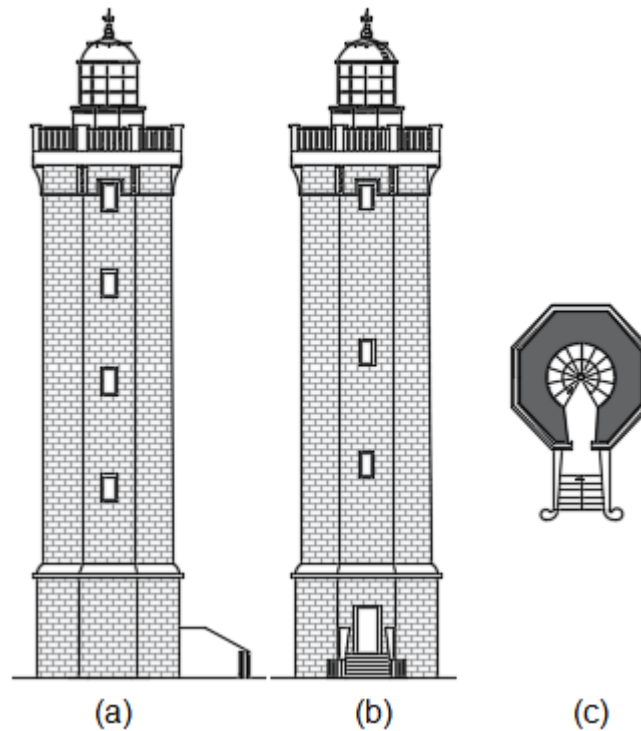


Figure 6.7 : Illustrations du phare de cap Falcon: (a) façade principale; (b) vue latérale; (c) plan de la tour <sup>(214)</sup>.

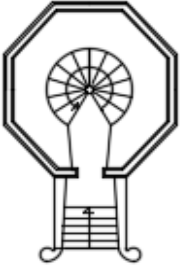






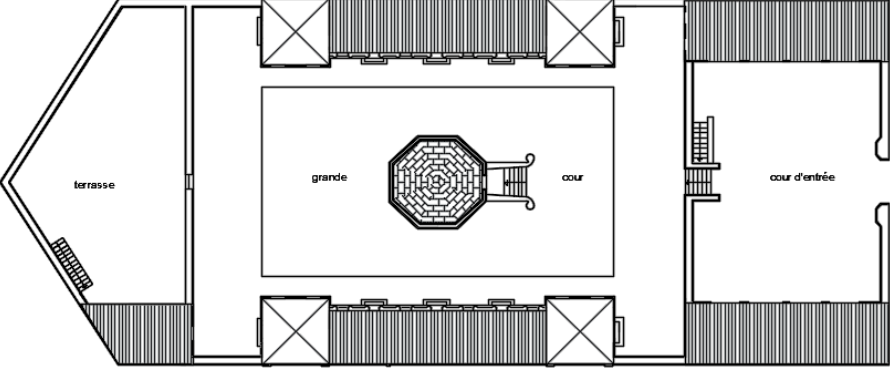
### 6.3.2. Description structurelle et matériaux

L'ossature porteuse de l'ensemble des bâtiments est en maçonnerie de pierre, les bâtiments rectangulaires qui entourent la tour ont été construits en moellons de pierres alors que la tour est faite en pierres de taille [81][88][95]. Toutes les informations concernant les techniques constructives des murs, leurs épaisseurs et les types des planchers sont présentées dans le tableau 6.6.

---

<sup>214</sup> © Amari. K.

Tableau 6.6: Les techniques constructives des murs et des planchers (215).

Élément structurel	Description et illustration
<b>Murs de la tour</b>	<p>Murs en pierres taillées réalisé par un appareillage spécifique destiné pour construire la forme d'un octogone à l'extérieur et la forme circulaire à l'intérieur de la tour.</p>  
<b>Murs des bâtiments</b>	<p>Murs en moellon de pierre de 60 cm avec un chaînage en pierre de taille aux angles, les mortiers sont en ciment.</p> 
<b>Planchers</b>	<p>La lanterne du phare est supportée par une voute plate en pierre de taille, les autres bâtiments sont couverts par un plancher voutain et les batiment d'angle par une voute en arc de cloître.</p>  <p>  voute plate     plancher voutain     voute en arc de cloître </p> 

### 6.3.3. critères de la vulnérabilité sismique du phare

#### 6.3.3.1. Le risque sismique

Le spectre de réponse du phare de cap Falcon a été élaboré sur la base des données du Règlement Parasismique Algérien RPA2003, les paramètres du spectre de réponse sont :

- La classe sismique de la zone: le phare de cap Falcon se situe dans une zone à moyenne sismicité, classé dans la catégorie II a, dont le PGA est égale à 0.2g.
- La catégorie du bâtiment selon sa fonction: selon le tableau de classification des bâtiments RPA 2003, les phares sont classés comme des bâtiments de grande importance « la classe 1B ».
- Le type de sol : la structure du phare est installée sur un terrain rocheux classé comme type S1.
- Le facteur qualité Q: le paramètre de la qualité dépend de la configuration géométrique du bâtiment (la redondance en plan, la régularité en plan et en élévation) et le contrôle de la qualité des matériaux et de l'exécution, ce facteur Q est estimé à  $Q = 1,30$  pour le phare de cap Falcon.
- Le facteur de comportement R: vue que les cas d'étude sont classés dans la catégorie des bâtiments existants en maçonnerie non renforcée URM, nous supposons la valeur la plus basse en visant les conditions de sécurité les plus élevées, le facteur de comportement est estimé à  $R = 2$ .

Le spectre de réponse sismique RPA 2003 établi pour le phare de cap Falcon est représenté dans la Fig.6.8, il montre que la valeur d'accélération sismique la plus élevée est de  $0,310 \text{ g} = 3,10 \text{ m / s}^2$ .

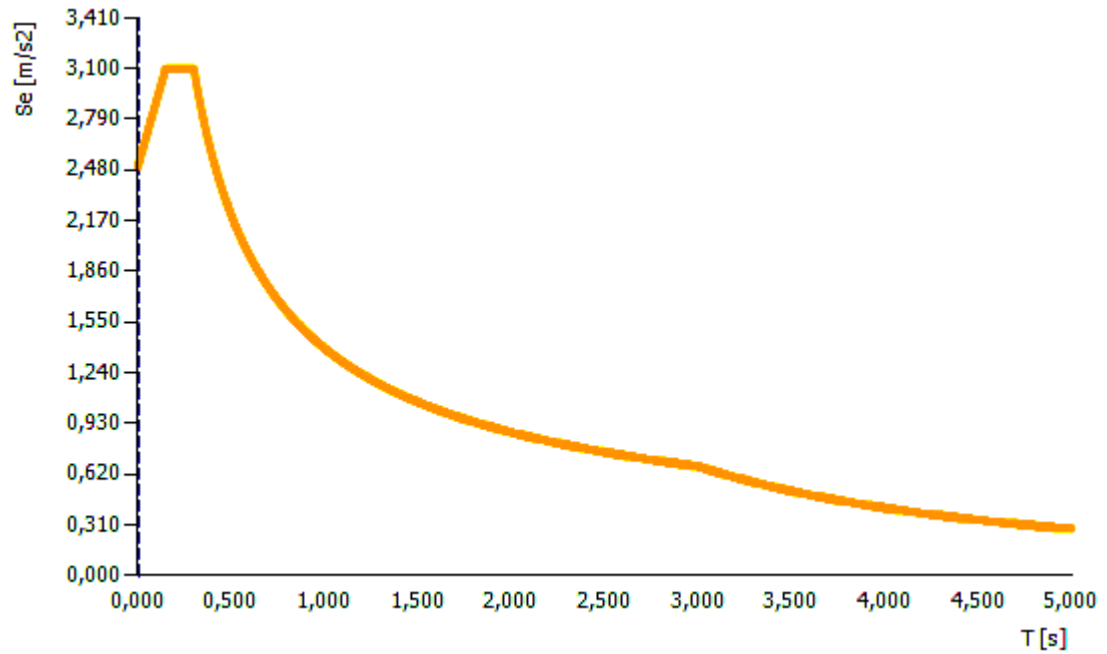


Figure 6.8 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003 [179].

#### 6.3.3.2. La configuration géométrique

Les caractéristiques géométriques de la tour du cap Falcon sont présentées schématiquement dans le tableau 6.7.

Tableau 6.7: Critères morphologiques de la tour de cap Falcon selon le RPA 2003

(216).

Paramètres géométriques	Description	Illustration
<b>Dimension de la tour</b>	a=2.77m L= 6.85m l=6.50m H=27m	
<b>Inclinaison de la tour</b>	1.15°	
<b>Elancement de la tour</b>	<b>3.94</b>	
<b>Excentricité<sup>217</sup> selon l'axe X</b>	0.23 m $\leq$ 15% L	
<b>Excentricité selon l'axe Y</b>	0.24 m $\leq$ 15% l	
<b>Rapport L/l</b>	1.05 $\leq$ 4	
<b>Symétrie selon l'axe X</b>	100%	
<b>Symétrie selon l'axe Y</b>	100%	

La tour du phare de cap Falcon représente une certaine régularité en plan et en élévation selon les critères du RPA2003. Elle répond à un nombre important de paramètres tels que : la distance entre le centre des masses et celui de la rigidité dans les deux directions X et Y, la symétrie selon l'axe X et Y, le rapport L/l. Alors que les rapports liés à la morphologie de la structure ne respectent pas les normes du RPA2003.

Sur la base de cette analyse descriptive des critères sismique en terme de: risque sismique, matériaux, techniques constructives et l'aspect morphologique de la tour, on peut classer ce phare dans la catégorie des tours en maçonnerie très élancé qui présentent une forte vulnérables face aux secousses sismiques.

<sup>216</sup> © Amari. K.

<sup>217</sup> Distance entre le centre de gravité et le centre de rigidité dans une direction donnée.

### 6.3.4. L'analyse numérique de la vulnérabilité sismique

#### 6.3.4.1. La modélisation numérique

Le modèle numérique 3D de la tour de cap Falcon simulé par le logiciel TreMuri est démontré sur la figure 6.9 est composée de 145 éléments et 97 nœuds.

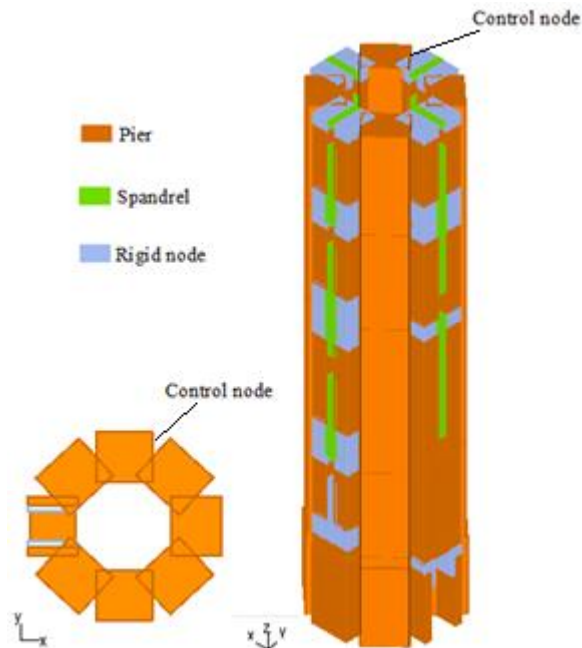


Figure 6.9 : Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) de la tour de cap Falcon réalisé par TreMuri.

#### 6.3.4.2. Analyse modale préliminaire

En appliquant le règlement parasismique algérien RPA2003, 38 modes de vibration ont été considérés, dont la participation massique atteint 90,03% le long de la direction X, et 90.01 selon la direction Y. Le tableau 6.8 rapporte les 28 premiers modes de réponse fournis par l'analyse modale, la dernière forme modale présentée dans le tableau est une torsion le long de l'axe Z, ce mode active avec une période de 0.17 s et une participation massique de 85.46%.

Tableau 6.8 : Résultats de l'analyse modale pour les 38 modes de vibration.

Mode	T (s)	m <sub>x</sub> (kg)	M <sub>x</sub> (%)	m <sub>y</sub> (kg)	M <sub>y</sub> (%)	m <sub>z</sub> (kg)	M <sub>z</sub> (%)
1	2.20563	0	0.00	267.254	<b>29.69</b>	0	0.00
2	1.63798	0	0.00	124.309	<b>13.81</b>	0	0.00
3	1.47969	393.797	<b>43.75</b>	1	0.00	30	0.00
4	1.43943	2	0.00	187.496	<b>20.83</b>	0	0.00
5	1.32549	2	0.00	0	0.00	1	0.00
6	1.11631	0	0.00	3.849	0.43	0	0.00
7	0.85084	163.032	<b>18.11</b>	0	0.00	14	0.00
8	0.81049	0	0.00	1.617	0.18	0	0.00
9	0.77374	882	0.10	998	0.11	0	0.00
10	0.57097	0	0.00	1.017	0.11	0	0.00
11	0.53029	0	0.00	0	0.00	31	0.00
12	0.47732	0	0.00	26.669	<b>2.96</b>	0	0.00
13	0.36669	0	0.00	31.455	<b>3.49</b>	0	0.00
14	0.36044	11	0.00	0	0.00	23	0.00
15	0.34800	0	0.00	845	0.09	0	0.00
16	0.33880	134.171	<b>14.91</b>	0	0.00	22	0.00
17	0.33105	0	0.00	52.465	<b>5.83</b>	0	0.00
18	0.29238	1.564	0.17	0	0.00	1	0.00
19	0.27599	0	0.00	1.400	0.16	0	0.00
20	0.27122	0	0.00	26.812	<b>2.98</b>	0	0.00
21	0.23885	0	0.00	35.010	<b>3.89</b>	0	0.00
22	0.23252	60.246	<b>6.69</b>	0	0.00	412	0.05
23	0.22215	0	0.00	8.416	0.94	0	0.00
24	0.20594	4.325	0.48	0	0.00	1.513	0.17
25	0.20545	6.432	0.71	0	0.00	189	0.02
26	0.19738	0	0.00	5.640	0.63	0	0.00
27	0.18051	0	0.00	59	0.01	0	0.00
28	0.17541	236	0.03	0	0.00	769.126	<b>85.46</b>
<b>Σ au 38<sup>ième</sup> mode</b>	-	-	<b>90.03</b>	-	<b>90.01</b>	-	<b>85.46</b>

Les résultats de l'analyse modale de cette tour octogonale montrent que la 1<sup>ière</sup>, la 2<sup>ième</sup> et la 4<sup>ième</sup> formes modales représentent une translation selon la direction Y, avec une période respectivement de 2,20 s, 1,6 s et 1.43 s, dont la participation massique dans le 1<sup>er</sup> mode est de 29.69%, 13.81 pour le 2<sup>ième</sup> mode et 20,83% pour le 4<sup>ième</sup> mode. Les 3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 16<sup>ième</sup> formes modales sont translationnelles selon la direction X, elles impliquent une participation massique respectivement de 43,75%, 18.11% et 14,91%, avec une période de 1,47 s, 0.85 et de 0,33 s. Il faut aussi noter que la structure présente des modes locaux qui impliquent une faible participation de masse (les modes : 12, 13, 17, 20 et 21

selon la direction Y, et le 22 mode selon l'axe X). Alors que le reste des formes modales montrent une participation de masse très faible et négligeable.

Les résultats de l'analyse modale montrent que la réponse sismique de la structure ne peut être clairement reconnue; en effet la participation massique était faible et ne dépasse pas les 50% dans les premières formes modales translationnelles suivant les deux axes X et Y. Cela signifie aussi que lors des secousses sismiques, le bâtiment serait fortement affecté par des contraintes supplémentaires en plan en termes de flexion et de cisaillement et d'autres contraintes hors plan.

#### 6.3.4.3. L'analyse pushover

On a effectué une analyse pushover afin d'étudier la réponse non linéaire de la tour, les courbes de capacité sont exprimées en fonction de déplacement horizontal et cisaillement de base. Le déplacement est calculé à partir d'un point de contrôle situé dans le coin en haut de la tour dans la Fig.6.9, et en identifiant les principaux mécanismes d'effondrement des murs.

Les Figures 6.10, 6.11, 6.12 et 6.13 représentent les courbes de capacité les plus défavorables avec l'état d'endommagement des murs de la tour par rapport au cas de chargement agissant dans les directions suivantes :

- -X proportionnelles aux masses, avec une excentricité accidentelle de 23.38cm.
- -Y proportionnelles aux masses, dont l'excentricité accidentelle est de 24.25cm.
- +X proportionnelles à la première forme modale, avec une excentricité accidentelle de -23.38cm.
- -Y proportionnelles à la première forme modale, dont l'excentricité accidentelle est de 24.25cm.



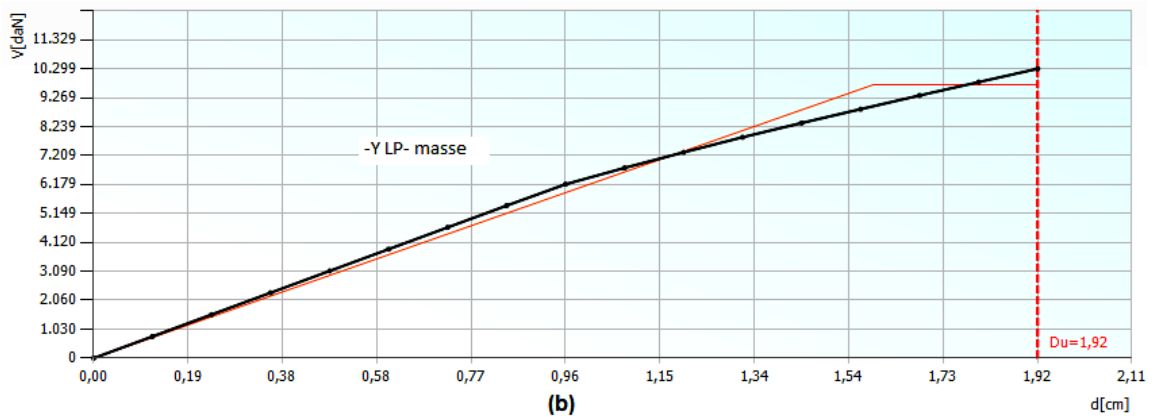
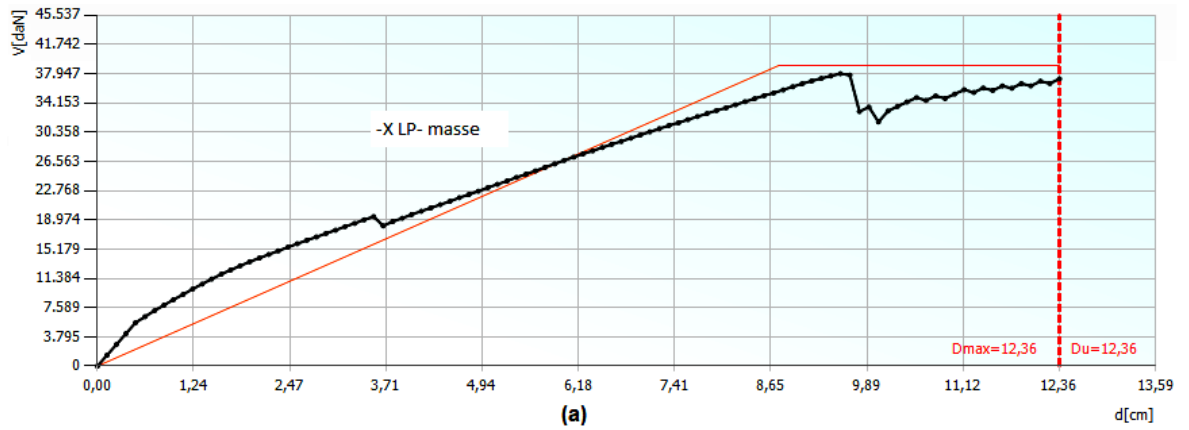


Figure 6.10: Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement  $D_u$ . a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens -Y proportionnel aux masses.

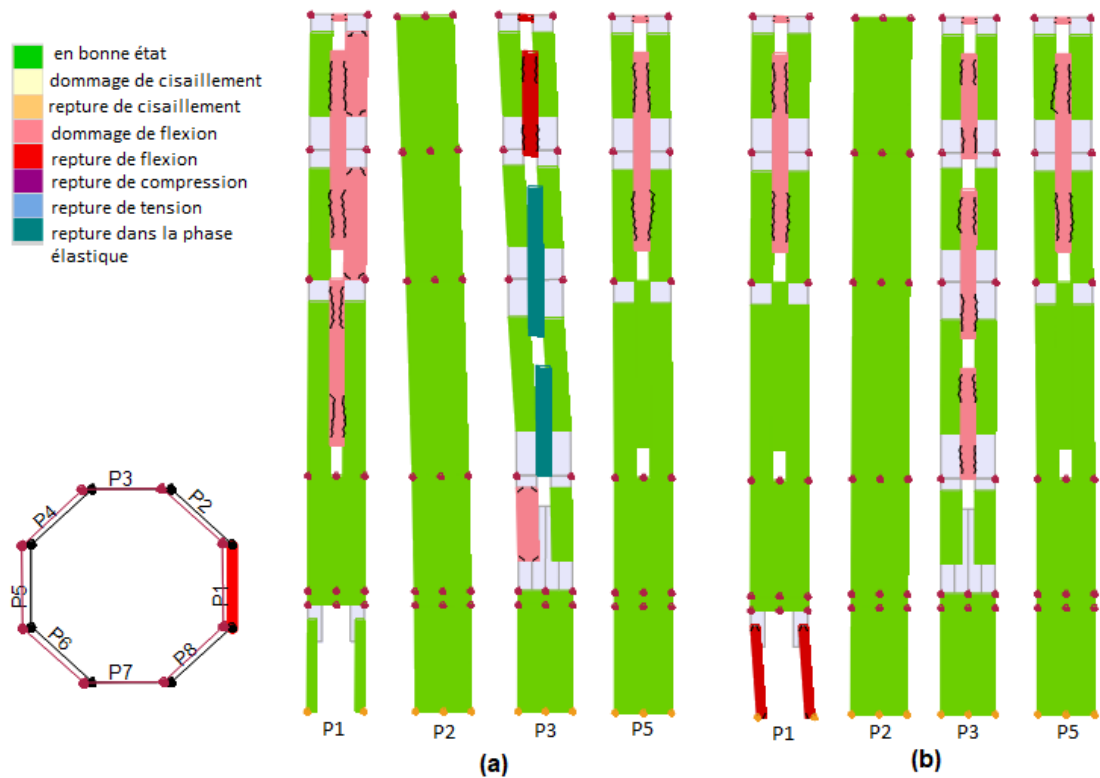


Figure 6.11: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens -Y proportionnel aux masses.

La Fig.6.10(a) présente la courbe de capacité dans la direction -X proportionnelle aux masses, elle montre que la tour a principalement une réponse élastique-plastique avec un déplacement ultime de 12.36cm. Il est possible d'observer sur la Fig.6.11(a) que la concentration des dommages est approximativement symétrique sur toutes les parois de la tour, une concentration des dommages de flexion est située dans la partie centrale des parois P1 et P5. Les parois P3 et P7 développent une rupture de flexion en haut, alors que la zone centrale développe une rupture dans la phase élastique.

La courbe de capacité obtenue dans la direction -Y proportionnelle aux masses est représentée sur la Fig.6.10 (b), la structure a une réponse élastique-plastique, par rapport à la direction précédente. On observe qu'un déplacement ultime décroît de 1.92cm. La localisation des dommages de flexion est principalement visible sur la partie centrale entre les ouvertures le long des parois P1, P3, P5 et P7, et les ruptures de flexion sont concentrées à la base de la paroi P1.

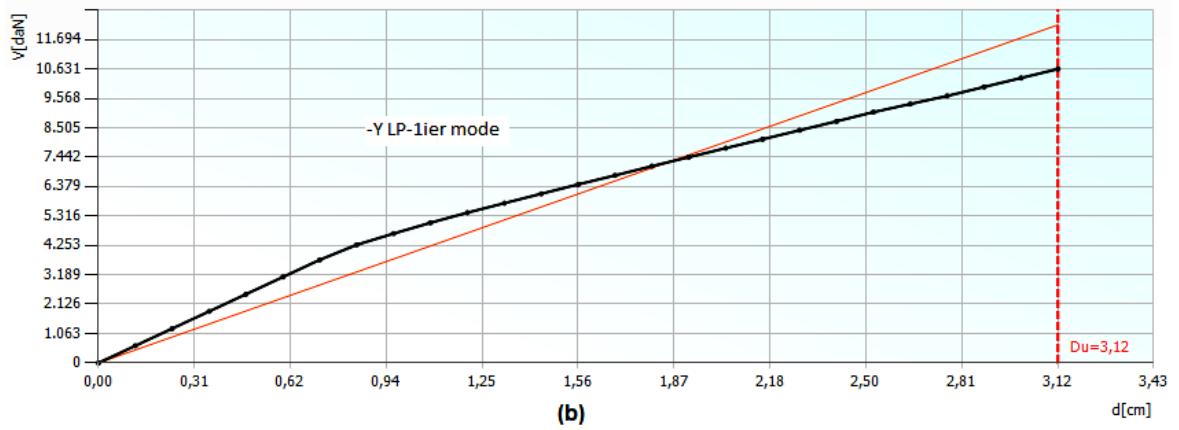
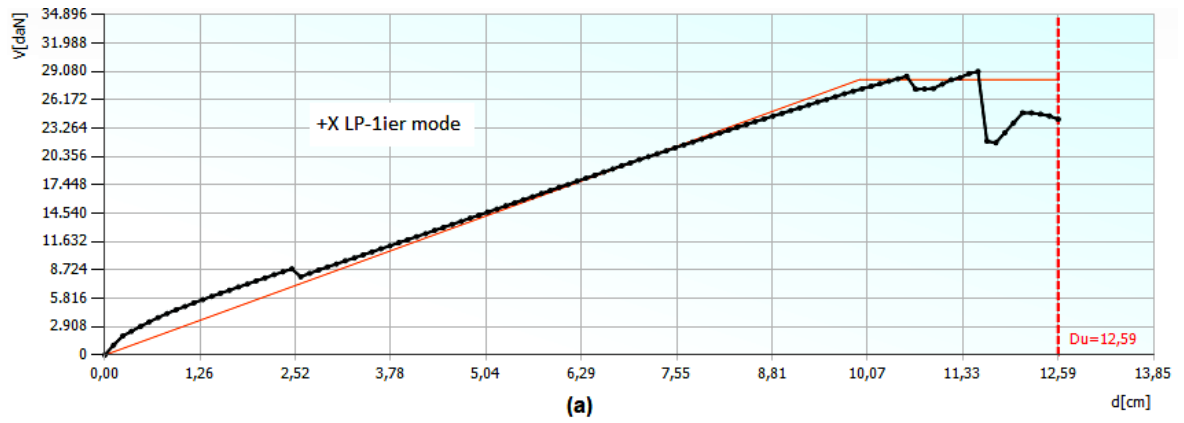


Figure 6.12: Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime  $D_u$ . a) Pushover dans le sens + X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens -Y proportionnel au premier mode.

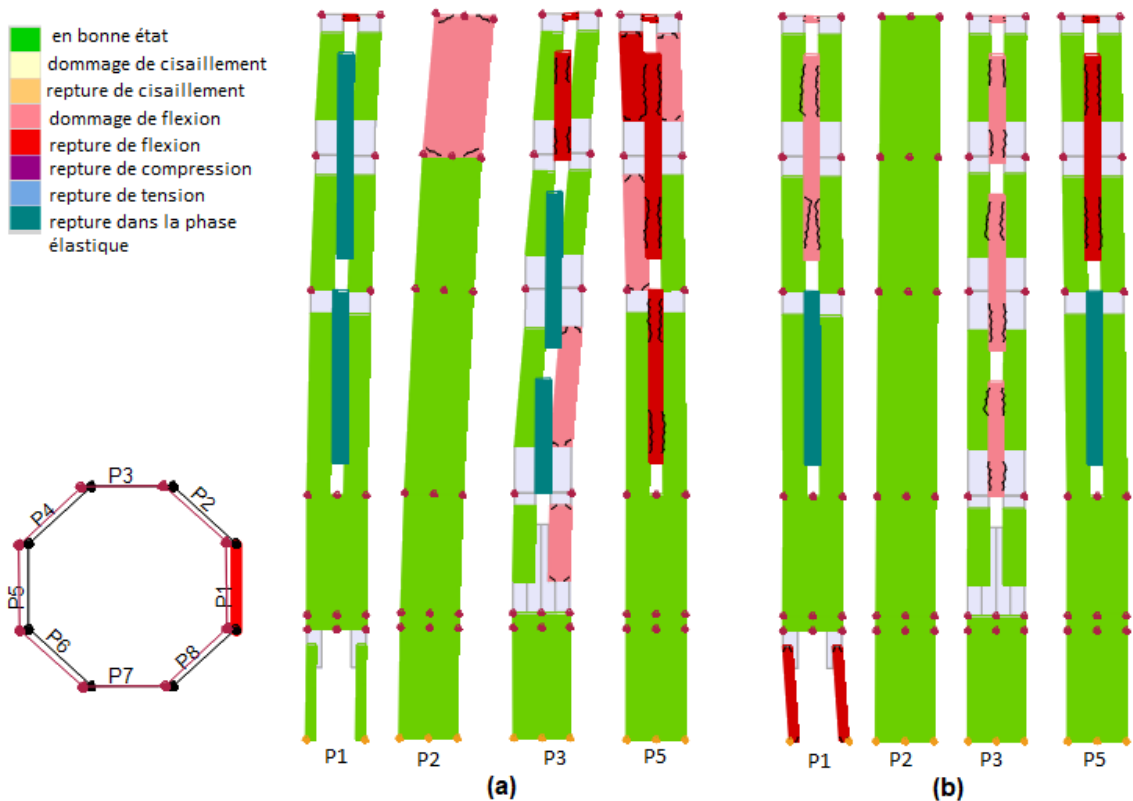


Figure 6.13: L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens +X proportionnel au premier mode. b) dans le sens -Y proportionnel au premier mode.

Dans le cas d'une charge agissant dans la direction +X proportionnelle à la première forme modale, la courbe est également élastique-plastique avec un déplacement ultime de 12.59cm. Des dommages de flexion sont évidents dans zone haute de les parois P2, P4, P6 et P8, à l'angle entre les parois P4 et P6, des ruptures de flexion ont été remarquées au niveau de la zone centrale de la paroi P5. On peut également observer la formation d'une rupture dans la phase élastique au niveau de la zone centrale des parois P1, P3 et P7.

Par rapport à la direction -Y proportionnelle au premier mode de vibration, présentée sur la Fig.6.12(b), la courbe de capacité montre une tendance élastique, dont  $D_u=3.12\text{cm}$ . La formation des dommages de flexion en haut de la paroi P1 et dans la zone centrale des parois P3 et P7, et des ruptures de flexion dans la base de la paroi P1 et la zone centrale haute de la paroi P5. La rupture dans la phase élastique est située au niveau de la partie centrale des parois P1 et P5.

## 6.4. Le phare Bengut

### 6.4.1. Description architecturale

Le bâtiment du phare est composé d'une tour quadrangulaire de 26,50 m en hauteur avec une base de 7,40 m sur 7,10 m. Cette tour est accolée à un bâtiment rectangulaire allongé de 29,60 m de long et 6,35 m de large, et est surmontée sur deux étages [112]. Le bâtiment est illustré en 3D, en plans et en élévation dans les figures suivante :

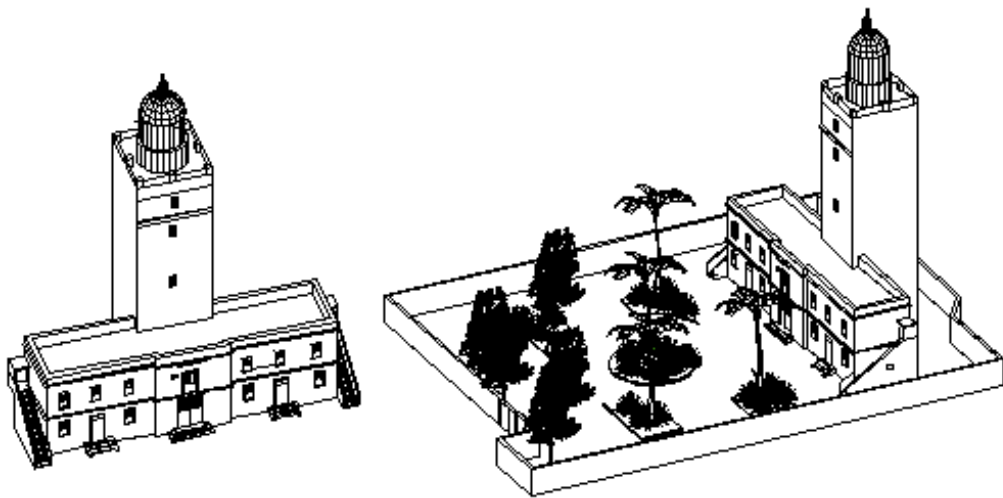


Figure 6.14 : Illustrations du phare Bengut: vue 3D <sup>(218)</sup>.

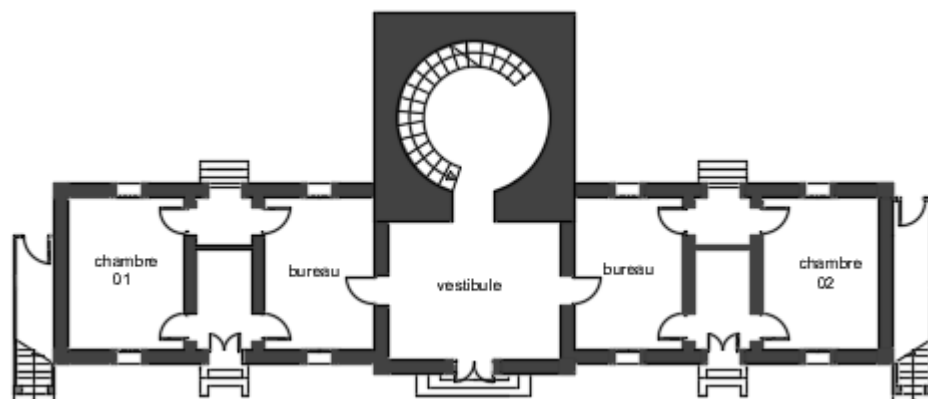


Figure 6.15 : Illustrations du phare Bengut: vue en plan RDC <sup>(219)</sup>.

<sup>218</sup> © Amari. K.

<sup>219</sup> © Amari. K.

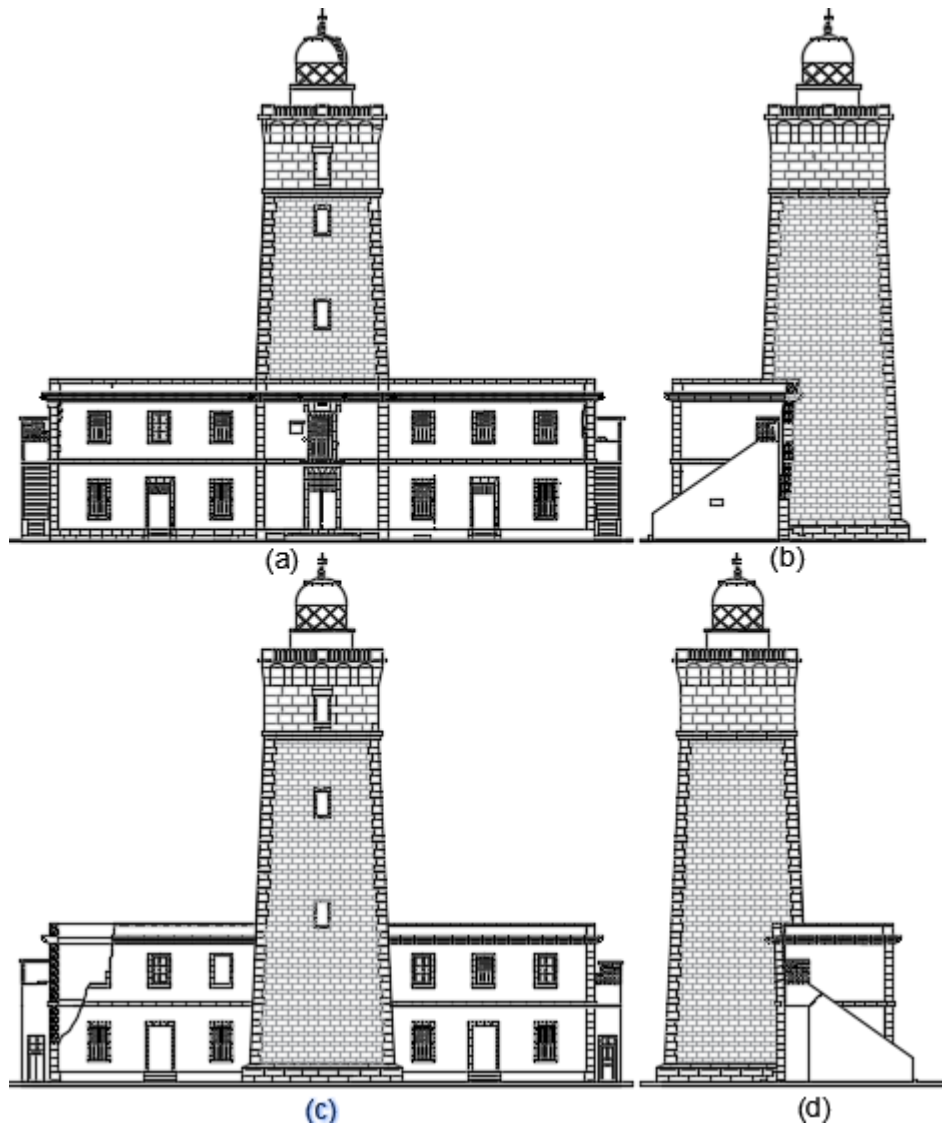


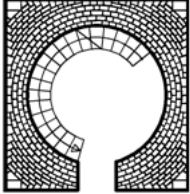
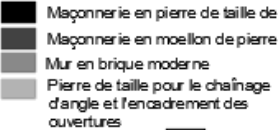
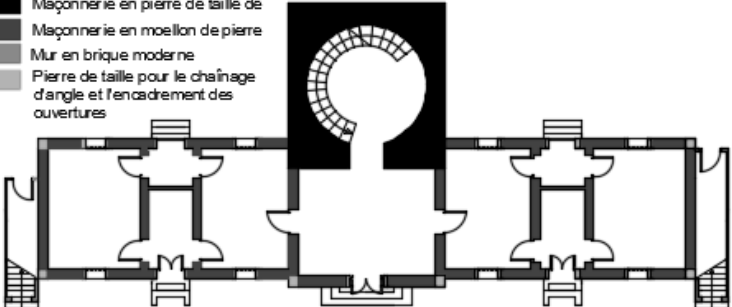
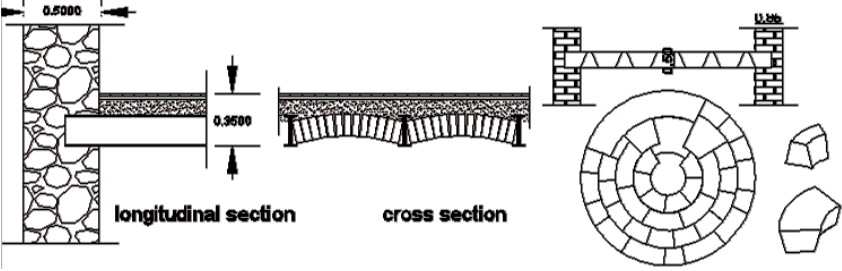
Figure 6.16 : Illustrations du phare Bengut: (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest <sup>(220)</sup>.

#### 6.4.2. Description structurelle et matériaux

Comme tous des phares construits en Algérie durant l'époque coloniale, la structure de ce bâtiment est supportée par un système des murs porteurs en maçonnerie de pierre, le bâtiment rectangulaire est en moellon de pierre alors que la tour est faite en pierre de taille [112]. Toutes les données relatives à la typologie constructive des murs, leurs épaisseurs, les mortiers utilisés et aussi le type des planchers sont présentées dans le tableau 6.9.

<sup>220</sup> © Amari. K.

Tableau 6.9 : Les techniques constructives des murs et des planchers (221).

Élément structurel	Description et illustration
<b>Murs de la tour</b>	<p>Murs en pierre de taille réalisés par un appareillage spécifique composé par des pierres de taille de dimensions différentes et chaînés aux angles.</p> 
<b>Murs du bâtiment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur en moellon de pierre.</li> <li>• Mortier ciment.</li> <li>• murs extérieurs de 50cm chaîné aux angles.</li> <li>• Mur intérieur de 40 cm.</li> </ul> <p>  </p> 
<b>Planchers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plancher voutain dans le bâtiment rectangulaire.</li> <li>• la lanterne est supporter par une voute plate en pierre de taille.</li> </ul> 

### 6.4.3. critères de la vulnérabilité sismique du phare

#### 6.4.3.1. Le risque sismique

En ce qui concerne l'aléa sismique, le spectre de réponse pour le phare Bengut a été élaboré en se référant au Règlement Parasismique Algérien RPA2003, les paramètres du spectre de réponse sont présentées ci-dessous:

- La classe sismique de la zone : selon le zoning sismique, le phare Bengut se situe dans une zone à forte sismicité, classé dans la catégorie III, dont le PGA est égale à 0.3g.
- La catégorie du bâtiment selon sa fonction : la classe 1B.
- Le type de sol : ce bâtiment est implanté sur un site rocheux du type S1.
- Le facteur qualité Q : le facteur Q pour le phare Bengut est estimé à  $Q = 1,35$ .
- Le facteur de comportement R :  $R = 2$ .

Le spectre de réponse sismique RPA2003 établis pour le phare Bengut est représenté dans la Fig.6.17, il montre que la valeur d'accélération sismique la plus élevée est de  $0,483 \text{ g} = 4,83 \text{ m / s}^2$ .

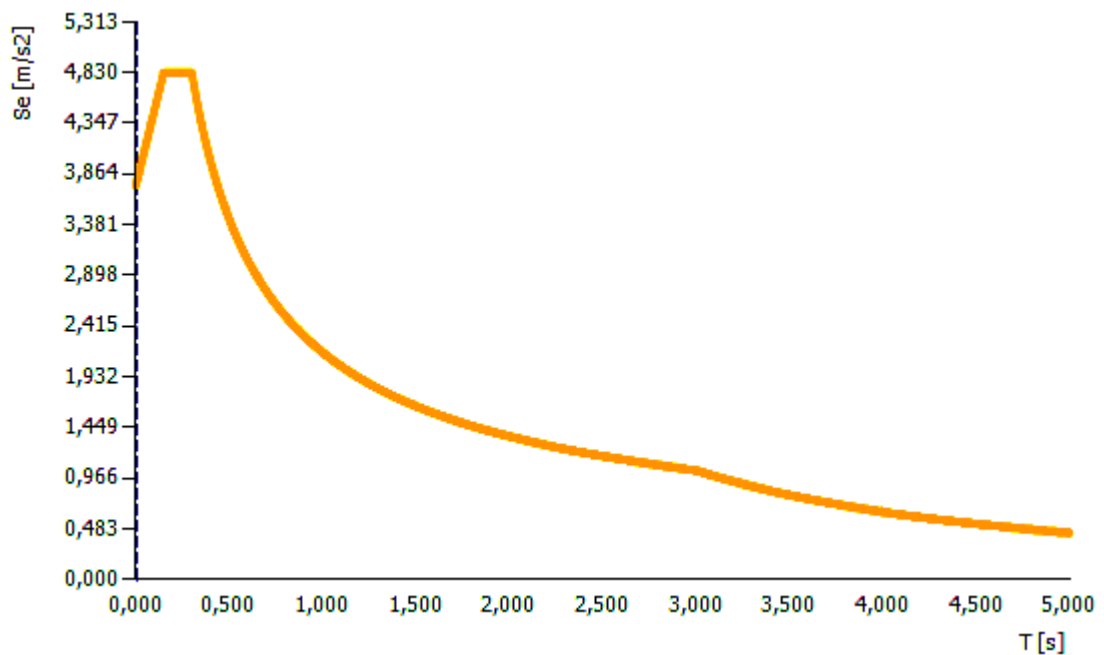


Figure 6.17 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003 [179].

#### 6.4.3.2. La configuration géométrique

Les principales caractéristiques morphologiques et irrégularités géométriques observées au niveau de la structure du phare Bengut sont présentées schématiquement dans le tableau 6.10.



Tableau 6.10: Critères morphologiques de la structure du phare Bengut selon le RPA2003 <sup>(222)</sup>.

Paramètres géométriques	Description	Illustration
Dimension du phare	$L=29.60\text{m}$ , $l=12.75\text{m}$ $d=11.25\text{m}$	
Dimension de la tour	$A=7.10\text{m}$ , $a=7.40\text{m}$ $H=26.50$	
Dimension du bâtiment	$L=29.60\text{m}$ , $b=6.35\text{m}$ $h=8.10\text{m}$	
Inclinaison de la tour	$2.65^\circ$	
Elancement de la tour	$3.66$	
Excentricité selon l'axe X	$0.58\text{ m} \leq 15\% L$	
Excentricité selon l'axe Y	$1.45\text{ m} \leq 15\% l$	
Rapport L/l	$2.33 \leq 4$	
Rapport L/b	$4.66 \geq 4$	
Rapport a/l	$0.58 \geq 0.25$	
Rapport d/L	$0.38 \geq 0.25$	
Rapport A/L	$0.24 \leq 0.67$	
Rapport a/A	$1.18 \geq 0.67$	
Symétrie selon l'axe X	$100\%$	
Symétrie selon l'axe Y	$0\%$	

D'après les critères de la régularité formelle défini par le RPA2003, la structure du phare représente une irrégularité en plan et en élévation malgré qu'elle réponde à un certain nombre de paramètres tels que : la distance entre le centre des masses et celui de la rigidité dans les deux directions X et Y, la symétrie selon l'axe X, le rapport L/l et A/a. Alors que les rapports liés à la morphologie de la structure ne respectent pas les normes du RPA2003.

<sup>222</sup> © Amari. K.

D'un point de vue structurel, et après notre constat sur les critères de la vulnérabilité concernant le risque sismique dans la zone où se trouve le phare, les matériaux et les techniques de construction utilisés, l'aspect morphologiques de la structure et spécifiquement l'absence d'un joint sismique entre le bâtiment rectangulaire et la tour, on déduit que le phare est classé dans la catégorie des tours en maçonnerie très élancée et fortement vulnérables à l'action sismique, cela est aussi confirmé par les dégâts structurels causés par les secousses du séisme de Boumerdès en Mai 2003.

#### 6.4.3.3. Mécanismes d'effondrement du phare après le séisme de Boumerdès 2003

La structure du phare Bengut a subit depuis sa construction jusqu'à aujourd'hui deux événements destructeurs : le premier était un endommagement léger non structurel causé par une bombe terroriste au début de l'année 1994 [75]. Le deuxième événement était plus destructif et les dégâts structurels étaient graves : fissures à la fois profondes et superficielles le long de tous les murs extérieurs et intérieurs, l'effondrement partiel du plancher et des murs et le basculement global et partiel des murs. Ces dommages ont été causés par le tremblement de terre qui a touché la ville de Boumerdès en Mai 2003. En attendant les travaux de restauration et de reconversion du phare en un musée de la marine [73], un étaieement d'urgence en bois est mise en place à l'intérieur du bâtiment, il est placé en-dessous des planchers pour empêcher leur effondrement. Des tirants en acier ont été aussi placés sur toute la hauteur à l'intérieur de la tour.

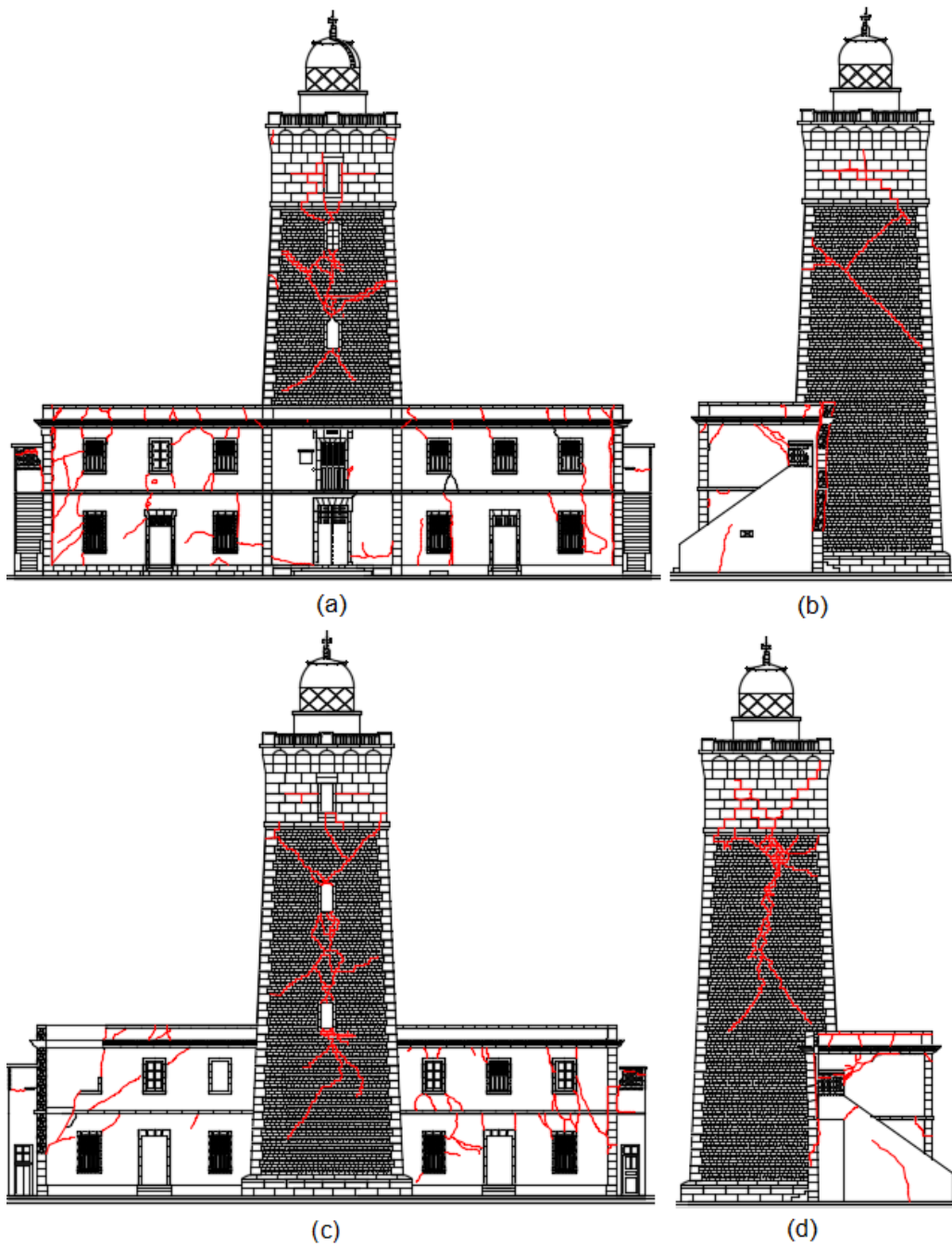
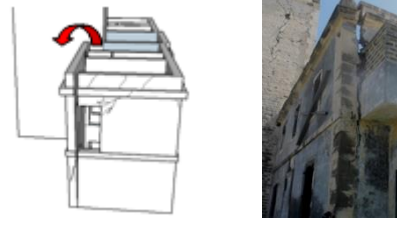
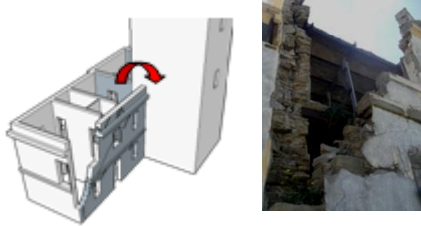
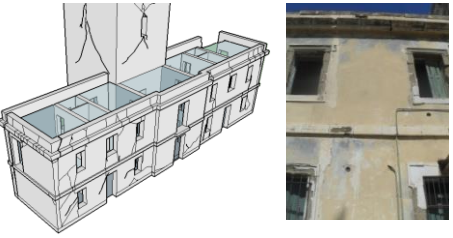
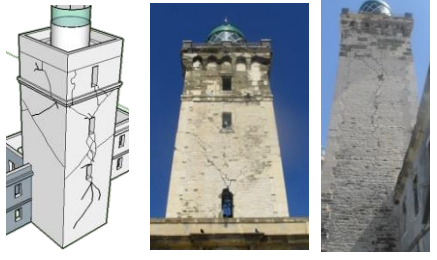




Figure 6.18 : cadre de fissuration: (a) façade principale; (b) vue latérale Est; (c) façade arrière; (d) vue latérale Ouest <sup>(223)</sup>.

Les modes de fissuration et d'endommagement présenté dans la Figure 6.18 sont étudiés afin de fournir une classification systématique de la situation post-sismique de la structure du phare. Les différents mécanismes d'effondrement sont définis et expliqués à travers la description et les illustrations dans le tableau 6.11.

<sup>223</sup> © Amari. K.

Tableau 6.11: Classification des mécanismes d'effondrement (224).

Abaque des dommages	Description	Illustration
<b>Renversement global de la façade</b>	Séparation de la façade nord-ouest du mur latéral au niveau de l'angle, ce dommage est lié à la mauvaise liaison entre les murs orthogonaux et aussi entre les murs et les planchers.	 <p>The illustration for global facade overturning consists of a 3D schematic on the left showing a red curved arrow indicating the rotation of the facade away from the building. To the right is a photograph of a building's corner where the facade has detached and is falling away.</p>
<b>Renversement local de la façade</b>	Renversement vertical de la façade nord-est, avec un effondrement local de la partie supérieure du mur dans angle. Ce mécanisme hors plan est dû à la concentration des contraintes qui se produisent à l'intersection des murs transversaux à l'absence d'un chaînage adéquat et à la présence des ouvertures de grandes dimensions	 <p>The illustration for local facade overturning shows a 3D schematic on the left with a red curved arrow indicating the vertical rotation of a section of the facade. The photograph on the right shows a building corner with a significant vertical displacement and local collapse of the upper part of the wall.</p>
<b>Mécanisme de cisaillement en plan de la façade</b>	Fissures dans les façades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fissures de cisaillement en X</li> <li>• Fissure verticale ou en forme d'arc proche des angles</li> <li>• Fissures diagonales (simples et croisées)</li> </ul>	 <p>The illustration for in-plane shear shows a 3D schematic on the left with lines indicating various crack patterns (X-shaped, vertical, and diagonal) on a facade. The photograph on the right shows a close-up of a building facade with several distinct crack patterns.</p>
<b>Renversement du sommet de la tour</b>	Fissures passantes verticales, horizontales et diagonales sur les quatre côtés de la tour, dues aux actions de compression à long terme et aux actions de flexion sismique occasionnés par la torsion.	 <p>The illustration for tower top overturning includes a 3D schematic on the left showing a tower with a green dome and lines indicating cracks. To the right are two photographs: one showing a tower with a dome and another showing a tall, narrow tower with a dome, both exhibiting signs of structural distress.</p>
<b>Fissures de cisaillement des parois internes</b>	Fissures diagonales et verticales le long de tous les murs intérieurs.	 <p>The illustration for internal wall shear cracks shows two photographs of interior walls. Both show diagonal and vertical cracks running along the length of the walls, indicating shear failure.</p>
<b>Dommage au niveau des planchers</b>	Fissures au niveau de la voute plate qui porte la lanterne. Effondrement partielle de l'étage supérieur au niveau du bâtiment dont les poutres IPN ont été détachées des parois latérales	 <p>The illustration for floor slab damage shows two photographs. The left one shows a damaged floor slab with exposed rebar and debris. The right one shows a brick wall with a horizontal crack and a wooden beam, likely related to the floor slab failure.</p>

Sur la base de ce diagnostic visuel des dégâts sismiques et le document NIKER 2010 [271] qui traite « les nouvelles approches sur la protection du patrimoine culturel contre les risques liés aux tremblements de terre », il est possible de classer la qualité de la maçonnerie qui compose la structure du phare dans une plage de variation appropriée, les murs du bâtiment rectangulaire peuvent être classés entre «une maçonnerie médiocre» ou «une maçonnerie mauvaise» alors que les murs de la tour sont généralement homogènes et de bonne qualité.

#### 6.4.4. L'analyse numérique de la vulnérabilité sismique

##### 6.4.4.1. La modélisation numérique

Le modèle 3D de la structure implémenté au Tremuri, est présenté sur le Fig.6.19, il est composé de 213 éléments et 76 nœuds.

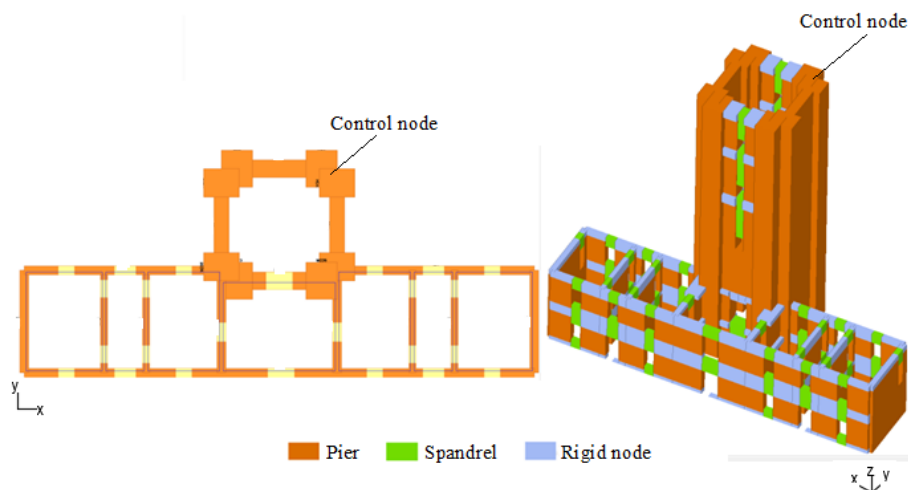


Figure 6.19 : Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) du phare Bengut réalisé par TreMuri.

##### 6.4.4.2. Analyse modale préliminaire

L'analyse dynamique linéaire a été effectuée afin d'évaluer les modes d'endommagement potentiels par rapport aux modes d'endommagement réellement observés sur la structure du phare après le séisme du 2003. Le tableau 6.12 rapporte les 12 premiers modes de réponse fournis par l'analyse modale: la participation massique dans les directions X et Y atteignent respectivement les valeurs de 95,23% et 95,97% avant le 12<sup>ième</sup> mode de vibration.

Tableau 6.12: Résultats de l'analyse modale pour les 12 modes de vibration.

Mode	T (s)	m <sub>x</sub> (kg)	M <sub>x</sub> (%)	m <sub>y</sub> (kg)	M <sub>y</sub> (%)	m <sub>z</sub> (kg)	M <sub>z</sub> (%)
1	1.22975	1281492	<b>42.28</b>	2	0.00	0	0.00
2	1.21589	2	0.00	1449487	<b>47.82</b>	1	0.00
3	0.79637	20245	0.67	0	0.00	0	0.00
4	0.43207	31977	1.05	3	0.00	0	0.00
5	0.37531	2	0.00	1,245,551	<b>41.09</b>	22	0.00
6	0.34775	1033403	<b>34.09</b>	4	0.00	0	0.00
7	0.31534	258212	<b>8.52</b>	1	0.00	0	0.00
8	0.28018	87862	2.90	0	0.00	0	0.00
9	0.25022	0	0.00	213320	<b>7.04</b>	4	0.00
10	0.23033	153386	<b>5.06</b>	0	0.00	0	0.00
11	0.20577	0	0.00	610	0.02	1,668,540	<b>55.05</b>
12	0.20502	20023	0.66	0	0.00	1	0,00
Σ	-	-	<b>95.23</b>	-	<b>95.97</b>	-	<b>55.05</b>

Suite aux résultats de l'analyse modale, nous pouvons observer que les 1<sup>ier</sup> et 6<sup>ième</sup> modes de vibration sont translationnels selon la direction X, avec une période de 1,22s et 0,34s respectivement, et une participation massique de 42,28% et 34,09%. Les 2<sup>ième</sup> et 5<sup>ième</sup> formes modales sont translationnelles selon l'axe Y, ils impliquent une participation massique de 47,82% et 41,09% respectivement, avec une période de 1,21s et 0,37s. Le 11<sup>ième</sup> mode de vibration est torsionnel, avec une participation de masse de 55,05% le long de la direction Z. Notons que les 3<sup>ième</sup>, 4<sup>ième</sup>, 8<sup>ième</sup> et 10<sup>ième</sup> forme modales sont translationnelles selon l'axe X, ils représentent des modes locaux due à la très faible participation massique qu'ils impliquent. Toutes les autres formes modales montrent une participation de masse très faible et négligeable.

Comme commentaire général, nous pouvons dire que les résultats de l'analyse modale, avec la faible participation massique dans les premiers modes de translation et le mode de torsion, montrent qu'un comportement régulier ne peut pas être clairement reconnu. Ce comportement est le cas général des bâtiments en maçonnerie qui présentent une irrégularité en plan et en élévation. D'un point de vue physique, cela signifie que sous l'action sismique, la réponse de la structure sera fortement affectée par des effets de torsion supplémentaires, qui peuvent être particulièrement dangereux sur les murs, à la fois en termes de flexion et de cisaillement dans le plan et en termes de contraintes hors plan.

#### 6.4.4.3. L'analyse pushover

Afin d'étudier le comportement sismique de la structure dans le domaine statique non linéaire, une analyse pushover a été effectuée, les résultats de cette analyse ont déterminé les courbes de capacité et l'état d'endommagement des murs. Le déplacement exprimé dans la courbe de capacité est calculé à partir d'un point de control situé à l'angle en haut de la tour Fig.6.19.

Les Figures 6.20, 6.21, 6.22 et 6.23 représentent les courbes de capacité les plus défavorables avec l'état d'endommagement des murs par rapport au cas de chargement agissant dans les directions suivantes :

- -X proportionnelles aux masses, avec une excentricité accidentelle de -58.25cm.
- +Y proportionnelles aux masses, dont l'excentricité accidentelle est de 145.50cm.
- +X proportionnelles à la première forme modale, avec une excentricité accidentelle de 58.25cm.
- -Y proportionnelles à la première forme modale, dont l'excentricité accidentelle est de 145.50cm.

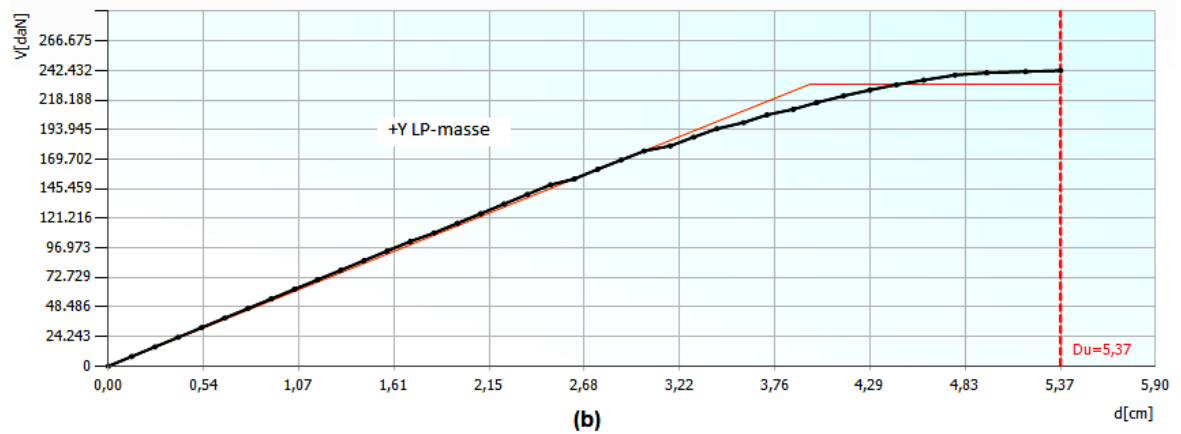
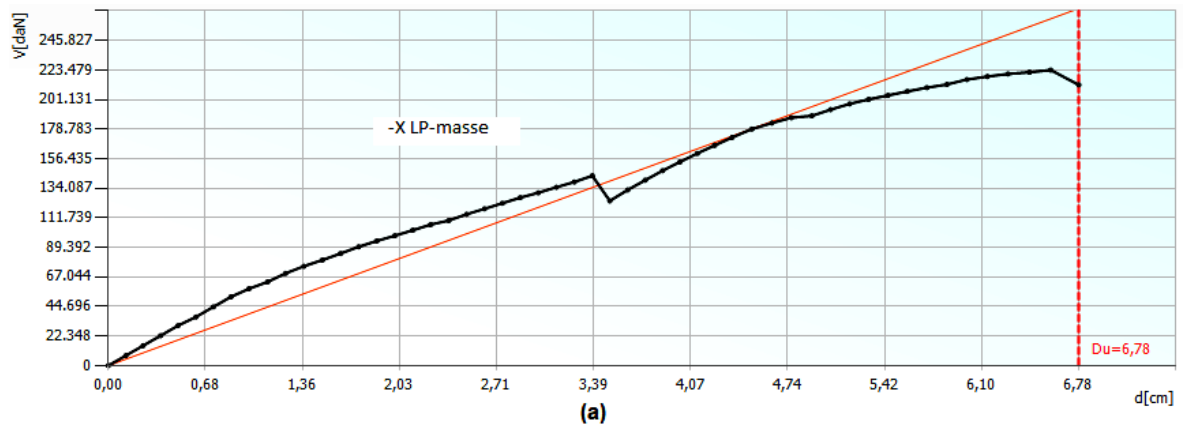


Figure 6.20 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement  $Du$ . a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens +Y proportionnel aux masses.



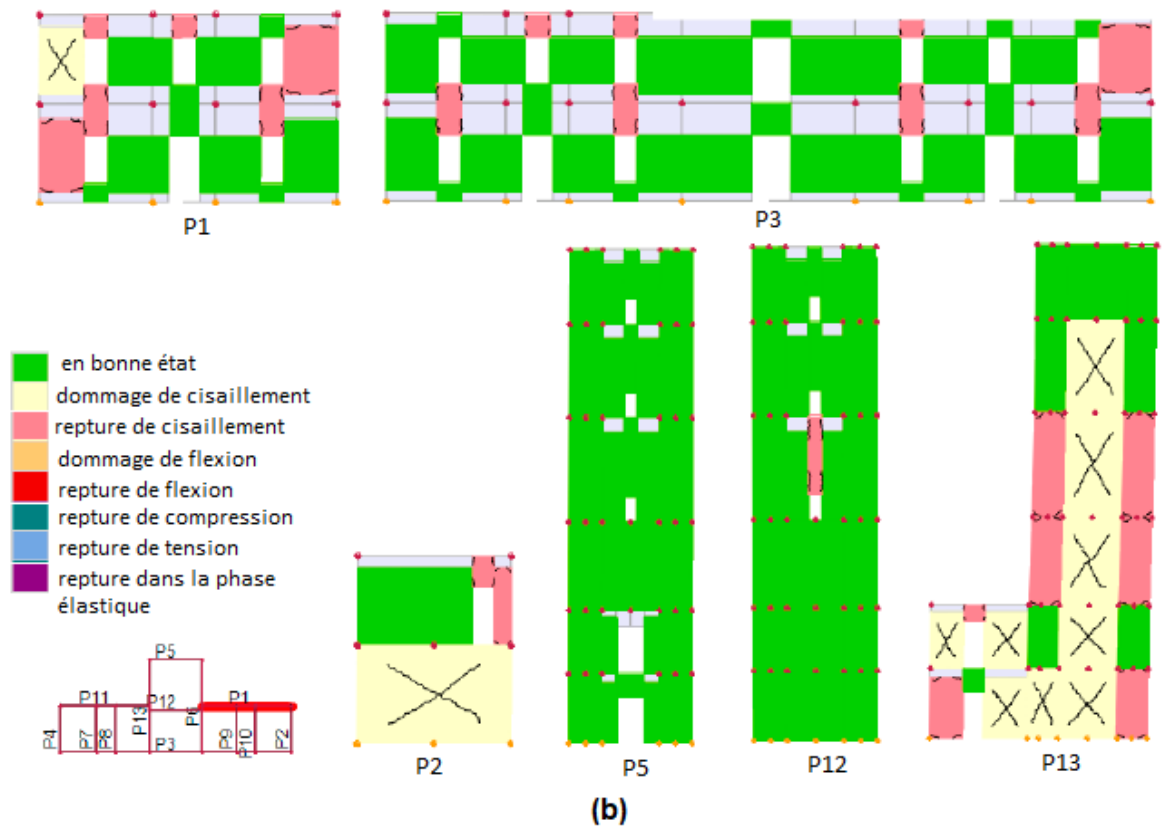
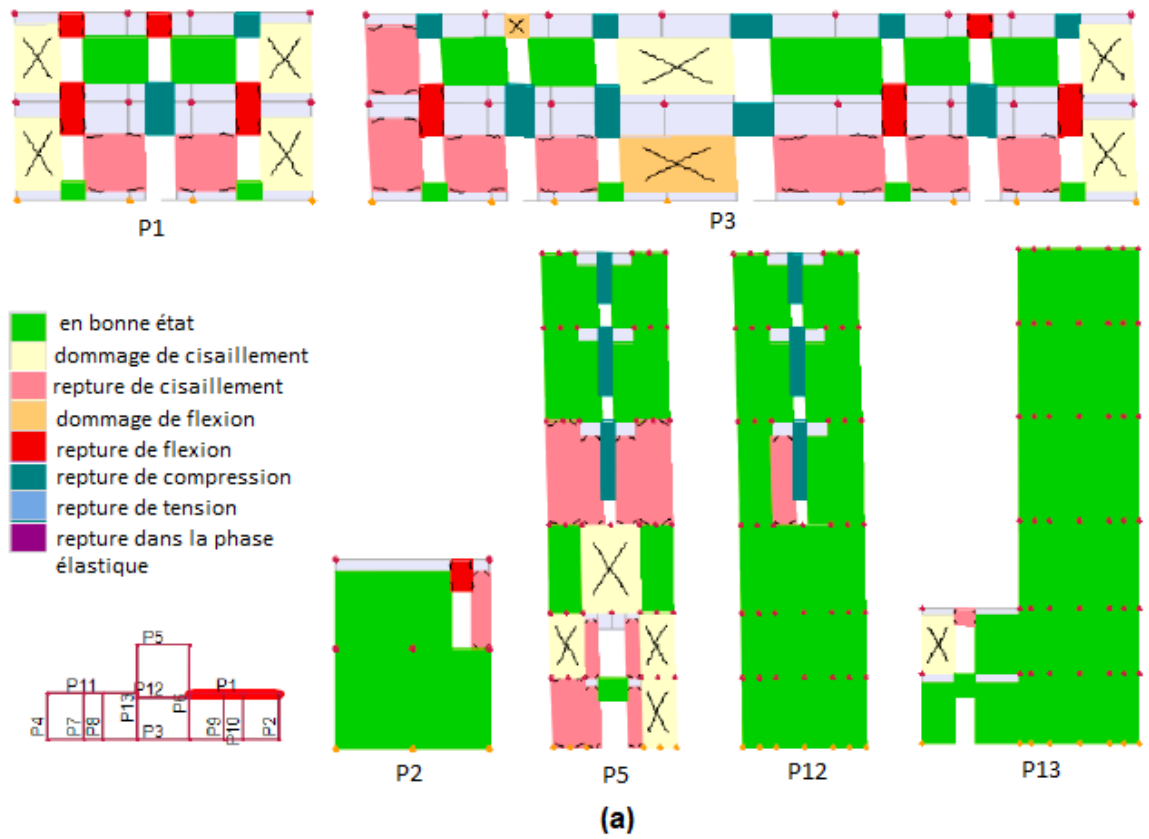


Figure 6.21: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens +Y proportionnel aux masses.

La courbe de capacité (a) dans la Fig.6.20 obtenue dans la direction -X proportionnelle aux masses, montre que la structure a une réponse élastique avec un déplacement ultime de 6,78cm. Il est possible d'observer sur la Fig.6.21(a) que la concentration d'endommagement est approximativement symétrique sur la façade principale P3, le côté Est P1 et Ouest P11 du bâtiment : une concentration de dommage de cisaillement à l'angle de la paroi P3 (P3 et P2, P3 et P4). Une rupture de cisaillement peut être observée à la base et aux zones de contact avec le tour aux parois P1 et P11. Les dommages de flexion sont situés à l'angle des parois P1 et P11. Les trumeaux des ouvertures au niveau des parois P1, P11 et P3 développent des ruptures de flexion et de compression. Concernant la tour, on observe la formation d'une charnière de cisaillement à proximité de la base et en partie centrale à proximité des ouvertures dans la paroi P12. En haut des parois P5 et P12 apparaît une rupture de compression.

Par rapport à la direction +Y proportionnelle aux masses représentée sur la Fig.6.20(a), la réponse de la structure est élastique-plastique avec un déplacement ultime de 5,37 cm. Les dommages de cisaillement sont principalement visible sur : les parois P6 et P13 le long de toute la hauteur de la tour et au niveau des zone de contact tour /bâtiment, et à la base des parois P2 et P4.

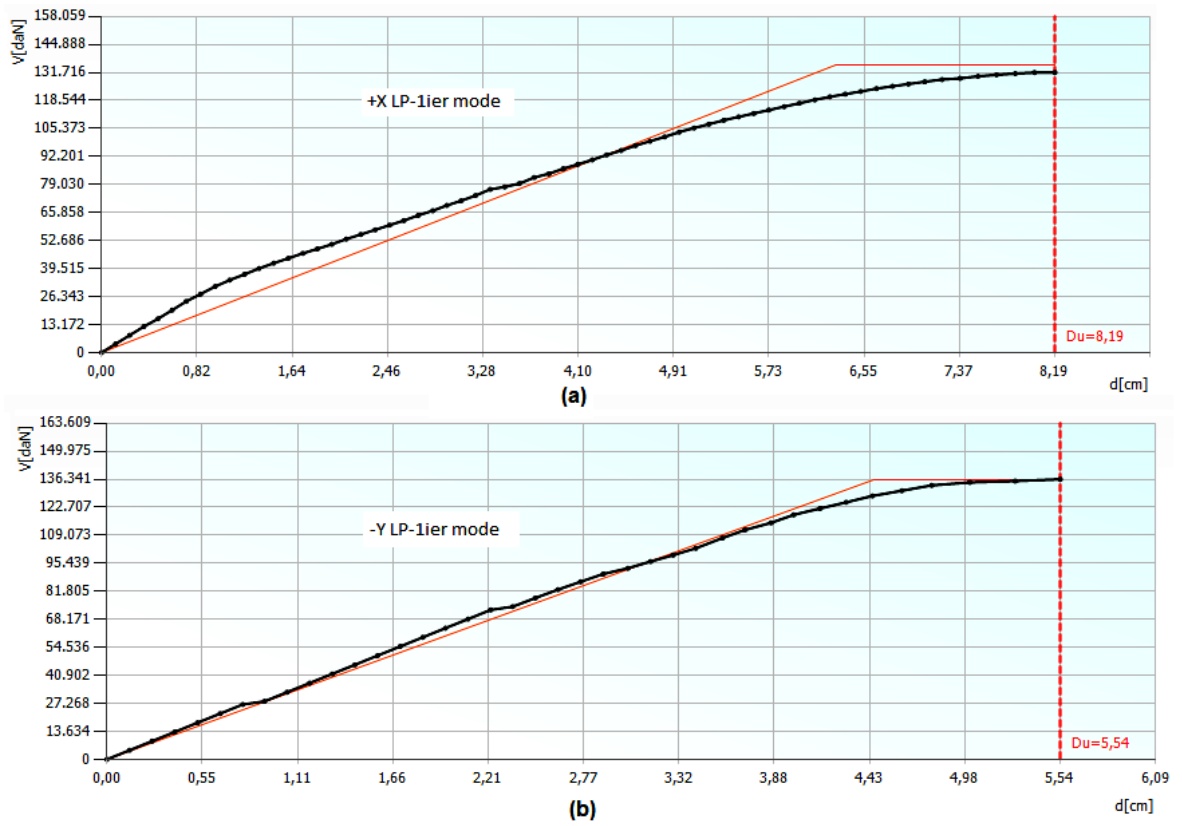


Figure 6.22 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime  $Du$ . a) Pushover dans le sens + X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens -Y proportionnel au premier mode.

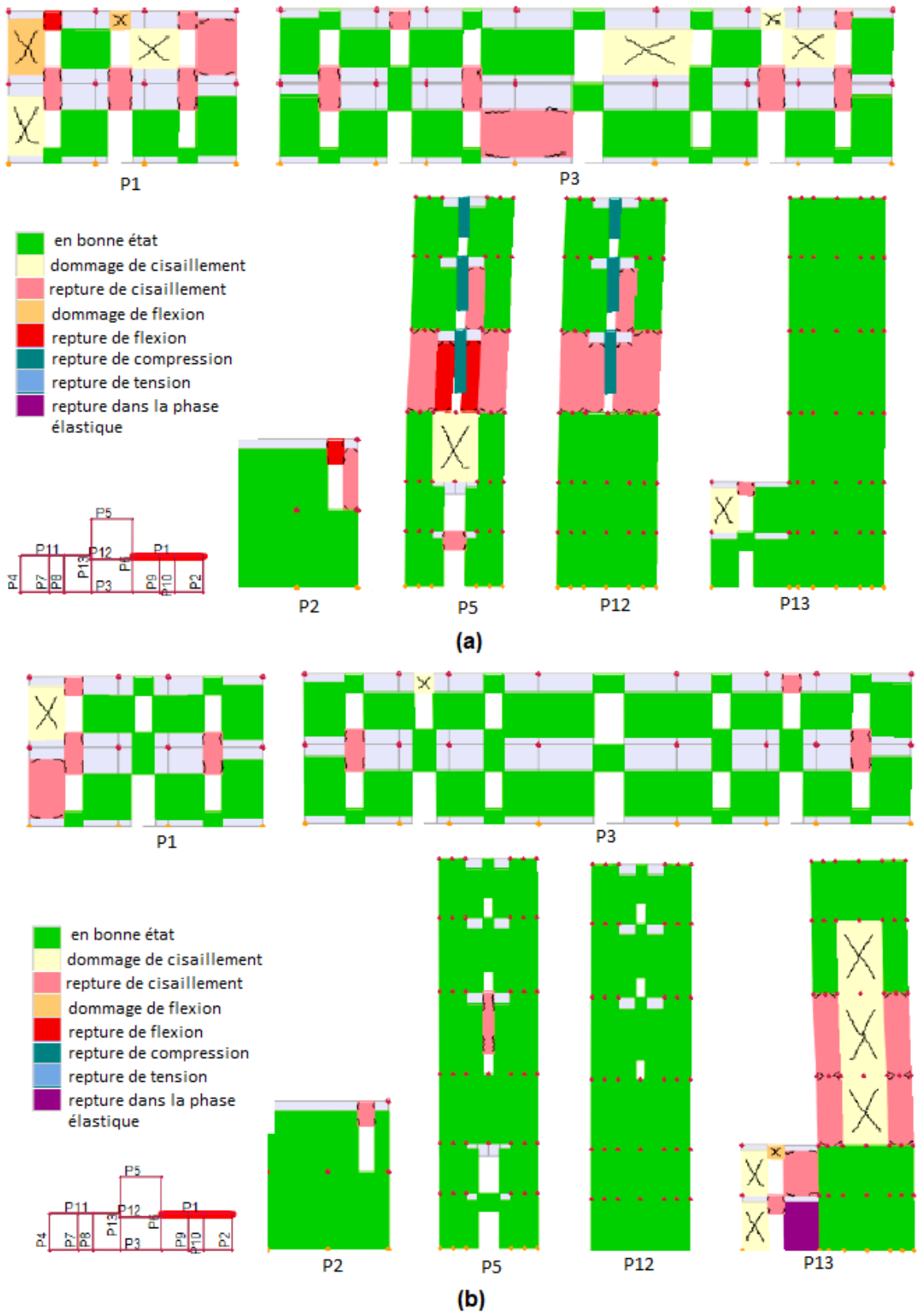


Figure 6.23: L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens +X proportionnel au premier mode. b) dans le sens -Y proportionnel au premier mode.

Dans le cas d'une charge agissante dans la direction +X proportionnelle au premier mode de vibration, la courbe de capacité sur la Fig.6.22(a) montre une tendance élastique-plastique, par rapport aux deux directions précédentes, on observe un déplacement accru  $D_u = 8,19\text{cm}$ . Une rupture de cisaillement et de compression est évidente au niveau des parois de la tour P5 et P12 dans la zone centrale. Les murs du bâtiment P1 et P11 développent aussi une rupture de cisaillement dans l'angle au niveau de la zone de contact tour /bâtiment, et des dommages de flexion dans l'autre côté.

La courbe de capacité dans la direction -Y proportionnelle à la première forme modale est également élastique-plastique avec un déplacement ultime de 5,54 cm. La carte des dommages dans cette direction montre généralement le même état que celui obtenu dans la direction + Y proportionnelle aux masses. Il est possible d'observer la formation de rupture de cisaillement sur les parois P1 et P11 à l'angle. Cependant, la concentration des dommages et des ruptures de cisaillement les plus importantes est évidemment dans la partie centrale de la tour et la zone basse du bâtiment au niveau de parois P6 et P13.

A partir de cette analyse, nous pouvons dire que le modèle de dommage en plan fourni par les analyses pushover est en accord avec la distribution réelle des fissures observées après les enquêtes post-séisme dans la Fig.6.18 tableau 6.11, mais il y a certains résultats qui ne simulent pas parfaitement les dommages sismiques réels, en particulier au niveau des murs du bâtiment, qui présentent des modes de dommage importants liés aux mécanismes d'effondrement locaux hors plan dont l'analyse pushover ne peut pas capter. En regardant les fissures réelles sur les murs, la formation des mécanismes locaux hors du plan est évidente, la Fig.6.24 montre la présence de trois principaux mécanismes d'effondrement locaux: (a) Global renversement de la façade arrière droite, (b)renversement partiel de la façade arrière gauche ; (c) Renversement du sommet de la tour.

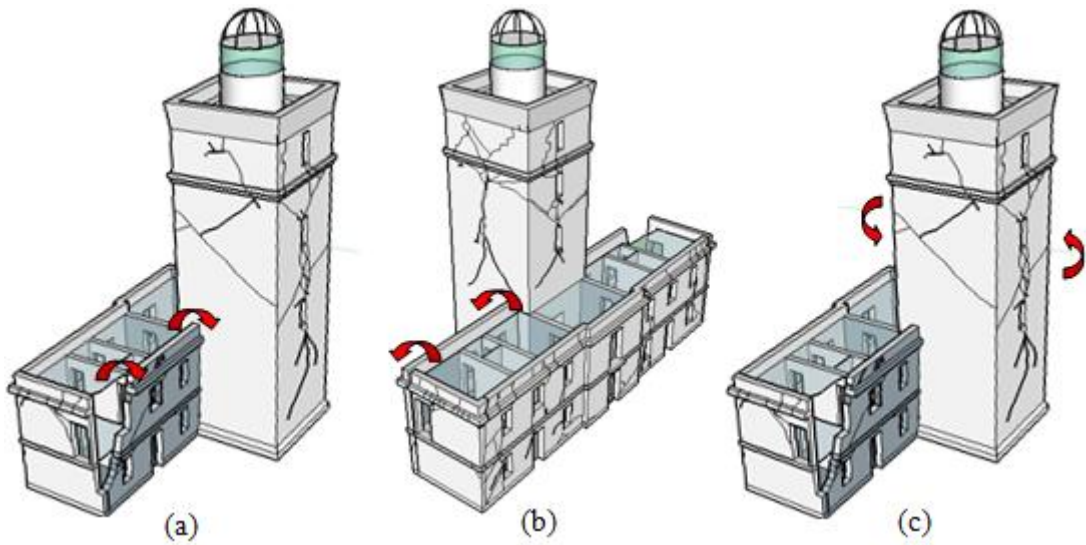


Figure 6.24 : Les mécanismes d'effondrement: (a) renversement global de la façade arrière droite, (b) renversement partiel avec axe de rotation diagonal de la façade arrière gauche; et (c) Renversement du sommet de la tour <sup>(225)</sup>.

## 6.5. Le phare des îles Habibes

### 6.5.1. Description architecturale

La structure du phare est composée d'un bâtiment rectangulaire de 22.50 m en longueur et 9.00 m dans sa largeur. Le phare se développe sur un seul niveau. La tour du phare se trouve sur le bâtiment rectangulaire, elle a une forme carrée de 3.26 m de côté et 10.24 m en hauteur au dessus du sol [100]. Le phare est illustré en 3D, en plans et en élévation dans les figures suivante :

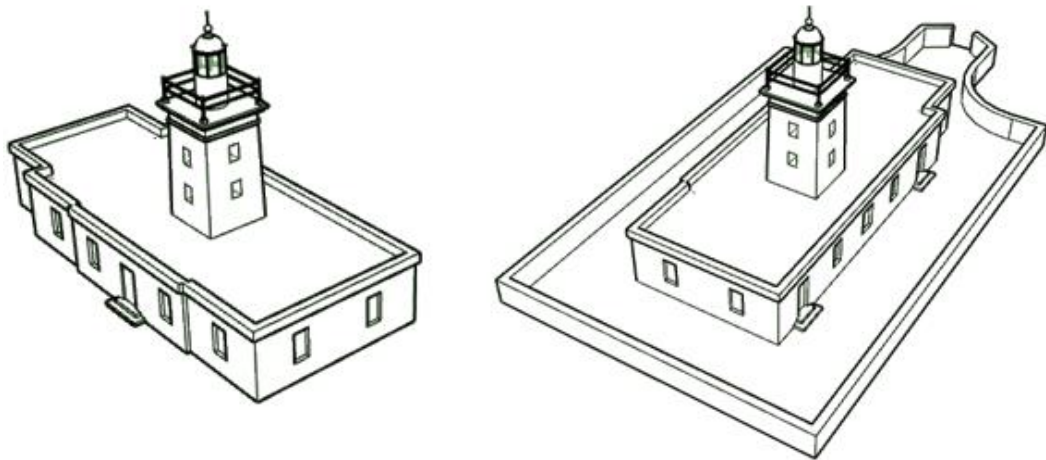


Figure 6.25: Illustrations du phare des îles Habibes: vue 3D <sup>(226)</sup>.

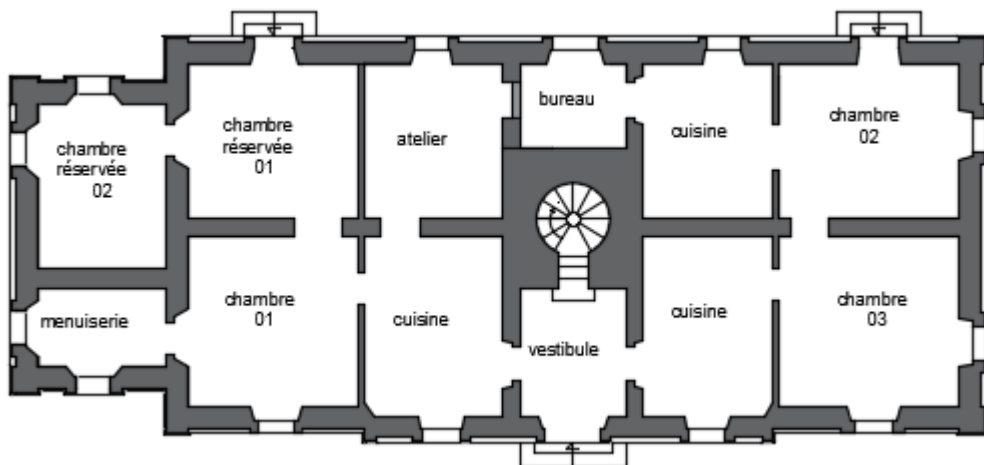


Figure 6.26 : Illustrations du phare des îles Habibes: vue en plan RDC <sup>(227)</sup>.

<sup>226</sup> © Amari. K.

<sup>227</sup> © Amari. K.

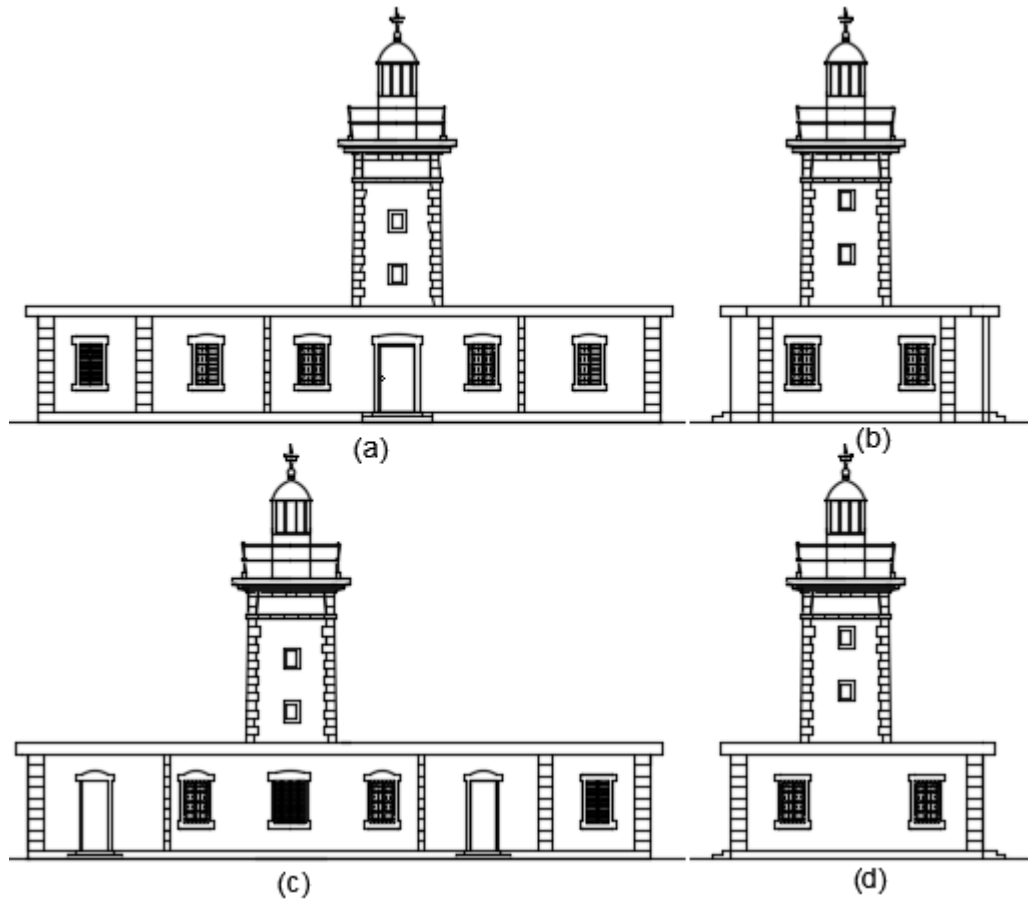


Figure 6.27 : Illustrations du phare des îles Habibes: (a) façade principale; (b) vue latérale gauche; (c) façade arrière; (d) vue latérale droite <sup>(228)</sup>.

### 6.5.2. Description structurelle et matériaux


La tour du phare est construite en moellons de pierres, elle est supportée par une structure rectangulaire en murs porteurs aussi en moellons de pierres [100]. Les données relatives à la typologie constructive des murs, leurs épaisseurs, les mortiers utilisés et aussi le type des planchers sont présentés dans le tableau 6.13.

---

<sup>228</sup> © Amari. K.



Tableau 6.13 : Les techniques constructives des murs et des planchers <sup>(229)</sup>.

Élément structurel	Description et illustration
<p><b>Murs</b></p>	<p><u>la tour</u></p> <p>Murs porteur en moellons de pierres de 80 cm, chaînés aux angles avec des pierres de taille.</p> <p><u>Le bâtiment rectangulaire</u></p> <p>Mur porteur en moellons de pierres de 50 cm à l'extérieur et de 40 cm à l'intérieur, avec un chaînage d'angle en pierres de taille.</p> 
<p><b>Planchers</b></p>	<p>Une voute plate en pierres de tailles est installée en haut de la tour pour supporter la lanterne, le bâtiment rectangulaire est couvert par un plancher voutain .</p>

### 6.5.3. critères de la vulnérabilité sismique du phare des îles Habibes

#### 6.5.3.1. Le risque sismique

Sur la base des données du Règlement Parasismique Algérien RPA2003, un spectre de réponse sismique a été élaboré pour le phare des îles Habibes, dont les paramètres qui déterminent ce dernier sont :

- La classe sismique de la zone : le phare de l'île Habibes est implanté dans une zone à moyenne sismicité, classé dans la catégorie II a, le PGA est égale à 0.2g.
- La catégorie du bâtiment selon sa fonction : la classe 1B.
- Le type de sol : le phare est implanté sur une île de nature géologique rocheuse, et dont le sol est de type S1.
- Le facteur qualité Q : le facteur Q est estimé à  $Q = 1,35$ .
- Le facteur de comportement R :  $R = 2$ .

Le spectre de réponse sismique RPA2003 établi pour le phare des îles Habibes est représenté dans la Fig.7.28, il montre que la valeur d'accélération sismique la plus élevée est de  $0,322 \text{ g} = 3,22 \text{ m / s}^2$ .

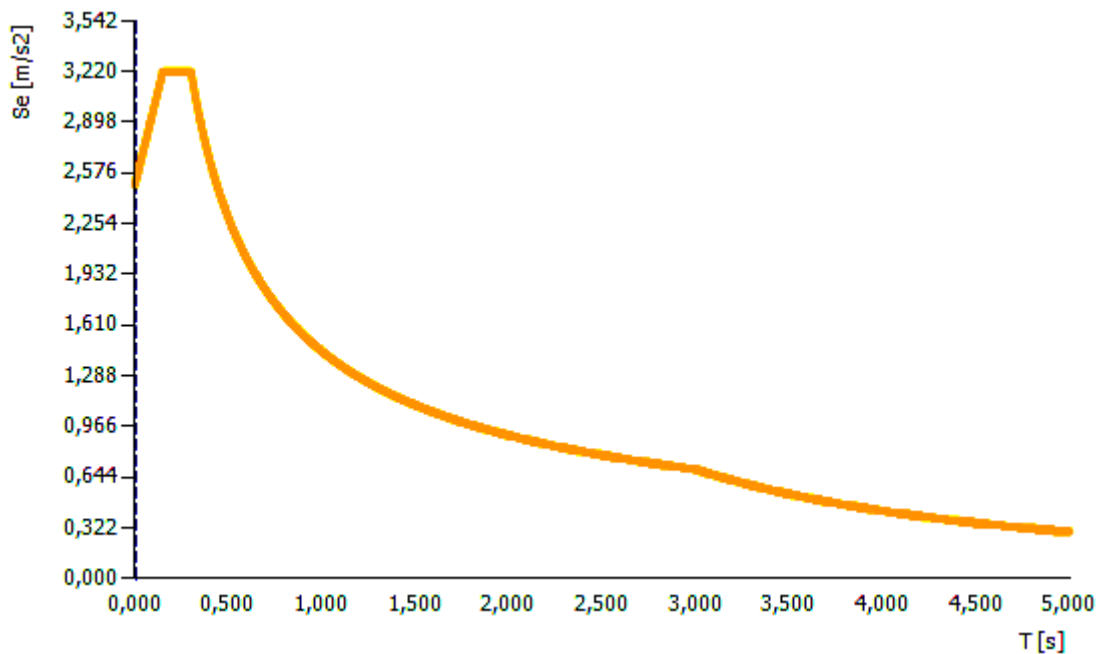


Figure 6.28 : Le spectre de réponse élastique en format Sa-T selon RPA2003 [179].

#### 6.5.3.2. La configuration géométrique

Les critères formels et irrégularités géométriques qui caractérisent le bâtiment du phare des îles Habibes sont présentés schématiquement dans le tableau 6.14.

Tableau 6.14: Critères morphologiques de la structure du phare des îles Habibes selon le RPA2003 <sup>(230)</sup>.

Paramètres géométriques	Description	Illustration
Dimension du phare	L=22.50m, l=9.00m	
Dimension de la tour	A=3.26 H=13.8	
Dimension du bâtiment	c=3.50m, d=1.05m h=3.84m	
Inclinaison de la tour	1°	
Elancement de la tour	3.14	
Excentricité selon l'axe X	0.42 m ≤ 15% L	
Excentricité selon l'axe Y	1.10 m ≤ 15% l	
Rapport L/l	2.5 ≤ 4	
Rapport c/L	0.15 ≤ 0.25	
Rapport 2d/l	0.23 ≤ 0.25	
Rapport A/L	0.14 ≤ 0.67	
Rapport A/l	0.36 ≤ 0.67	
Symétrie selon l'axe X	50%	
Symétrie selon l'axe Y	75%	

En se référant aux critères de la régularité formelle définie par le RPA 2003, le phare des îles Habibes représente une irrégularité en élévation, dont les rapports : A/L et A/l ne respectent pas les normes du RPA2003. Alors qu'elle répond aux paramètres de la régularité en plan tel que : la distance entre le centre des masses et celui de la rigidité dans les deux directions X et Y, la symétrie selon l'axe X et Y, le rapport L/l et c/L.

<sup>230</sup> © Amari. K.

Après l'analyse des critères sismique du phare des îles Habibes en terme de: risque sismique, matériaux, techniques de constructives et l'aspect morphologique, on classe la structure du phare dans la catégorie des tours en maçonnerie élancé et placée au centre d'un bâtiment de basse hauteur, cette disposition présente une forte vulnérabilité face aux vibrations sismique.

#### 6.5.4. L'analyse numérique de la vulnérabilité sismique

##### 6.5.4.1. La modélisation numérique

Le modèle 3D du phare effectué par le logiciel TreMuri, et présenté sur la Fig.6.29 est composé de 186 éléments, 128 nœuds.

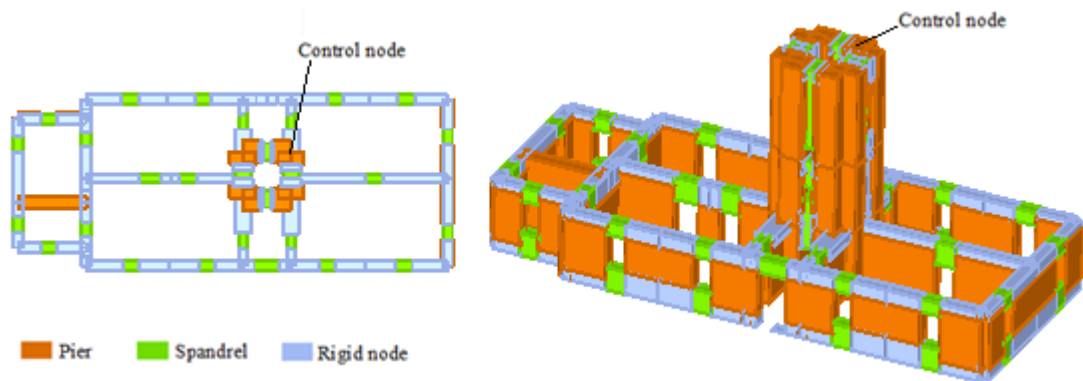


Figure 6.29. Le modèle macroéléments non linéaires (NLM) du phare des îles Habibes réalisé par TreMuri.

##### 6.5.4.2. Analyse modale préliminaire

Les résultats de l'analyse modale effectuée pour le la structure du phare sont présentés dans Le tableau 6.15, 12 formes modales sont associées afin de comprendre le comportement dynamique de la structure.

En suivant la norme du RPA2003, la participation massique dans les directions X et Y atteignent respectivement les valeurs 98,86% et 95,97% avant le 12e mode de vibration.

Tableau 6.15: Résultats de l'analyse modale pour les 12 modes de vibration.

Mode	T (s)	m <sub>x</sub> (kg)	M <sub>x</sub> (%)	m <sub>y</sub> (kg)	M <sub>y</sub> (%)	m <sub>z</sub> (kg)	M <sub>z</sub> (%)
1	0.55021	0	0.00	113.144	<b>19.63</b>	1	0.00
2	0.49673	97.538	<b>16.92</b>	0	0.00	1	0.00
3	0.43171	1	0.00	0	0.00	0	0.00
4	0.21397	1	0.00	200.006	<b>34.70</b>	3	0.00
5	0.20767	0	0.00	90	0.02	0	0.00
6	0.17826	93.888	<b>16.29</b>	9	0.00	0	0.00
7	0.17527	0	0.00	9	0.00	0	0.00
8	0.16992	0	0.00	253.162	<b>43.92</b>	0	0.00
9	0.12990	349.062	<b>60.58</b>	80	0.01	11	0.00
10	0.12617	28.849	5.01	1.962	0.34	20	0.00
11	0.09346	287	0.05	103	0.02	2.064	0.36
12	0.07899	69	0.01	202	0.03	159.481	<b>27.67</b>
Σ	-	-	<b>98.86</b>	-	<b>95.97</b>	-	<b>27.67</b>

Le tableau ci-dessus représente les résultats de l'analyse modale, la 1<sup>ier</sup> et la 4<sup>ième</sup> formes modales sont translationnels selon la direction Y, elles impliquent une participation massique de 19.63% dans le 1<sup>ier</sup> mode et 34.70 dans le 4<sup>ième</sup> mode, avec une période respectivement de 0,55 s, 0,21 s. Le 2<sup>ième</sup>, le 6<sup>ième</sup> et le 9<sup>ième</sup> mode de vibration représentent une translation suivant la direction X, avec une participation massique respectivement de 16,92%, 16.29% et 60,58%, avec une période de 0,49 s, 0.17 et de 0,12 s. Le 12<sup>ième</sup> mode de vibration est une torsion, dont la participation massique atteint 27.67% dans une période de 0.07s. On note que la structure présente un seul mode local qui implique une faible participation de masse selon la direction X, alors que le reste des formes montrent une participation massique très négligeable.

A partir de cette analyse dynamique linéaire, nous pouvons dire que la structure du phare ne montre pas un comportement sismique clairement régulier, vu que la participation massique dans les premiers modes de translation selon les deux directions X et Y est faible. Ces résultats signifient que sous un séisme, le comportement de la structure serait fortement affecté par des effets de torsion supplémentaires, en termes de flexion et de cisaillement dans le plan et en termes de contraintes hors plan.

#### 6.5.4.3. L'analyse pushover

Les courbes de capacité obtenues à travers l'analyse pushover sont exprimées en termes de déplacement horizontal et cisaillement en base, dont le déplacement est calculé à partir d'un point de contrôle situé dans le coin en haut de la tour (la Fig.6.29). Les Figures 6.30, 6.31, 6.32 et 6.33 représentent les courbes de capacité les plus défavorables avec l'état d'endommagement des murs par rapport au cas de chargement agissant dans les directions suivantes:

- -X proportionnelles aux masses, avec une excentricité accidentelle de 42.50cm.
- -Y proportionnelles aux masses, dont l'excentricité accidentelle est de -110cm.
- -X proportionnelles à la première forme modale, avec une excentricité accidentelle de 42.50cm.
- +Y proportionnelles à la première forme modale, dont l'excentricité accidentelle est de 110cm.

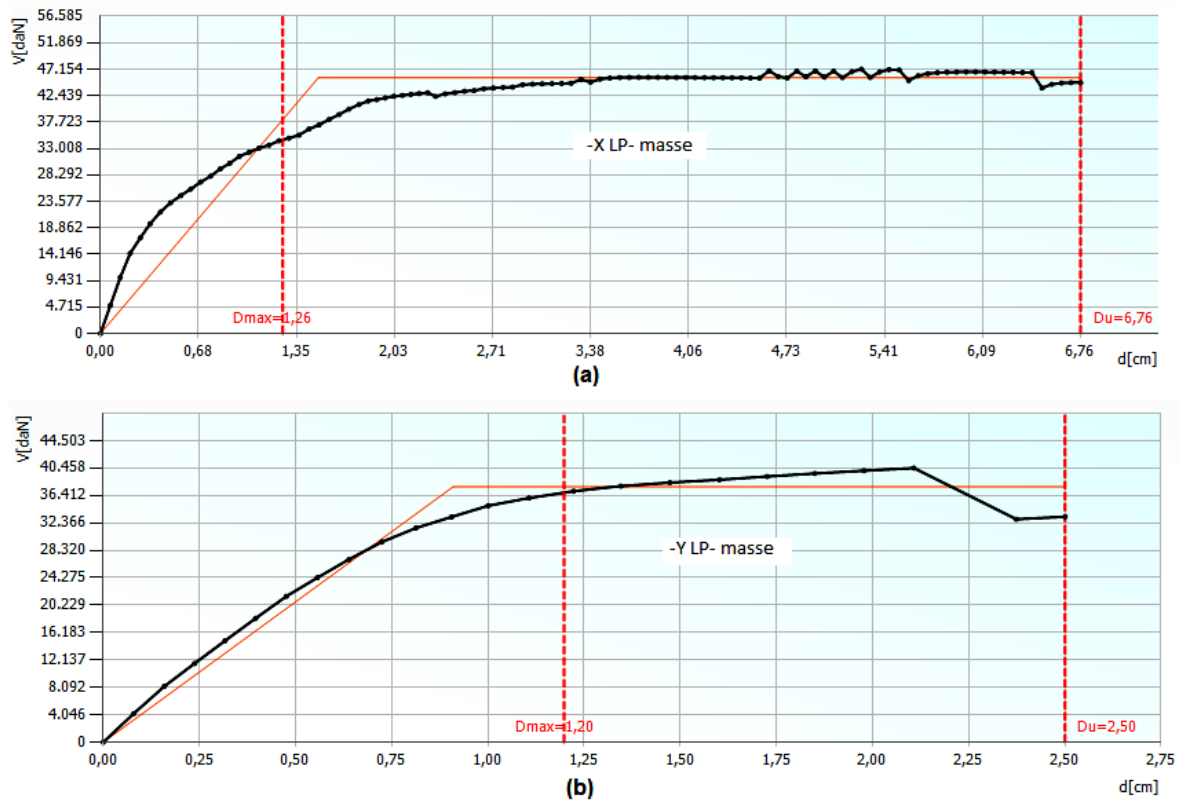
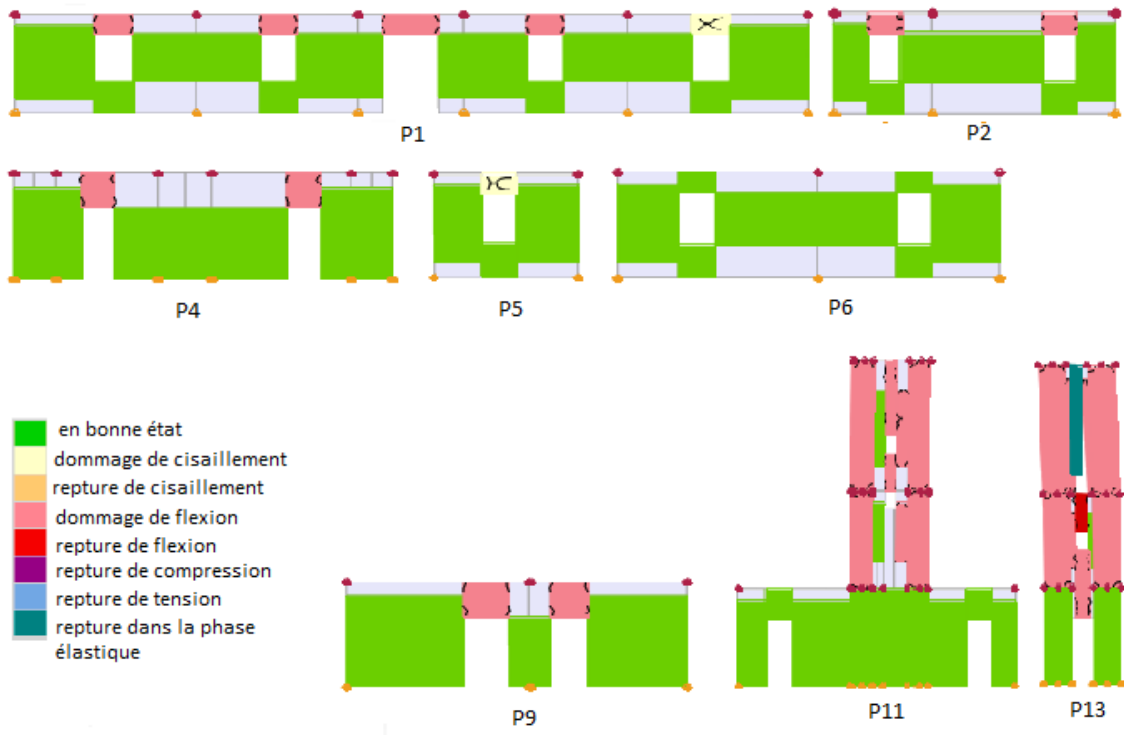
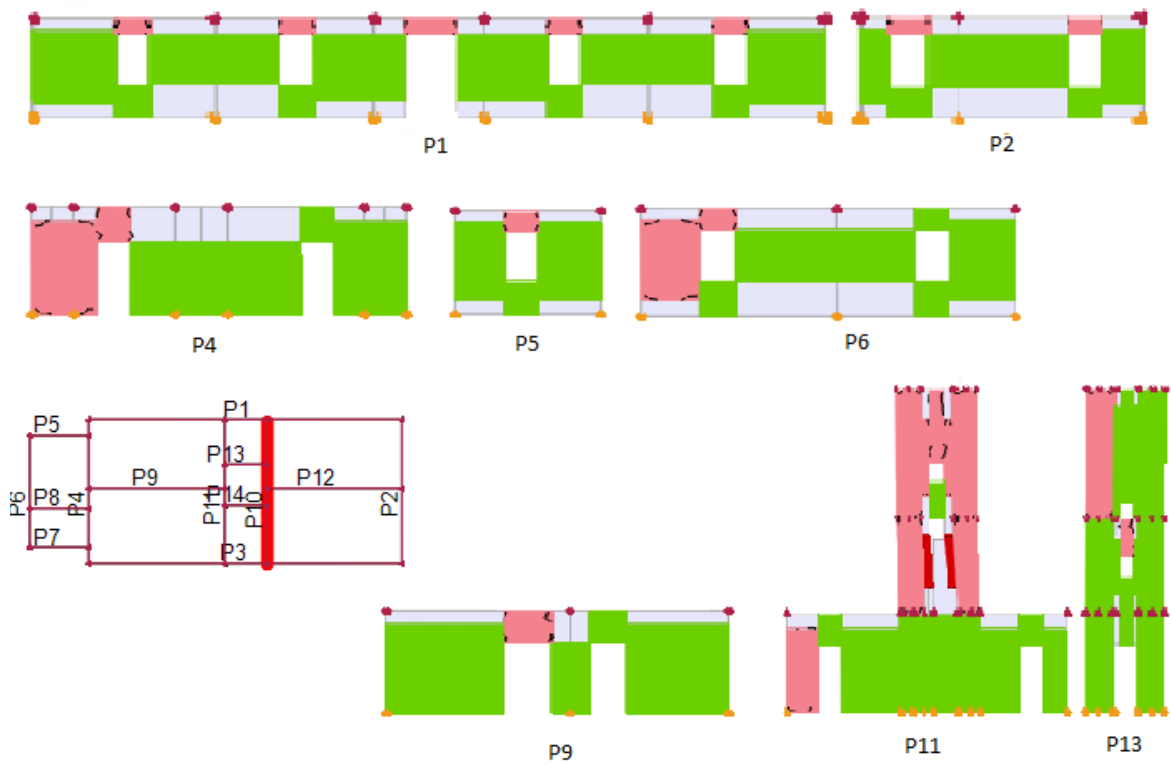


Figure 6.30 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement  $D_u$ . a) pushover dans le sens -X proportionnel aux masses. b) pushover dans le sens -Y proportionnel aux masses.



(a)



(b)

Figure 6.31: L'état d'endommagement. a) dans le sens -X proportionnel aux masses. b) dans le sens -Y proportionnel aux masses.



La courbe de capacité dans la direction  $-X$  proportionnelle aux masses, montre que la structure a principalement une réponse élastique-plastique, dont le déplacement maximum de la structure est 1.26cm, alors que son déplacement ultime est de 6,76cm. Il est possible d'observer sur la Fig.6.31(a) une concentration de dommage de flexion dans la zone centrale et haute de la tour sur les parois P10, P11, P13 et P14, et aussi au dessus des ouvertures au niveau des parois P1, P3, P4, P9 et P12. Les parois P13 et P14 de la tour ont développé une rupture de flexion entre les ouvertures et des dommages dans la phase élastique dans la zone centrale haute.

Dans le cas d'une charge agissant dans la direction  $-Y$  proportionnelle aux masses, la structure a une réponse élastique-plastique, avec une valeur de  $D_{max}=1.20\text{cm}$  et  $D_u=2.50\text{cm}$ . La localisation des dommages de flexion est principalement visible : le long des parois de la tour P10 et P11, sur les parois P4 et P6 (à l'angle P4/P5 et P6/P5), et en dessus des ouvertures au niveau des parois P1, P2, P3, P5, P7, P9 et P12. La formation d'une rupture de flexion est observée au niveau des parois P2 à proximité de la première fenêtre et une charnière de flexion en haut de la paroi P13.

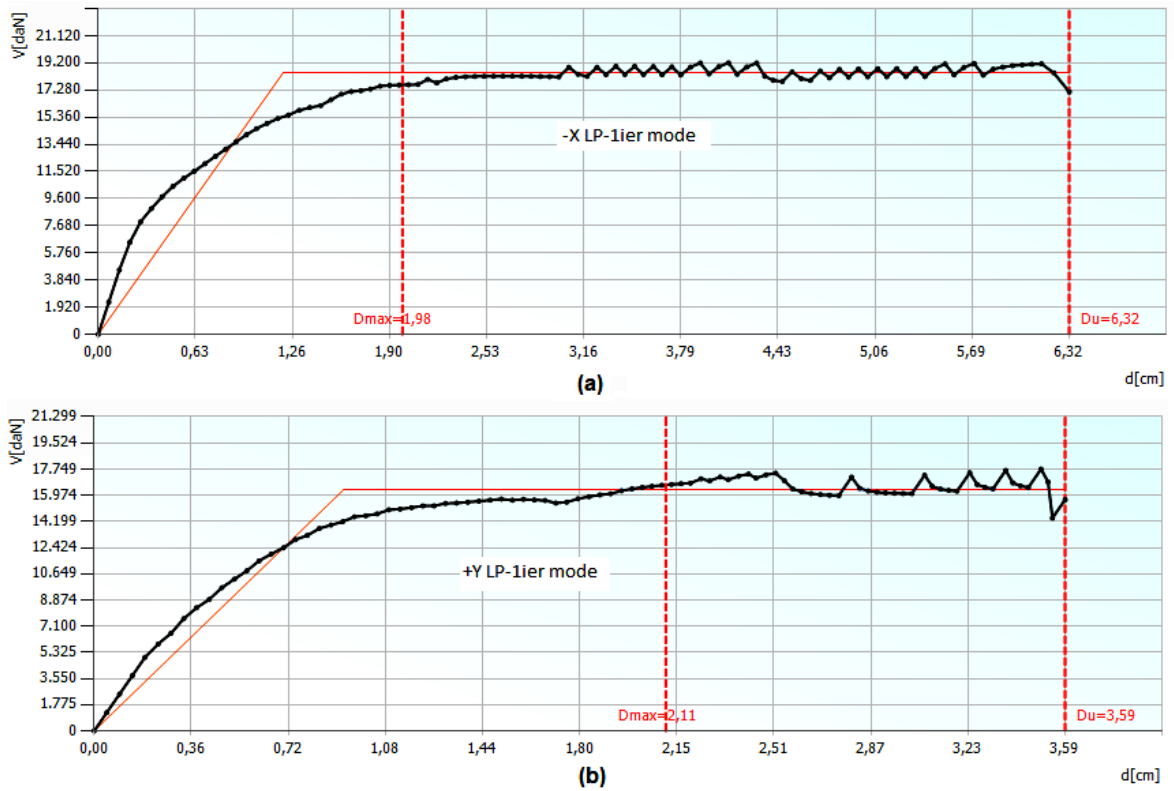


Figure 6.32 : Graphe des courbes de capacité, avec les courbes bilinéaires équivalentes correspondantes et le déplacement ultime  $D_u$ . a) Pushover dans le sens -X proportionnel au premier mode. b) Pushover dans le sens +Y proportionnel au premier mode.

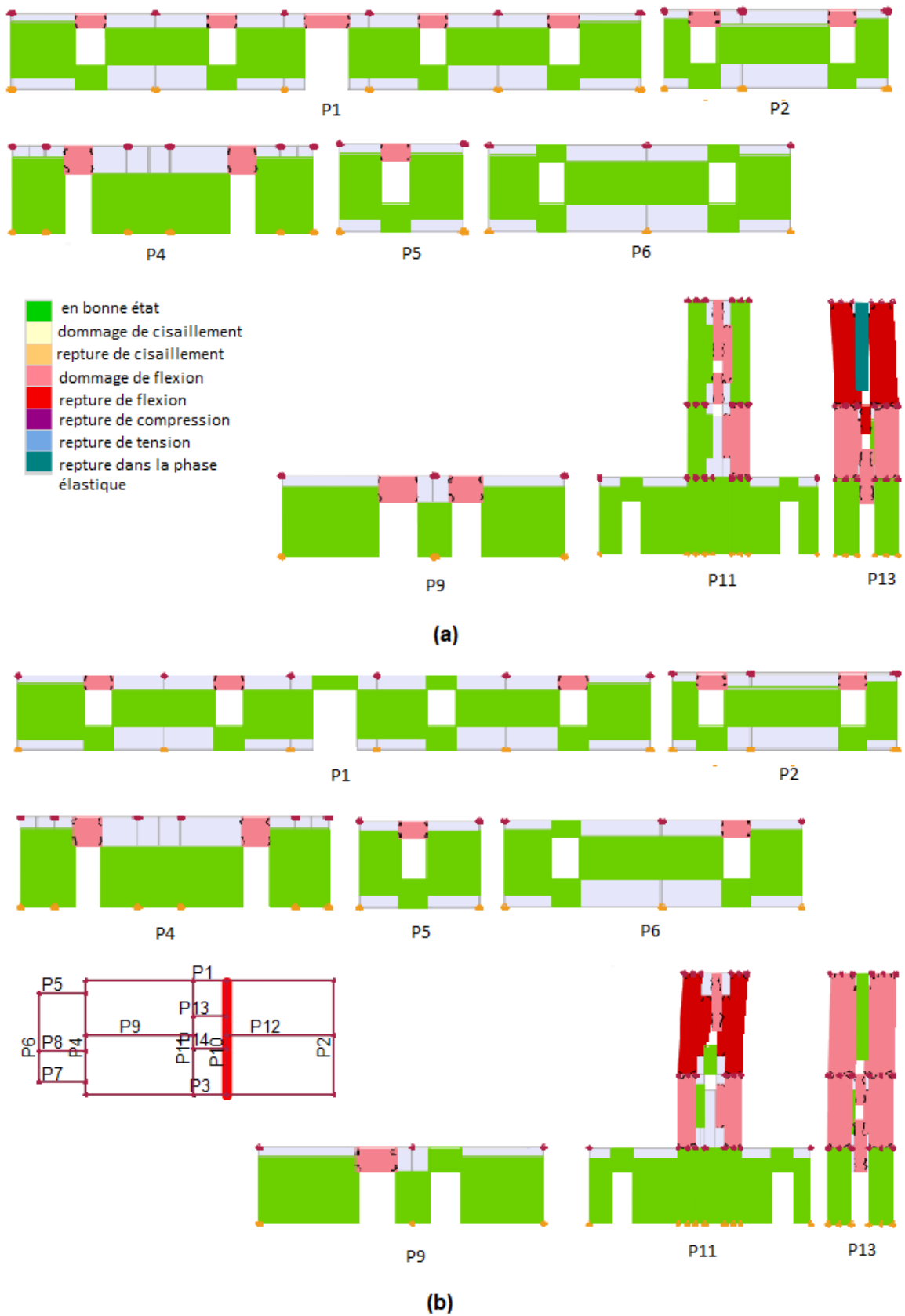


Figure 6.33 : L'état d'endommagement des murs. a) dans le sens -X proportionnel au premier mode. b) dans le sens +Y proportionnel au premier mode.

Par rapport à la direction -X proportionnelle au premier mode, la courbe de capacité dans la Fig.6.32(a) montre une tendance élastique-plastique aussi, le déplacement maximum égale à 6.32cm et le déplacement ultime est de 1.98cm. Il est possible d'observer que tous les murs du bâtiment montrent le même état d'endommagement que celui obtenu dans la direction -X proportionnelle aux masses. Une rupture de flexion est évidente en haut de la tour au niveau des parois P13 et P14 avec des dommages de flexion dans la zone centrale, alors que les parois P10 et P11 développent des dommages de flexion en haut.

La courbe de capacité dans la direction -Y proportionnelle au premier mode présenté sur la Fig.6.32(b) est également élastique-plastique, déplacement ultime dans ce cas est égale à 3.59cm et ne dépasse pas la valeur du déplacement maximum 2,11cm. On peut observer que les murs du bâtiment ne développent presque aucune rupture sauf de légers dommages de flexion au dessous des ouvertures. Concernant la tour, on observe la formation des dommages de flexion le long des parois P13 et P14 et au niveau de la zone centrale des parois P10 et P11, ces deux parois développent en haut une rupture de flexion.

## 6.6. Conclusion

La classification des phares effectuée dans ce chapitre afin d'étudier leur comportement sismique, est basée principalement sur la configuration géométrique. Les phares en Algérie présentent trois grandes typologies : la tour indépendante, la tour adossée à un bâtiment de basse hauteur, et la tour au dessus d'un bâtiment. Ces critères ont influencé le comportement sismique des phares, car chaque typologie répond d'une manière particulière et différente de l'autre catégorie.

A travers l'évaluation de la vulnérabilité sismique des cas d'étude en effectuant une analyse modale préliminaire et une analyse statique non linéaire « pushover », on déduit que les trois typologies des phares sont vulnérable sous les secousses sismiques, une concentration des dommages et ruptures de cisaillement, flexion et compression a été observée un peu partout sur les murs des phares.

La catégorie des phares tour développe des défaillances au niveau de la zone haute et prêt des ouvertures, alors que la typologie la plus vulnérable est celle des phares composés d'une tour accolée à un bâtiment de basse hauteur, dont la concentration des contraintes est dans la zone de contact tour/bâtiment et en haut de la tour. La catégorie des tours au centre du bâtiment présente une vulnérabilité moyenne, le bâtiment du phare est plus stable structurellement que la tour, on remarque la formation des dommages et des ruptures uniquement dans la partie haute de la tour.

## CONCLUSION

Cette thèse est consacrée d'une part à l'aspect historique et architectural des phares en Algérie, et d'autre part à évaluer leurs vulnérabilités face aux risques naturels prenant en considération l'aléa sismique comme risque majeur. En effet il s'agit de développer une piste de recherche sur les phares historiques, pour lesquels aucun cadre réglementaire n'existe encore par rapport à leur préservation. Ce travail de recherche peut à cet effet constituer un apport de connaissance pour la contribution dans la revalorisation et la préservation d'un héritage architectural de l'histoire locale de l'Algérie.

Cette étude nous a permis dans un premier temps d'élaborer une lecture sur l'origine des phares à l'échelle mondiale. En effet, le premier édifice symbolisant le prototype d'un phare est celui d'Alexandrie dans le monde Grec suivi par d'autres phares selon le même modèle durant toute l'antiquité et le moyen âge. Alors que le modèle du phare moderne standardisé n'est annoncé qu'après la révolution industrielle par les grandes puissances maritimes en occident puis à travers le monde.

La lecture de l'évolution historique des phares a été suivie par une présentation de la typologie des phares antique selon le modèle de « tour à degré » durant l'antiquité et moyen âge. Et les typologies des phares modernes marquées par un changement notable dans leur conception gérée à la fois par l'évolution des matériaux et techniques de construction mais aussi par les modes et les équipements d'éclairage maritime.

Aujourd'hui, tout en continuant à « signaler la terre » dans une ère des satellites et de GPS, le phare constitue un indépassable emblème dans sa région, un élément important essentiel du tourisme littoral. De nombreux pays cherchent à valoriser ce patrimoine qui présente une richesse architecturale, historique, culturelle et paysagère à œuvrent au travers des interventions de restauration, réhabilitation, et de reconversion de ces phares à des fonctions touristiques et culturelles.

L'étude chronologique établie sur les phares en Algérie présente dans un premier temps un aperçu historique de la signalisation maritime le long des côtes algérienne depuis l'antiquité jusqu'à nos jours avec un éclair sur les phares maritimes d'Algérie hérités du XVIe au XIXe siècle.

Dans le catalogue des phares de KEN TRETHERWEY, l'auteur a parlé de deux phares antiques sur les cotes algériennes :

- La confirmation de l'existence d'un phare antique à Cherchell, dont les fouilles archéologiques sur l'îlot Joinville à Cherchell élaboré par M. GASPARY en 1959.
- La supposition de l'existence d'un autre phare à Quiza Cenitana sur les côtes de Mostaganem.

La signalisation maritime était assurée au moyen âge essentiellement par des feux au sommet des édifices à différentes vocation : des sémaphores, des tours de vigie, des forteresses, des Ribats et parfois sur des mausolées côtiers, dont On peut citer :

- Le phare de l'Amirauté : vers 1544, et sous le régime ottoman, un phare a été construit par Hassan-Pacha et existe encore aujourd'hui sur la jetée Khair-Eddine au port d'Alger à la place d'une forteresse espagnole « le Pégnon».
- Le Phare de *Mers El Kébir*, construit par les espagnoles vers le XVIIIème siècle, mais il a été démoli durant la deuxième guerre mondiale.

Les premières structures de signalisation maritime en Algérie ont été construites afin de répondre à des besoins stratégiques et militaires durant la première décennie de colonisation. Les phares coloniaux constituent un ambitieux projet de ceinture lumineuse marquant l'histoire de signalisation maritime de l'Algérie. Ces édifices sont considérés comme les enfants du « programme général d'éclairage des côtes de France », adopté par la commission des phares 1846, ils ont été construits sur deux périodes :

- La deuxième moitié du XIXème siècle a connu l'édification de 21 phares (Ouest : 06, centre : 06 et à l'Est: 09 phares).
- La première moitié du XXème siècle est caractérisée par la construction de 04 phares seulement (Ouest : 01, centre : 02 et à l'Est: 01 phare)

Durant cette période, le phare est rapidement passé d'un stade de bâtiment rare et singulier sans aucune logique territoriale génératrice avec le reste des structures de signalisation maritime, à un édifice standardisé le long de tout le littoral algérien. Les phares présentent une architecture classique confié aux ingénieurs des Ponts et Chaussées, similaire à celle des phares en France datant de la même époque. Cependant il y a certaines particularités liées au site d'implantation et au besoin maritime, qui présentent une variété dans les formes géométriques, et typologiques.

Aujourd'hui, Allant de la willaya de Tlemcen à la wilaya de Taraf, la façade maritime méditerranéenne qui s'étend sur près 1622 km est ornée par 25 bâtiment de phares coloniaux, 01 phare ottoman au port d'Alger, et un autre nouveau phare construit et allume vers 2010 en remplaçant la disqualification du phare de cap Bengut à Dellys due aux dommages sismiques du tremblement de terre de Boumerdès de 2003.

Un autre volet a été abordé dans notre thèse sur les risques naturels qui touchent les bâtiments des phares, à cause de leur implantation dans des lieux aux contraintes climatiques et topographiques différentes. Les phares sont donc exposés aux risques suivants : séismes, mouvements des terrains, inondations, vents, et inondations marine, houles, érosions marines et Tsunamis. Parmi ces risque naturels, l'aléa sismique constitue le risque majeur sur le littorale. De ce fait l'implantation du phare entre terre et mer, sa configuration particulière et ses matériaux de construction influencent directement sa vulnérabilité face à l'action sismique. Pour cela, on a aussi présenté un fond théorique sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des hautes structures en maçonnerie.

En ce qui concerne les critères de la vulnérabilité sismique, les phares de la façade maritime algérienne présentent des structures en maçonnerie construites



dans une zone sismiquement active. En effet, une classification de ces bâtiments selon la configuration géométriques a été élaborée afin d'avoir une première idée globale sur leur vulnérabilité sismique, et choisir les cas d'études à analyser. Cette étude a fait ressortir donc trois typologies, dont chacune répond d'une manière particulière et différente de l'autre catégorie :

- Les phares à tour indépendante (05 phares): ils offrent une variété formelle : carrée, circulaire ou octogonale, et présentent une symétrie parfaite en plan et en élévation dans les deux directions ( le phare de l'îlot des Singes à Skikda, de cap de l'Aiguille à Oran, de Cherchell, de cap Corbelin à Tizi-Ouzou et celui de cap Falcon à Oran).
- Les phares à tour adossée à un bâtiment de basse hauteur (10 phares): ils offrent une variété dans: la forme, la hauteur, et l'emplacement de la tour par rapport à la structure du phare ( le phare de cap Colombi et cap Ténès à Ténès, le phare de Tipaza, de cap Caxine et cap Matifou à Alger, de cap Bengut à Dellys, le phare de cap Sigli à Bejaïa, de ras Afia à Jijel, de cap Bougaroun à Skikda, et le phare de cap de Garde à Annaba).
- Les phares à tour au dessus d'un bâtiment (12 phares): ils sont caractérisés par une hauteur modérée par rapport aux deux typologies précédentes, avec une variété dans l'emplacement et la forme de la tour (phares de Ghazaouet à Tlemcen, de l'île Rashgoun à Beni Saf, des îles Habibas à Oran, de l'îlot d'Arzew, de cap IVI à Mostaganem, de l'Amiraute à Alger et le nouveau phare de cap Bengut à Dellys, de cap Carbon à Bejaïa, de l'île Srigina à Skikda, de cap de Fer à Annaba, et celui de cap Rosa à El Kala).

L'étude fournie dans cette thèse sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des phares à travers une analyse statique non linéaire « pushover », montre que toutes ces structures présentent une vulnérabilité face aux actions sismiques et développent plusieurs types de contraintes un peu partout sur les murs des phares : cisaillement, flexion et compression.

- La typologie de la tour indépendante, présente des défaillances au niveau de son sommet et près des ouvertures,

- La typologie la plus vulnérable est celle des phares à tour adossé à un bâtiment de basse hauteur, la formation des dommages est concentrée dans zone de contact tour/bâtiment et en haut de la tour.
- La catégorie des tours au centre du bâtiment présente une vulnérabilité moyenne, le bâtiment est plus stable structurellement que la tour qui développe des ruptures dans la partie haute.

Il faut signaler que l'objectif de cette thèse n'est pas une analyse technique pour but de déterminer le niveau de sécurité des phares en Algérie, mais afin de fournir un cadre méthodologique général pour l'évaluation sismique des phares historiques, en se basant sur les principaux aspects qui influence la vulnérabilité sismique : la configuration géométrique, le risque sismique, la verticalité des phares, et aussi le matériau de construction. Néanmoins, les résultats obtenus en terme de mode de dommages significatifs, permettent en quelques sorte d'avoir une vue préliminaire sur la réponse globale de ce type de construction.

C'est pour cela que cette recherche nécessite d'être poursuivie afin de mieux connaître le comportement sismiques des phares et définir leur niveau de sécurité, par une analyse mécanique non linéaire apte à capter le comportement dynamique réelle des structures. Cette méthode est évidemment la plus complète mais coûteuse.

Cette recherche n'est pas une fin en soi, elle peut ouvrir le champ à de futures recherches plus larges sur ces bâtiments patrimoniaux particuliers.

La première perspective à notre sens est qu'il serait intéressant d'élaborer un processus de patrimonialisation en se basant sur leurs valeurs : historique, architectural, technique et paysagère afin de les classer en tant que patrimoine spécifique.

La deuxième perspective serait de développer des recherches futures plus avancées pour proposer des solutions de renforcement structurel au cas par cas des phares vulnérables à l'action sismique.

La troisième perspective serait d'élaborer d'autres études liées aux aspects des autres risques naturels (mouvements des terrains, inondations, vents, et inondations marine, houles, érosions marines) et des dommages qu'ils pourraient

engendrer afin de compléter les différentes études de vulnérabilités auxquelles ces phares sont exposés.

## APPENDICES A

### LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

- AIS** : Système d'Identification automatique (SIA)
- AIMS** : Association Internationale de Signalisation Maritime
- ASCE**: Société Américaine des Ingénieurs en Génie Civils
- ATC** : Conseil des Technologies Appliquées
- CGS** : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique
- CRAAG** : Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique
- D** : Longueur de la tangente (portée géographique)
- DEM** : Méthode des Eléments Discrète
- D<sub>max</sub>** : Déplacement Maximum
- DOF** : Système à un seul degré de liberté
- DPM** : Matrices de Probabilité des Dommages
- D<sub>u</sub>** : Déplacement Ultime
- E** : Module de Young
- EC8** : Eurocode 08
- EMS98** : Echelle Macrosismique Européenne
- FaMIVE** : Procédure d'vulnérabilité sismique des tissus urbains historiques
- FEM** : Méthode des Eléments Finis
- FEMA** : l'Agence Fédérale de Gestion des Urgences
- G** : Module de cisaillement
- GPS** : Système de Positionnement Global
- H** : Hauteur du point de départ de la tangente.
- HAZUS** : Outil d'analyse des risques naturels
- ICOMOS**: Conseil International des Monuments et des Sites
- IM** : Intensité Macrosismique
- I<sub>o</sub>** : Intensité macrosismique épicertrale

**MDOF** : Système à plusieurs degrés de liberté

**Ms** : Magnitude estimée

**MSK** : Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik

**M<sub>x</sub>** : Participation Massique le long de l'axe X

**M<sub>y</sub>** : Participation Massique le long de l'axe Y

**M<sub>z</sub>** : Participation Massique le long de l'axe Z

**NIBS** : Institut National en Science de la Construction

**NTC08** : Norme Technique de la Construction en Italie

**OMI** : Organisation Maritime Internationale

**ONSM** : Office Nationale de Signalisation Maritime

**ONU** : Organisation des Nations Unies.

**PGA** : Accélération Maximale au Sol

**Q** : Facteur qualité

**R** : Facteur de comportement

**RISK\_UE** : Projet sur la vulnérabilité sismique de sept villes européennes

**RPA2003** : Règlement Parasismique Algérien 2003

**UNDRO** : Bureau du Coordonnateur des USA pour les secours catastrophiques

**URM** : Maçonnerie non renforcée

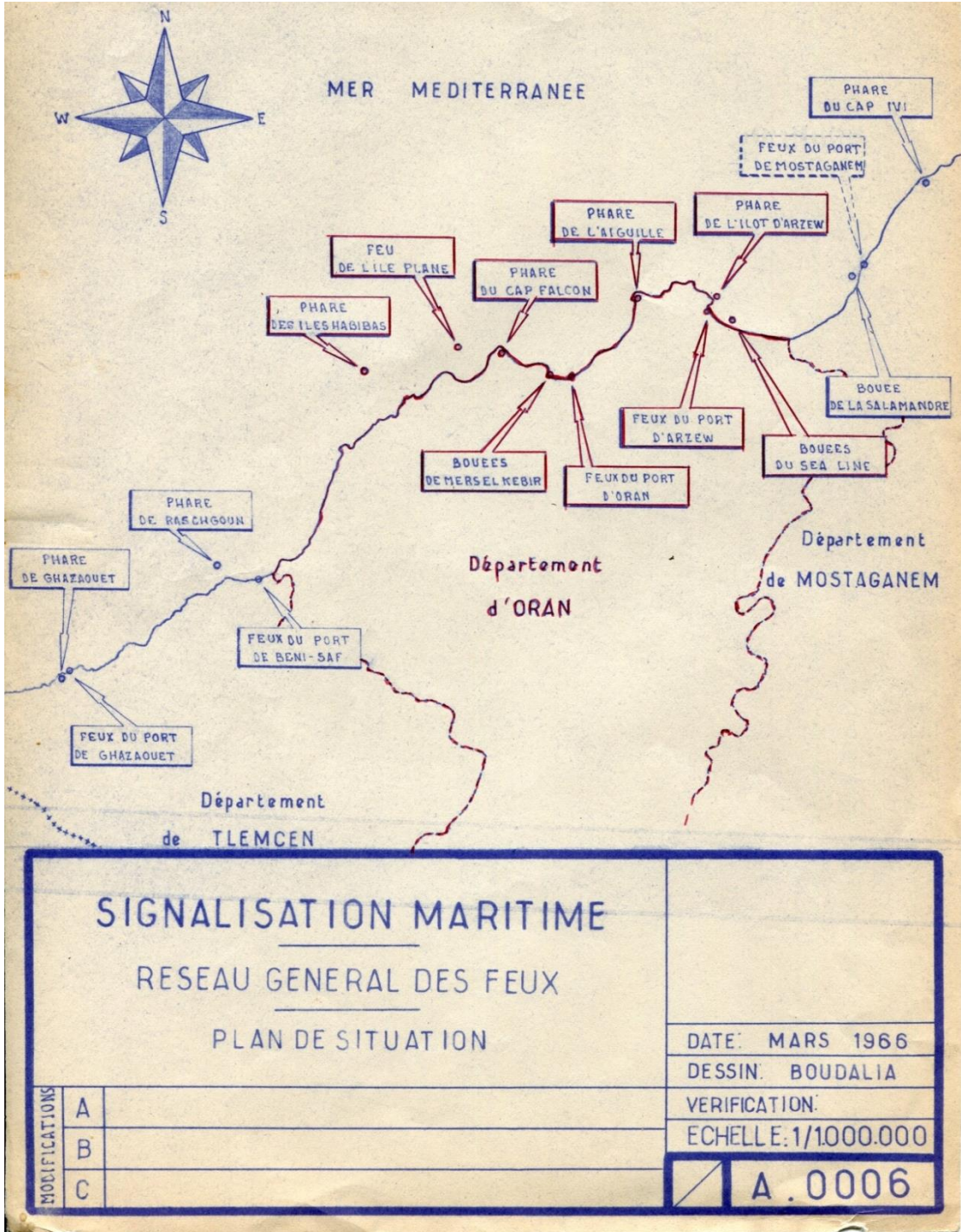
**V<sub>o</sub>** : Vulnérabilité observée

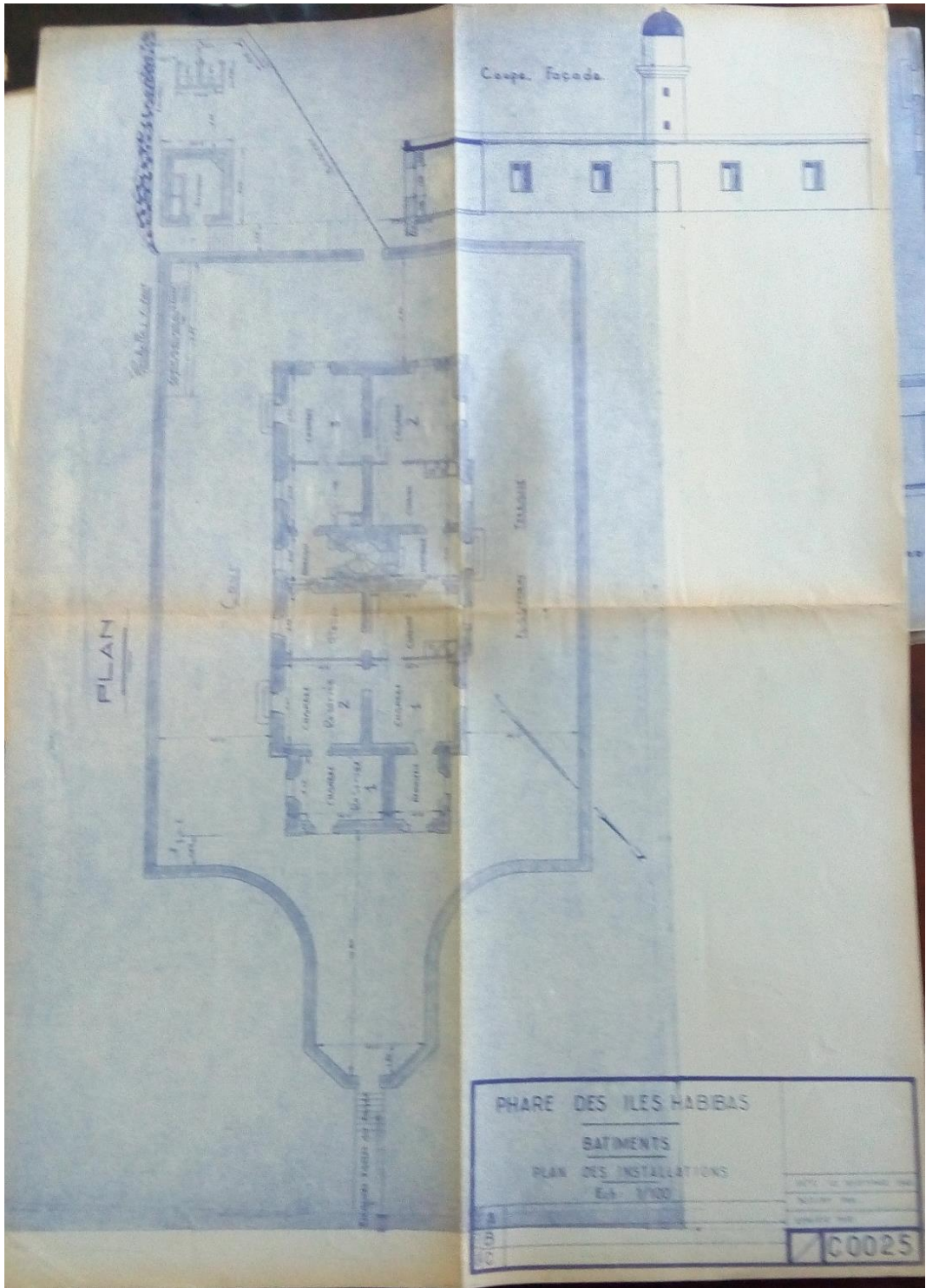
**V<sub>p</sub>** : Vulnérabilité prédite.

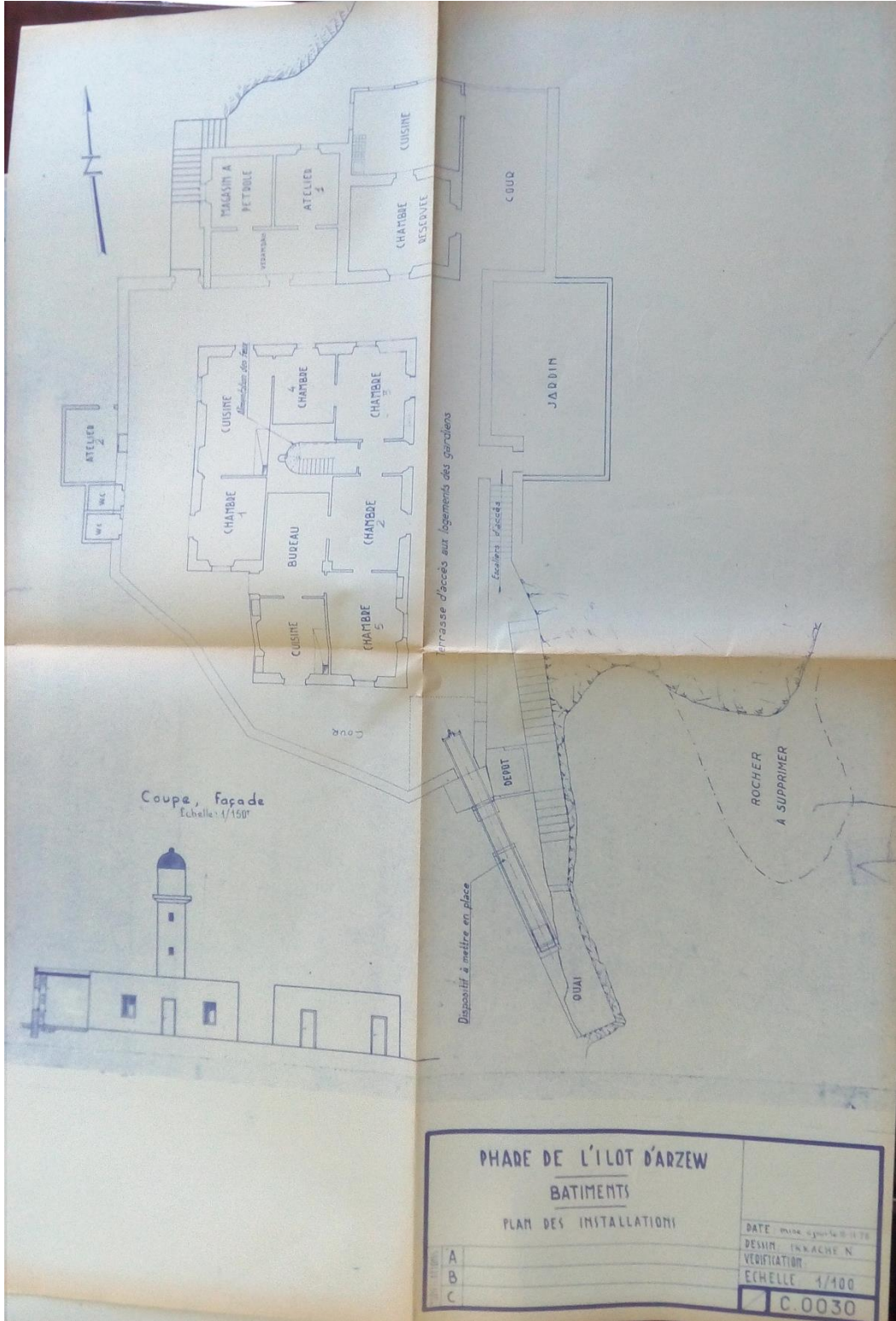
**VULNUS** : Procédure d'vulnérabilité sismique

**W** : Poids spécifique

**APPENDICES B**  
**ARCHIVE DE L'OFFICE NATIONALE DE SIGNALISATION MARITIME**

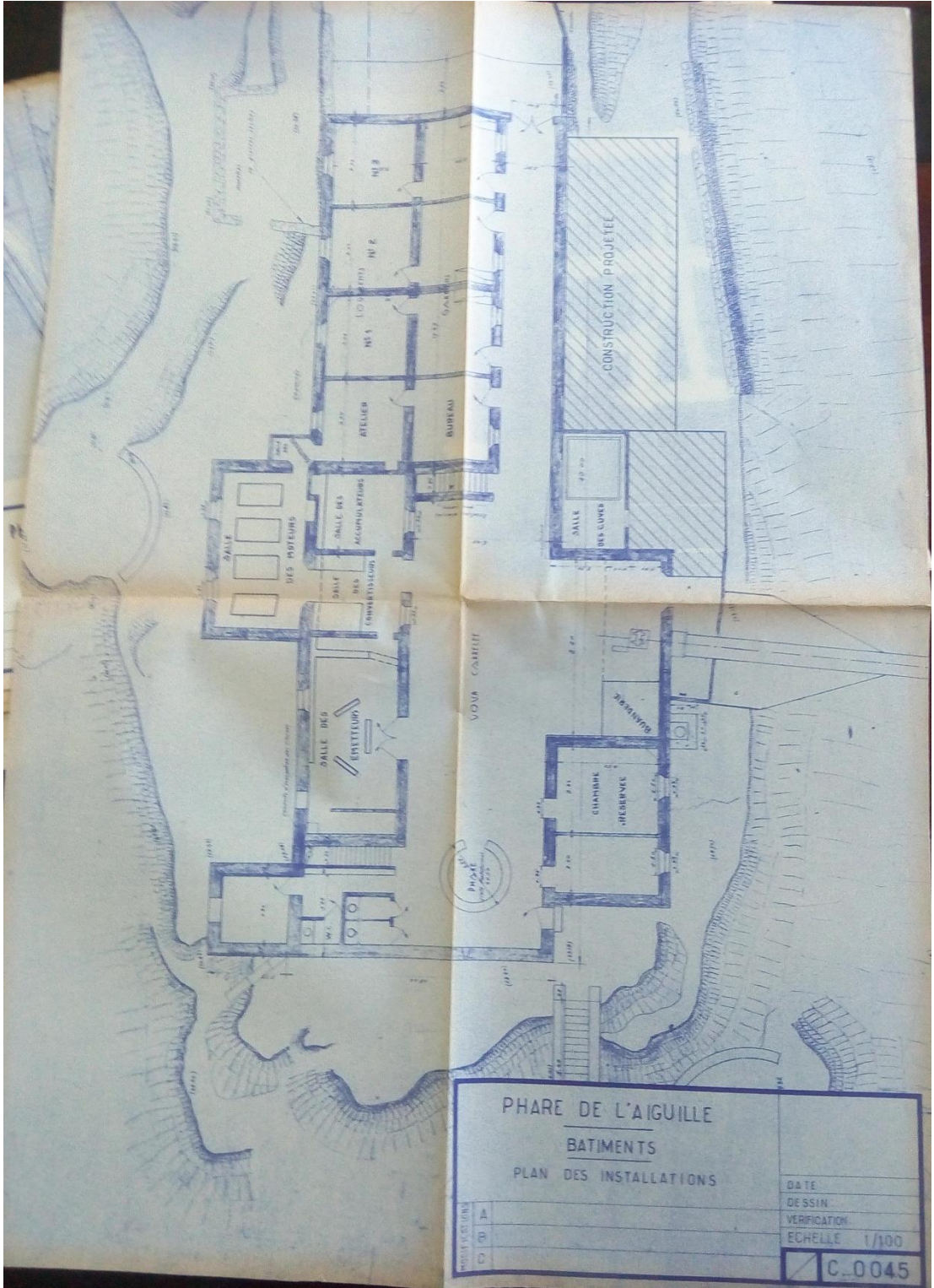




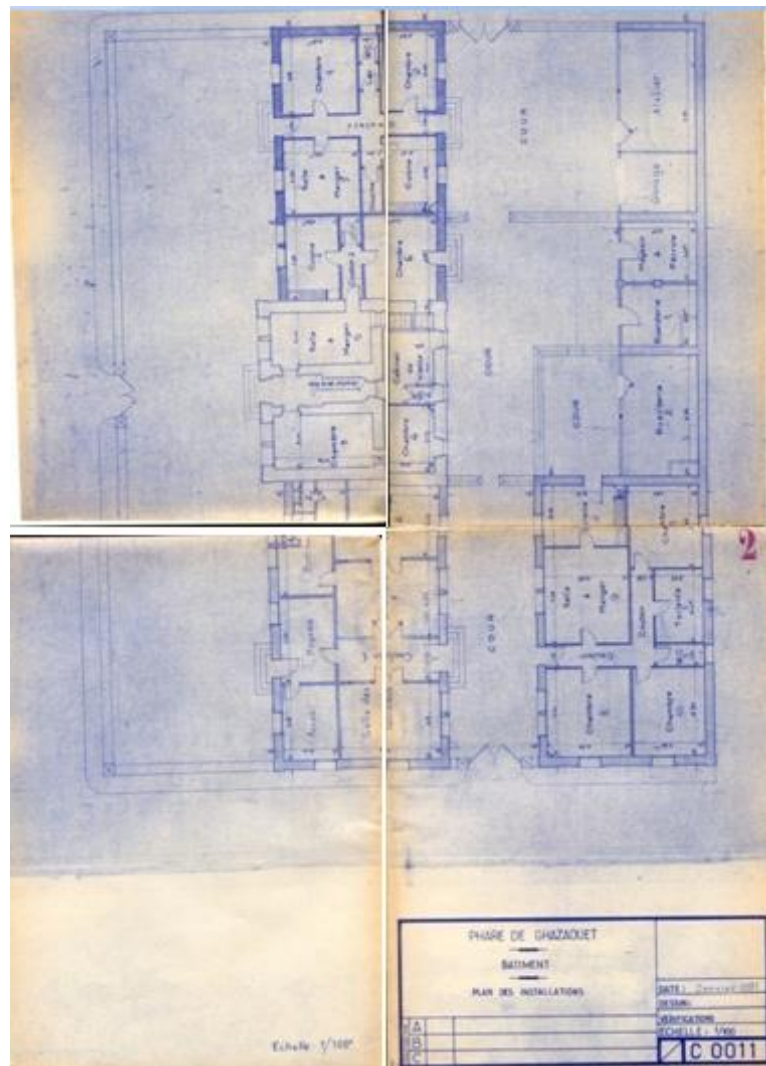
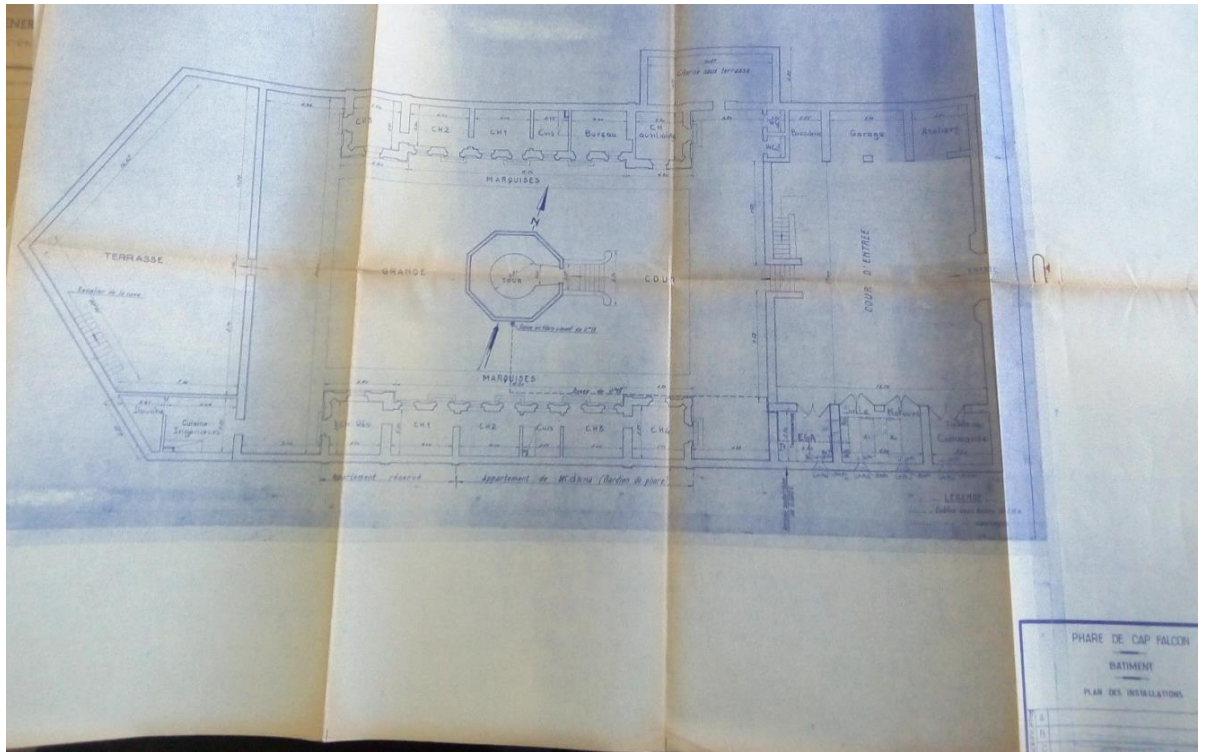


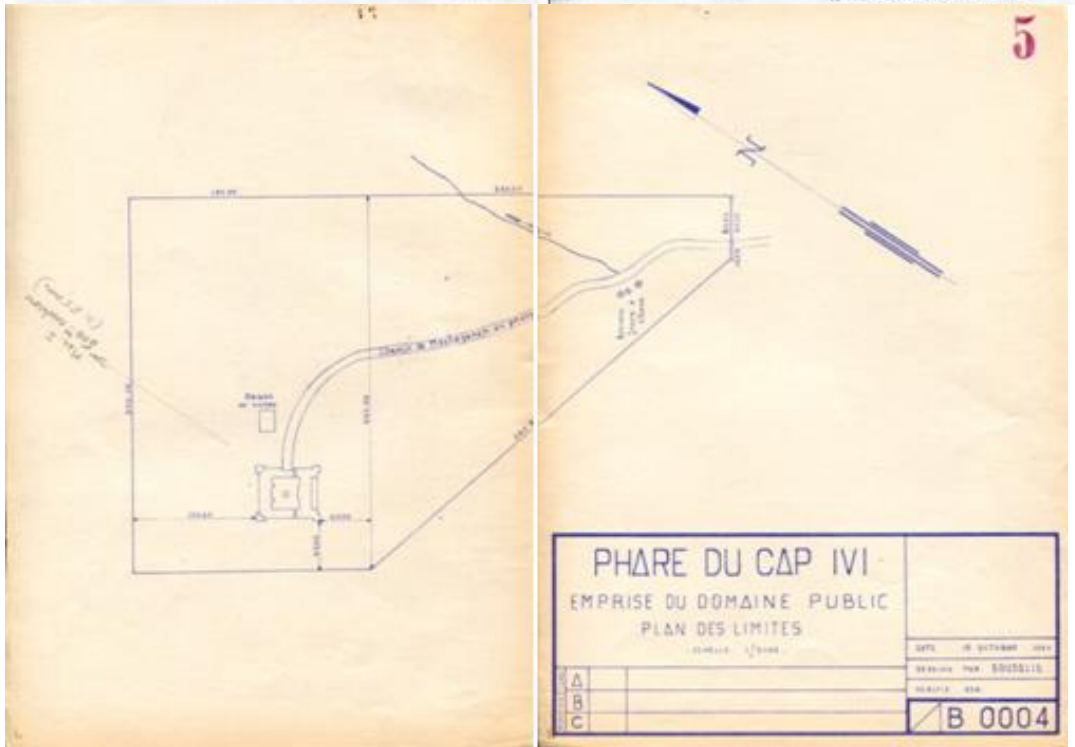
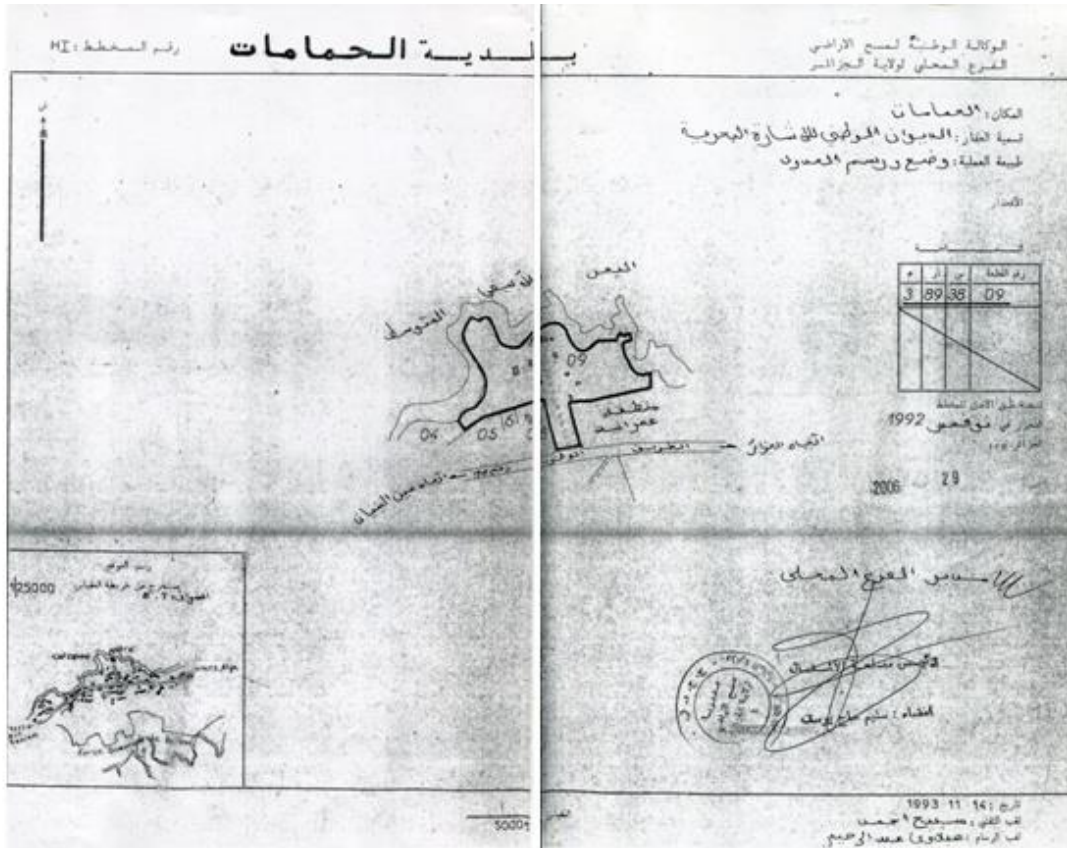
<b>PHASE DE L'ÎLOT D'ARZEW</b>		
<b>BATIMENTS</b>		
PLAN DES INSTALLATIONS		
DATE	mise à jour	01/78
DESIGN	TRACÉ	N
VERIFICATION		
ECHELLE		1/100
		<b>C 0030</b>





PHARE DE L'AIGUILLE BATIMENTS PLAN DES INSTALLATIONS		DATE
		DESSIN
A B C	VERIFICATION	
	ECHELLE	1/100
	<input checked="" type="checkbox"/> C.0045	





Annexe n° 2

BATIMENTS ET TERRAINS (suite)

Appellation et emplacement	Consistance	Superficie bâtie (au sol)	Superficie de plancher	Annexes (terrains non bâtis, hangars, etc...)	Caractéristiques et superficies	Observations (meublier, matériel de couchage, de cuisines, instruments, machines, matériel divers etc...)
PHARE DU CAP AZZEFOUN	<p>Bâtiment à deux (2) niveaux que la tour du phare sépare en deux (2) corps de logis :</p> <p>1°) Rez de Chaussée                      a- Logement Est a été transformé en salle de machines                      b- Logement Ouest n'est pas occupé, chambre de passage</p> <p>2°) - Etage :                      a- Logement Est occupé par Mr CHALLAL.                      b- Logement Ouest occupé par Mr MEFTI</p> <p>Tour de Phare                      2 Logements dont l'un est occupé par le gardien de phare FKKAR Mohamed</p>	344 m <sup>2</sup>		<p>Jardin du Phare</p> <p>Dépendances</p>	<p>= 2330 m<sup>2</sup> environ</p> <p>= 18041 m<sup>2</sup> environ</p>	<p>I-Appartement CHALLAL                      2 buffets                      chauffe eau                      glace murale</p> <p>II-Appartement MEFTI                      Armoire à 2 battants                      Radiateur électrique</p> <p>III-Appartement FKKAR                      2 tables ronde de S. Ma                      1 vase à fleurs en cuivre                      1 glace de cheminée                      1 buffet superposés                      2 chaises en bois                      1 chaise tubulaire                      1 table en bois 1,00x1                      1 rechaud à gaz avec                      1 plat à poisson émail                      1 assiettes à dessert                      1 " " creuses DURAI                      1 " " plates                      1 " " creuses                      1 plat à tartes                      1 cafetière ébréchée                      1 théière en cuivre                      1 soucoupe                      1 tasses                      1 verres                      1 armoire en bois                      1 table de chevet                      1 sommier métallique                      1 buffet de nuit                      1 table de nuit                      1 glace murale                      1 cuisinière à bois us                      1 sommiers à 2 places                      2 (réformé)</p>
		2 à 92 CA (292 m <sup>2</sup> )		Dépendances	1 à 68 CA (168 m <sup>2</sup> )	<p>fait à Nouméa le 10                      L'Ingénieur Subdivisionnaire                      27 MAI 1972                      [Signature]</p>



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
 وزارة الأشغال العمومية  
 MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

مصلحة الإشارات البحرية  
 SERVICE DE LA SIGNALISATION  
 MARITIME

5 نهج العقيد عبيروش الجزائر  
 6. Boulevard Colonel Amirouche ALGER

الهاتف 63.84.54 - 58

N° 11. / 85 / BET / SSM

Alger, le 19 MAI 1985

L'Ingénieur du Bureau d'études Techniques

[F]

Monsieur l'Ingénieur en Chef  
 du Service de la Signalisation  
 Maritime.

**OBJET** : - Recensement des objets mobiliers présentant un intérêt national  
 du point de vue de l'histoire, de l'art et de l'archéologie.

**REFER** : - Votre lettre n° 539/SSM.

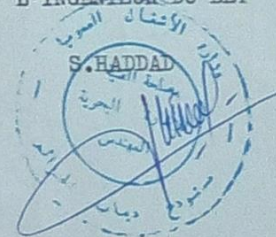
J'ai l'honneur de vous informer que les seuls points où il est possible de déceler des objets mobiliers d'art ou d'archéologie sont le phare de Cherchell où est matérialisé l'emplacement de l'ancien phare et quelques ouvrages Romains, le phare de Tipaza qui se situe dans les ruines Romaines elles-mêmes.

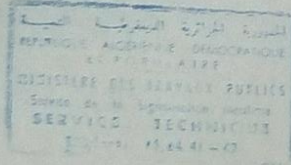
En outre, je porte à votre connaissance que les espaces inclus dans l'enceinte du phare sont préservés puisque les deux phares sont gardés. Le Chef de la Section d'Alger peut vous informer d'avantage sur les éventuelles fouilles qui ont été opérées dans ces endroits et vous donner d'autres renseignements.

Copies :  
 I EX. Archives  
 I EX. Chrono.

وزارة الأشغال العمومية Ministère des Travaux Publics Service de la Signalisation Maritime
5
COUVERT ARRIVÉE الوصل No 77359 Le 20 MAI 1985

L'INGENIEUR DU BET





09 MAI 1985

Le Chef de la Section d'Alger

Monsieur l'Ingénieur en Chef  
 du Service de la Signalisation  
 Maritime.

N° 539/SA/SSM/85

**OBJET** : - Recensement des objets mobiliers présentant un intérêt national du point de vue de l'histoire de l'art et de l'archéologie.

**REFER** : - Votre envoi n° 539/SSM du 5 Mai 1985.

**P- JOINES** : - Un tableau.

Suite à votre envoi visé en référence, j'ai l'honneur de porter à votre connaissance qu'au sein de la section d'Alger, il n'existe pas d'objet du point de vue de l'histoire.

Par contre les sous sols des phares de Cherchell et de Tipaza peuvent cacher des objets ou des vestiges de l'histoire. Les deux établissements étant construits sur les sites très proches de ruines Romaines. Jusqu'à présent aucune fouille n'a été entreprise ni par notre service, ni par le Ministère de la Culture.

Le Chef de Section

A. BOUETTANE

Alger, le

P R O J E T

L'Ingénieur en Chef

à

Monsieur le Directeur de l'Infrastructure  
et de l'Équipement de la Wilaya de  
TLEMCCENOBJET :-Passation de service entre la Direction de l'infrastructure et de l'équipement de la Wilaya de Tlemcen et le service de la Signalisation Maritime.

-Accords préparatoires du 9 Juin. 1971

-\$\$-\$\$-\$\$-\$\$-\$\$-

J'ai l'honneur de vous rappeler certains accords conclus en commun lors de la réunion du 9 Juin 1971 tenue à Tlemcen.

Il s'agit des décisions suivantes qui devaient être solutionnées par votre direction en vue de loger les gardiens de phare.

I-PHARE DE L'ILE DE RASHGOUN:

"Mr. FESTA est chargé de trouver et de fournir les plans d'un terrain ou d'un bâtiment permettant le logement au port de Béni-Saf des trois (3) gardiens du phare"

II-FEUX DU PORT DE GHAZAOUET:

"Le logement du gardien s'occupant des feux du port situé dans le même immeuble étant occupé par une personne étrangère au service des T.P.C. Mr. le Directeur de la Wilaya s'occupera de sa récupération."

III-PHARE DU PORT DE GHAZAOUET:

"Le logement occupé dans la partie S.E. du phare par un conducteur de chantier des T.P.C. de la Wilaya de Tlemcen sera évacué le plus rapidement possible".

Or, depuis notre dernière réunion, vous ne m'avez saisi d'aucune suite sur ces affaires qui sont demeurées de ce fait en suspens durant deux années.

J'ai donc chargé Mr. SEGHIR de prendre votre attache dans le but de récupérer les locaux en question ainsi que le vieux bâtiment, situé à proximité de l'entrée du Port de Béni-Saf, qui sera évacué incessamment par l'inscription maritime.

:.. / ...

**Boubekeur ZERROUKI**  
 GEOMETRE EXPERT FONCIER  
 AGREE, Membre de l'Ordre  
 Expert près la Cour  
 Bâtiment et risques divers  
 Près les Sociétés et Compagnies  
 d'Assurances

Oran, le 06 Décembre 2005

F/Réf: D05/CAP FALCON1

**Objet:** Délimitation - Bornage  
 de l'assiette du phare  
 de Cap Falcon

**P.J.:** Un plan en  
 quatre exemplaires  
 Une note d'honoraires  
 en deux exemplaires

**Monsieur le Chef  
 de l'Unité O.N.S.M.  
 Quai d'Alexandrie**

Oran – Port

Monsieur le chef d'unité,

Nous avons le plaisir de vous informer de la fin de nos opérations topographiques touchant la délimitation et le bornage de l'assiette du phare de Cap Falcon, mission effectuée sur une superficie précise de 14ha00a00ca, tel que définie sur le plan topographie qui a dû accompagner le titre de propriété du phare, dressé en 1881.

Nous tenons aussi à vous attirer l'attention sur une anomalie constatée sur votre croquis-côté qui représente une figure presque trapézoïdale de l'assiette du phare.

En effet, si l'on venait à procéder au calcul superficiel de l'assiette de cette figure, on se trouverait avec une superficie de 17ha33a65ca et ce, comme je vous l'ai démontré de vive voix. L'erreur provient de la hauteur du trapèze qui est sensiblement de 380m au lieu de 480m.

Par ailleurs et indépendamment de cette anomalie, il s'avère certain de ce que l'assiette du terrain a été empiété par le nouveau lotissement implanté en limite Sud de propriété. Cet empiètement équivaut à presque un quart d'hectare (2485.85m<sup>2</sup>). Le maître d'ouvrage de ce lotissement est l'Assemblée Populaire Communale d'Aïn El Turck.

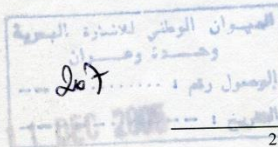
Le plan ci-annexé rapporte tous les détails d'appréciation, à ce sujet .

Espérant vous avoir satisfait et vous être utile une nouvelle fois, je vous prie d'agréer, Monsieur le Chef d'unité, mes salutations dévouées.

**Le Géomètre Expert Foncier**

**BOUBEKEUR ZERROUKI**

Géomètre-Expert-Foncier Agréé  
 25, B<sup>e</sup> Abbane Ramdane  
 ORAN Tél-Fax 33 33 88





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DES FINANCES  
DIRECTION GENERALE  
DU DOMAINE NATIONAL  
DIRECTION DES DOMAINES  
DE LA WILAYA DE MOSTAGANEM

وزارة المالية  
المديرية العامة للأموال الوطنية  
مديرية أملاك الدولة لولاية مستغانم  
رقم : م.ع.ع.م/ع.م.ج.أ.د/2013

شهادة التسجيل

في الجدول العام لعقارات الأملاك الوطنية

يشهد المدير الولائي لأموال الدولة، أن العقار الآتي وصفه مسجل في الجدول  
العام لعقارات الأملاك الوطنية تحت رقم : 2700114215

وصف العقار

الطبيعة: عقار مبني (منارة كاب إيفي)

المحل : بن عبد المالك رمضان

الشارع (المكان المعين): بن عبد المالك رمضان البلدية: بن عبد المالك رمضان

التعيين :

المساحة الإجمالية للأرض : 110.400 م<sup>2</sup>

المساحة المبنية : 2.099 م<sup>2</sup>

الملكية :

أصل الملكية : ملك الدولة

القيمة : 10.495.000.00 دج

المصلحة المستفيدة من التخصيص

التسمية : الديوان الوطني للإشارة البحرية

النظام الأساسي : عمومي

الوصاية : وزارة الأشغال العمومية

قرار التخصيص : القرار المؤرخ في 1898/04/19

الاستعمال : منارة كاب إيفي

المدير  
بلدغمر عبد الرحمان  
المدير العام للأموال الوطنية  
الولاية لولاية مستغانم



A.P.

1

IMMEUBLES DOMANIAUX

-----

CONCESSIONS de LOGEMENTS DANS LES MAISONS CANTONNIERES,  
PHARES, etc...

-----

INVENTAIRE GENERAL

-----

PHARE de CAP SIGLI

-!-!-!

Situation : construit sur une parcelle de terrain du groupe 30 du plan du Séntus Consulte du douar N'Zalla.

Superficie totale : 1 ha, 67 a.

Origine de propriété : acte d'acquisition du 26 décembre 1907 approuvé le 23 janvier 1908.

Description de la maison : rez-de-chaussée comprenant 11 pièces buanderies, dépendances, (réparti en 2 logements et chambres de service).

Affectation au service : décision gouvernementale du 28 juin 1924.

Concession de logement : arrêté gouvernemental du 8 juin 1933

Occupants actuels : M. AMIOT, gardien de phare.  
M. TRIBON, gardien de phare.

Dressé par l'Ingénieur Ordinaire  
soussigné  
Bougie, le 10 février 1937  
P. L'Ingénieur Ordinaire,  
L'Ingénieur T.P.E. Chef de Bureau autorisé.

*[Signature]*

A.F.

IMMEUBLES DOMANIAUX  
-----CONCESSIONS de LOGEMENTS dans les maisons CANTONNIERES,  
PHARES, etc...-----  
INVENTAIRE GENERAL  
-----PHARE de CAP CARBON  
-!-!-!-!-!

Situation : construit sur une presqu'île rocheuse au nord-est de Bougie - Différentes parcelles parties du n° 1 de la Section A du plan; n° 36 de l'état du 30 octobre 1849.

Superficie totale : 10 ha, 91 a, 20 ca.

Origine de propriété : terrains du FeylickDescription de la maison : 2 rez-de-chaussée comprenant l'un six pièces, l'autre 4 pièces ; dépendances.Affectation au Service : décision gouvernementale du 13 août 1913 - Procès-verbal de remise du 28 août 1914Concession de logement : décret du 14 janvier 1896 - arrêté gouvernemental du 8 juin 1923Occupant actuel : M. BRISSEDET, Maître de Phare.

2 gardiens auxiliaires indigènes

Dressé par l'Ingénieur Ordinaire  
soussigné  
Bougie, le 10 février 1937P<sup>r</sup> L'Ingénieur Ordinaire,  
L'Ingénieur T.P.E. Chef de Bureau auccat

- REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE -

MINISTRE DES FINANCES  
DIRECTION DES DOMAINES  
DE LA WILAYA DE BEJAIA  
SERVICE : O.D.  
BUREAU : G.D.S.R.  
Dossier: AD/BEJAIA.

BEJAIA, le 01 OCT 2005 /

N°: 6634 / D.D.W.B / 2005 /

**LE DIRECTEUR DES DOMAINES**

**DE L'EQUIPEMENT**  
**O. N. S. M**  
**UNITÉ DE BEJAIA**  
**Courrier Arrivée**  
 08.10.2005

**A**

Monsieur le Chef de l'Unité de l'Office  
 National de Signalisation Maritime  
 de BEJAIA

**OBJET** : A/S de votre demande de la nature juridique des terrains d'assiette des phares CAP CARBON et CAP SIGLI.

**REFER** : Votre envoi du 25/06/2005 n°143.

-oooOooo-

Faisant suite à votre envoi visé en référence, j'ai l'honneur de vous faire connaître qu'il ressort de l'enquête foncière effectuée par mes services, que les deux emplacements des phares en question s'identifient comme suit :

1)- Terrain d'assiette servant de l'emplacement du phare CAP SIGLI d'une superficie de 1Ha 67Ares dépend du groupe n°30 du Douar M'ZALA acquis par l'Etat suivant acte administratif du 26/10/1907 publié à la Conservation Foncière de BEJAIA le 28/06/1908 Vol 229 n°42.

Cet immeuble est affecté aux ponts et chaussées par décision gouvernementale du 28/06/1924 n°6551.

2)- Quant à l'emplacement du phare CAP CARBON édifié sur un terrain de 24 m<sup>2</sup> dont l'origine de propriété est de nature BEYLEK (domanial) actuellement consigné sous l'article 210 du sommier 02, immeubles affectés à des services publics, aux ponts et aux chaussées par la décision gouvernementale du 09/03/1931 n°1223.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.



مدير أملاك الدولة  
 أعضاء : ع. بوعميران

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

MINISTERE DES FINANCES  
DIRECTION GENERALE  
DU DOMAINE NATIONAL  
-----  
DIRECTION DES DOMAINES  
WILAYA D'AIN TEMOUCHENT

وزارة المالية  
المديرية العامة  
للأموال الوطنية  
-----  
مديرية أملاك الدولة  
لولاية عين تموشنت

**شهادة تسجيل**

**في الجدول العام لعقارات الأملاك الوطنية**

يشهد المدير الولائي لأموال الدولة ، أن العقار الآتي وصفه مسجل في الجدول العام  
لعقارات الدولة تحت رقم 46000140083

وصف العقار:

الطبيعة: عقار مبني .

المحل:

الشارع: جزيرة حبيباس البلدية: /

المساحة: 40 هكتار 57 آر 30 س

المبينة: 158 م.م

الغير مبينة: ...../.....

م.م.أ.م: /

الملكية: ملك للدولة بموجب الأمر رقم 66-102 المؤرخ في: 1966/05/06.

القيمة:

المصلحة المستفيدة من التخصيص:

التسمية: الديوان الوطني للإشارة البحرية - وحدة وهران -

النظام الأساسي: مؤسسة ذات طابع إداري.

الوصاية: وزارة الأشغال العمومية.

قرار التخصيص: مخصص بموجب قرار المفوض العام للحكومة في الجزائر المؤرخ

في: 05 أفريل 1960.

الإستعمال: منارة جزر حابيباس.

المدير الولائي للأموال الوطنية 2014

عين تموشنت  
إمضاء بن كوكية العربي



- الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية -

وزارة المالية

المديرية العامة للأموال الوطنية

مديرية أملاك الدولة

ولاية سيكدة

رقم : 1498 / 2011

- شهادة التسجيل -

في الجدول العام لعقارات الأملاك الوطنية

يشهد المدير الولائي لأملاك الدولة ، أن العقار الاتي وصفه سجل في الجدول العا  
لعقارات الأملاك الوطنية تحت رقم : 2101110361

وصف العقار :

الطبيعة : مبنى إداري

المحل : /

الشارع : (المكان المعين) : سطورة رقم : ilot des singes البلدية : سيكدة

المساحة : 2م800

المبنية : /

الغير مبنية : /

م.م.أ.م. : /

الملكية : ملك للدولة

أصل الملكية : يعد هذا العقار من الأملاك التقليدية للدولة مقيد تحت البند رقم : 04  
من السجل أ .

القيمة : /

المصلحة المستفيدة من التخصيص :

التسمية : مديرية المنشآت والجسور " قديما "

النظام الأساسي : مصلحة عامة تابعة للدولة

الوصاية : وزارة الأشغال العمومية (الديوان الوطني للإشارة البحرية)

قرار التخصيص : محضر تسليم بتاريخ 16/05/1905

الاستعمال : منارة

21 سبتمبر 2011

المسجلة في

الولاية سيكدة في

الأملاك الوطنية

أعضاء : ختم



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة المالية  
المنيرية العامة للأملاك الدولة  
مديرية أملاك الدولة  
ولاية سيكدة  
رقم : 445/2011

شهادة التسجيل

في الجندول العلم لعقارات الأملاك الوطنية

يشهد المدير الولائي لأملاك الدولة ، أن العقار الاتي وصفه سجل في الجندول العام  
لعقارات الأملاك الوطنية تحت رقم : 2101110358

وصف العقار :

الطبيعة : مبنى إداري

المحل : /

الشارع : (المكان المعين) : جزيرة سيريجينا سطورة رقم : / البلدية سيكدة

المساحة : 01 مكار

المبينة : /

الغير مبينة : /

م.م.أ.م. : /

الملكية : ملك للدولة

أصل الملكية : بعد هذا العقار من الأملاك التقليدية للدولة مقيد تحت البند رقم 411 من السجل رقم

القيمة : /

المصلحة المستفيدة من التخصيص :

التسمية : مديرية المنشآت والجسور (قديمًا).

النظام الأساسي : مؤسسة علمة ذات طابع إداري علمي وثقافي تابعة للدولة .

الوصاية : وزارة الأشغال العمومية .

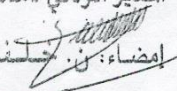
قرار التخصيص : محضر تسليم بتاريخ أول مارس 1933 .

الإستعمال : ملارة .

10 صفر 2011

بسيكدة في

المدير الولائي لأملاك الدولة

امضاء:  خلتاوي

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التجهيز

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT



الديوان الوطني للإشارات البحرية  
OFFICE NATIONAL DE SIGNALISATION MARITIME

BEJAIA, LE 06/02/1995

/)/21 / O.N.S.M.B/ 95 /

A

/)/MONSIEUR LE DIRECTEUR  
DE L'O.N.S.M + ALGER -

OBJET : PHARE DE RAS AFIA (JIJEL)

RER : VOTRE ENVOI N° 9/ONSM/95

En réponse à votre envoi cité en référence, j'ai l'honneur de vous communiquer ci-après les éléments de réponse aux questions soulevées par le Wali de la Wilaya de JIJEL au sujet des terrains occupés par l'office National de Signalisation Maritime à RAS AFIA.

\* Le terrain;acquis depuis Prés d'un Siècle, fait partie du Patrimoine de l'Office,

\* Conformément aux instructions reçues en matière de sauvegarde du Patrimoine de l'Etat et de la mise en place d'un dispositif de sécurité dans les E.S.M, nous avons entrepris la construction d'un mur de clôture délimitant les terrains du Phare.

\* Avec votre accord, et sur décision du Ministère de Tutelle une partie des terrains du Phare peut faire l'objet d'une rétrocession en faveur de la Wilaya de JIJEL pour l'aménagement de la Zone d'expansion Touristique sous réserve du strict respect des conditions énumérées ci-après :

- Les jardins des Gardiens de Phare et les plates formes existantes ( construites par la Mutuelle des Travaux PUBLICS ) restent Propriété de l'O.N.S.M \*

.../...

Direction Générale : 6, Bd Colonel Amirouche, Alger - BP 696 Alger Gare - Tél (02) 63.84.54 & 58 - Fax (02) 63.09.82 - Télex 56.174

UNITE DE BEJAIA : 61, Av. des Frères Amrani, B.P. 165 - BEJAIA ☎ : (05) 21.10.75 - Fax : (05) 21.25.43 - Télex : 83093

ETABLISSEMENT :



FROM : D.DNSM/ALG.

PHONE NO. : 23121635671

NOV. 19 2008 09:01AM P2

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة الأشغال العمومية  
الوزير

الجزائر، 17 جوان 2005

رقم: 84/أ.أ.ج.ج/أ.أ.ج.ج/2005

A

Monsieur le Ministre du Tourisme.

**Objet:** A/S de l'assiette du phare de Ras El Afia.**P.J:** Photocopie de l'arrêté n°84 du 3 juin 1976.

Mes services m'ont informé que le phare de Ras El Afia, situé dans la wilaya de Jijel, risque de perdre son assiette d'une superficie de 8h.54a.80ca, que lui avait consacré un arrêté du wali en date du 3 juin 1976.

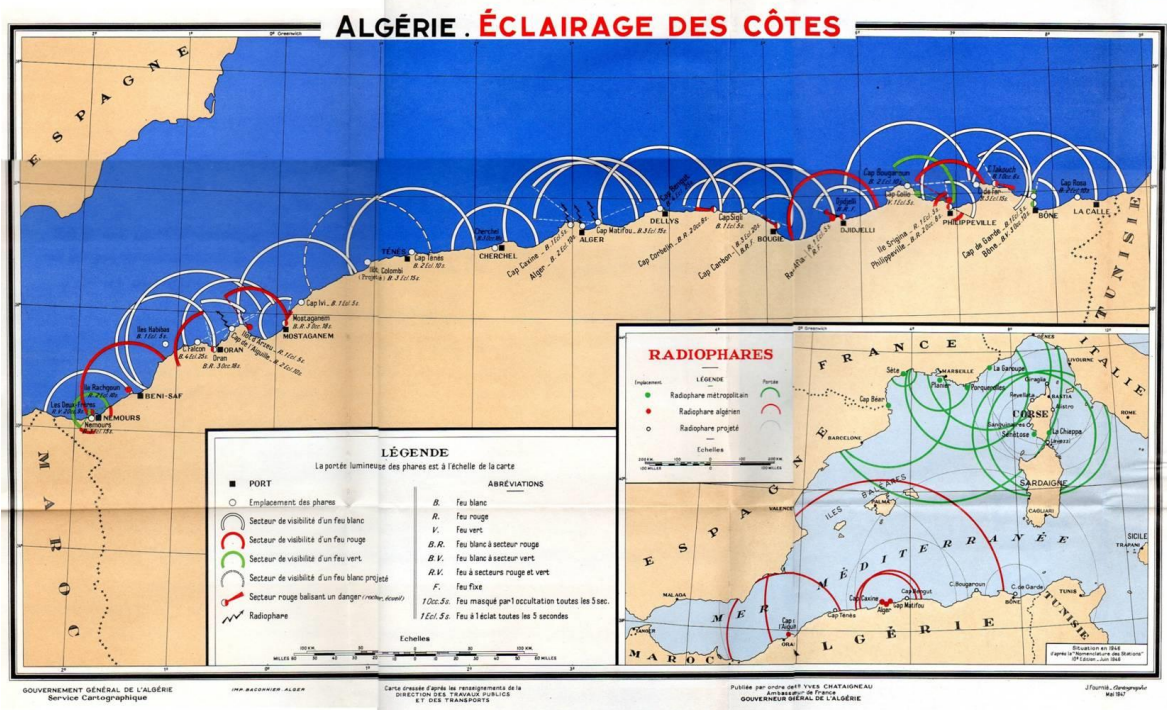
Vous avez saisi le wali de Jijel pour que cet arrêté soit annulé, en application des dispositions du décret n°88-232 du 5 novembre 1988, pour que votre secteur prenne possession de la zone d'extension touristique d'une superficie de 55 hectares, où est inclus le terrain de notre phare.

Cette procédure en voie de finalisation, mettra en difficulté toute la sécurité que mérite un édifice hautement stratégique pour la navigation maritime, vous en convenez. Cette fonction stratégique du phare ne se conçoit que par l'absence totale de toute construction et de tout éclairage sur l'assiette réservée obligatoirement au phare.

Aussi je vous saurais gré de bien vouloir prendre en considération l'arrêté portant attribution de l'assiette du phare. Il me semble par ailleurs, que le phare constitue en lui-même une attraction touristique ne portant aucunement préjudice à l'aménagement de la zone d'extension touristique.

Croyez mon cher collègue en mes sentiments les plus respectueux.





## REFERENCES

1. Thibault, J.P., "Valorisation des phares et des maisons-feux », CGEDD, (Juin 2016), 134p.
2. Guigueno, et Yousfi, "Les phares patrimoine des côtes de France ", EDDE/DGITM/V, (2014), 13p.
3. Yvon, C., et Michèle, F., "Phares du Languedoc-Roussillon Eclairer la mer / signaler la terre", (Septembre 2013), 79p.
4. Hellmann, C., "Lighthouses from Antiquity to the Middle Ages, History, architecture, iconography and archaeological remains", BAR IS 2096, (2011): 144-146.
5. Trethewey, K., "Ancient Lighthouses, Part 8: An Overview". UK. (2018), 26p.
6. Sautter, L., et Cie, "Phares et fanaux lenticulaires", paris, (1858), 99p.
7. Bartolomei, C., et Amoruso, G., "L'Architettura dei Fari Italiani ". Volume I, Alinea editrice, Firenze, (2006), 296p.
8. Christiansen, J., "Les phares antiques, entre défense et aide à la navigation. Exemples en Méditerranée Occidentale", Defensive architecture of the mediterranean: XV to XVIII centuries, Vol. 1, (Octobre 2015), 65-70.
9. Satta, A., Usai, M.P. and Puddu, M., "Sardinian landscape and lighthouses", Ri-Vista. Research for landscape architecture, V. 15, n° 2, (Février 2017), 136-147.
10. Goven, G., et Guigueno, V., "Phares: monuments historiques des côtes de France", Editions du Patrimoine, (2013), 232p.
11. Laulhère-Vigneau, C., "Les phares de la méditerranée", Chasse-Marée, (2009), 207p.
12. Trethewey, K., "Ancient Lighthouses - Part 2: The Mariners".UK. (2018). 45p.
13. Renard, L., "Les phares", L'ancre de marine, Paris, (1867), 296 p.
14. Armstrong, C., D., "Des phares au concours : de l'Académie royale d'architecture à l'École des Beaux-arts 1745-1966 (1ère partie) ", Livraisons de l'histoire de l'architecture, (Décembre 2012), 23p.
15. Trethewey, K., "Ancient Lighthouses, Part 6: Lighthouses after the Pharos", UK, (2018), 79p.

16. Lassus, J., "Les récentes découvertes à Cherchell", *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, (1959), 215-225.
17. Tigano, G., "Messina: scavi a Ganzirri e a Capo Peloro (2003-2006), Regione siciliana, Assessorato dei beni culturali e dell'identità siciliana, Dipartimento dei beni culturali e dell'identità siciliana ", (2012), 190p.
18. Rendini, P., "I fari antichi di Giglio e Giannutri, Un aggiornamento" in Uggeri G., Manrangio C., Laudizi G. (Eds). *Palatia philia: studi di topografia antica in onore di Giovanni Uggeri*", *Journal of ancient topography*, Supplemento 4, (2009), 389-396.
19. Musée national de la Marine, "Les phares des cotes de France du XVIe au XXe siècle", Paris, (2012), 37 p.
20. Reynaud, L., "Mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France", Vol. 1, Imprimerie impériale, Paris, (1864), 576p.
21. Kasionis, P., and Panagopoulou M., "Significant lighthouses in Mediterranean sea", *Merchant Marine Academy of Macedonia*, (Octobre 2016), 31p.
22. Trethewey, K., "Ancient Lighthouses, Part 5: The Pharos".UK. (2018), 73p.
23. NAPOLI, J., BOULINGUEZ, C., "Let's Give the Tour d'Odre Back to Caligula: From the Documents to the Monument", *Revue du Nord*, V. 408, n° 5, (2014), 7-51.
24. Charton, E., "Le Magasin pittoresque", (1847), 412p.
25. Corré, X., "Des dispositifs pour matérialiser les littoraux maritimes dans l'Antiquité et au Moyen Âge", A. GALLINA ZEVI, R. TURCHETTI édition, *Le Strutture dei porti e degli approdi antichi: Il seminario*, (2004), 22p.
26. SEBTI, O., SAHARAHOUI-BELABED, B., and FATTA F., "Historicization of the Signaling Maritime Architecture of Mediterranean Africa, Case of Algeria's Maritime Lighthouses". *Int J Innov Stud Sociol Humanities*, V. 7, n° 2, (2022), 01-13.
27. MED-PHARES, "atatalogodei fari e semafori delle coste tirrenichee ioniche italiane", *Agenzia Conservatoria delle coste*, (2016), 253 p.
28. Mariotti, A., "The lighthouse of Livorno-Tuscany, Italy", *The U. S. Lighthouse Society's The Keeper's Log*, (2010), 5p.
29. Nuzzi, A., "Italian Lighthouses", *HARS – Didcot*, (Novembre 2014), 31p.
30. Mariotti, A., "LA LANTERNA LIGHTHOUSE OF GENOA, LIGURIA, ITALY", *The U. S. Lighthouse Society's The Keeper's Log*, (2011), 4p.

31. Trethewey, K., "History of British Lighthouses before 1700", (2021), 9p.
32. Labrum, E.A., "Lowestoft Lighthouse" , Civil Engineering Heritage: Eastern and central England Thomas Telford, (1994), 132-133.
33. Thobie, J., "L'administration générale des phares de l'empire ottoman et la société collas et Michel (1860-1960): un siècle de coopération économique et financière entre la France, l'Empire ottoman et les états successeurs, Editions L'Harattan", (2004), 300p.
34. NPS, USCG, DDLRMP, USLS, "Historic Lighthouse Preservation Handbook", (1997), 204p.
35. Clifford, C., "Inventory of Historic Light Stations", National Maritime Initiative, Washington, (1994), 386p.
36. Stevenson T, "Lighthouse Construction and Illumination", E. & FN Spon, (1881), 289p.
37. A. Stevenson, A., "On the theory and construction of lighthouses". Edition of the encyclopedia britannica, (1857), 462-482.
38. Arzur, M.H., Héron, J.B., "Histoire(s) de phares". Edition Glénat. (Octobre 2015), 160p.
39. Le Cunff, L., "Feux de mer", Edition l'ancre de la marine, (1992), 145p.
40. Shaik, A.R., Chandramouli, K., CHAITANYA, J., Sree, N., "A Study on Lighthouse", Int J for Modern Trends in Science and Technology, V.7, n° 7, (July 2021), 212-218.
41. Revue de l'université de Leeds, Vol. 3, n° 4, (Décembre 1953).
42. Douglass, W.T., "The New Eddystone Lighthouse", Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers, V. 75, n° 1884-1, (1884), 20-36.
43. Guillamet R., Maillet O., "Un œil sur l'Océan, Les sémaphores de l'arrondissement de Brest", Service historique de la Marine, (1995), 144p.
44. Fichou, J.C., "Les phares français pendant la seconde guerre mondiale", Presses Universitaires de France, (2001), 109-123.
45. MED-PHARES, "Catalogue des phares et sémaphores de Méditerranée française", Conservatoire du littoral, (2016), 298 p.
46. Guigueno, V., "Des phares-étoiles aux feux-éclairs. Les paradigmes de la signalisation maritime française au XIXe siècle", V. 19, (2001), 96-112.
47. Soulu, F., "Développement de l'astronomie française en Algérie (1830-1938) ", Thèse de doctorat, Université de Nantes, (2016), 463p.

48. Marshall Cavendish Corporation, "How It Works: Science and Technology", Marshall Cavendish, New York, V. 9, (2003).
49. Code européen de la signalisation et du balisage des voies navigables, CEE., ONU, Résolution n° 90, (Juin 2019), 207p.
50. Cerema, "Signalisation pour la navigation intérieure, version n° 2", (2019), 102p.
51. Dreyer, F., "Les constructeurs d'optiques de phares 1764-1984", Université Paris IV Sorbonne, (2008), 319p.
52. Veitmeyer, L.A., "Leuchtfeuer und Leuchtapparate", München, (1900).
53. National Geospatial-Intelligence Agency, "List of Lights Radio Aids and Fog Signals", Pub.113, (2019), 515p.
54. Loi S-14, "visant à protéger les phares patrimoniaux", Canada, (Juin 2005).
55. Guigueno V, "Le Phare en pièces détachées, Amédée et les tours métalliques du XIXe siècle, Livraisons de l'histoire de l'architecture", V. 24, (2012), 85-105.
56. Guigueno, V., "L'Europe des Lumières. Organisation et technique de signalisation maritime au XIXe siècle", Histoire et Sociétés, V. 21, (2007).
57. Fichou, J.C., "De l'irrationalité de la loi de 1923 sur l'emploi des mutilés de guerre dans le service des Phares et Balises", Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest, V. 121, n° 1, (2014), 147-165.
58. Rapport contenant l'exposition du système adopté par la Commission des phares pour éclairer les côtes de France, Imprimerie royale, Paris, (1825), 55p.
59. Le Corbusier, L.E., "Vers une Architecture", coll Esprit Nouveau, Paris, (1924). 184p.
60. Giardina, B., "Navigare necesse est: il faro tra mondo antico e medioevo", *Histria antiqua*, V. 21, n° 21, (2012), 443-457.
61. Allard, E., "Les phares : Histoire, Construction, Eclairage", Paris, (1989), 528p.
62. Wilson, A.H., "The Lighthouse Stevensons and Robert Louis", The Engineering Institute of Canada, (2017), 29 p.
63. Marquis-Kyle, P., "Queensland's Timber and Iron Lighthouses", *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering*, V. 8, n° 1, (2010), 89-96.
64. Lewis, M., "Iron Lighthouses", *Construction History*, Vol. 27, (2012), 23-64.
65. Piaton, C., "Les phares d'Égypte : laboratoire et conservatoire de l'ingénierie européenne du xixe siècle", *ABE Journal Architecture beyond Europe*, n° 5, (2014).

66. MSM, Ayudas a la navegación, Aides à la navigation, IALA, Espagne, (2009).
67. Puppi, M., "L'imagination des phares chez Léonce Reynaud", *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, n° 24, (2012), 63-84.
68. Reynaud, L., "Traité d'architecture", V. 2, Librairie pour l'Architecture, Carilian-Goeury at vor Dalmont, Editeurs, (1858), 471p.
69. Merciu, F.C., Cercleux, A.L., "le patrimoine maritime. Études de cas en Europe", (2013), 58-72.
70. ICOMOS, Charter Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, Zimbabwe, (2003).
71. Negueruela, I., "Managing the Maritime Heritage: the National Maritime Archaeological Museum and National Centre for Underwater Research, Cartagena, Spain", *Int Journal of Nautical Archaeology*, V. 29, n° 2, (2000), 179-198.
72. Journal officiel de la République Algérienne N° 87, Décret du 08/12/1999, Article N° 34, le classement de phare de cap Caxine, (1999).
73. Journal officiel de la République Algérienne N° 34, Décret du 28/04/2016, le classement de phare de cap Bengut, (2016).
74. Bartolomei, C., "Innovazione nel patrimonio dei fari italiani: Un progetto di conservazione e uso sostenibile per la luce sarda di Capo Spartivento", *DAPT*, V. 3, (2011), 109-120.
75. Zebbar, Z., Balhi, M., "Les Phares d'Algérie, Vigies de la côte", Casbah Editions, Alger, (2015), 287p.
76. Trethewey, K., "Ancient Lighthouses, Part 7: A Catalogue", UK, (2018).
77. Stone, D.L., "Africa in the Roman Empire: connectivity, the economy, and artificial port structures", *American Journal of Archaeology*, V. 118, n° 4, (2014), 565-600.
78. Boussadia, B., Yasmina, M., "QUIZA, port phénicien de la basse vallée de Chlef : réflexions et apport de données archéologiques nouvelles", *Revue des études archéologiques*, V. 19, n° 1, (2021), 99-384.
79. Lacour, A., "Monographie de la marine française en Algérie", Alger, (1877), 142p.
80. Berard, V., "Indicateur général de l'Algérie, renfermant la description géographique, historique et statistique de toutes les localités", Alger, LIBRAIRE-ÉDITEUR, (1867), 599p.

81. Fillias, A., "Géographie physique et politique de l'Algérie", 2 éditions, (1875), 54p.
82. Lieussou, A., "Etude sur les Ports d'Algérie", DGM Edition, Paris, (1857), 189p.
83. Archivo General de Simancas, MPD, 04/118, Espagne.
84. Exposition Universelle de Paris, "Notice sur les travaux publics de l'Algérie", Alger, (1878), 45p.
85. Laplaiche A, "Algérie et Tunisie : esquisse géographique", Paris, Libraire-Éditeur, (1885), 98p.
86. Procès-verbaux des délibérations, Conseil supérieur de gouvernement, Alger, (1869), 152p.
87. Pelet, P., "Nouvel atlas des colonies françaises", Augustin Challamel, Paris, (1891), 152p.
88. Billiard, L., Vergnieaud, F., et Balensi, F., "Les ports et la navigation de l'Algérie", LAROSE, Paris, (1930), 182p.
89. Direction des Travaux Publics et des Transports, Document de la série économique n° 28, Section de l'électrification, (Juin 1946).
90. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap l'îlot d'Arzew, n° II 45, (07.09.1966).
91. Niel, O., "Géographie de l'Algérie", 2 édition, Imprimerie Dagand, Bône, (1878), 542p.
92. Archive ONSM, IKKACHE N, phare de cap l'îlot d'Arzew, Bâtiment : plans des installations C0030, (10.11.1970).
93. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de Ghazaouet, n° II 1, (14.06.1966).
94. Archive ONSM, phare de Ghazaouet, Bâtiment : plans des installations C0011, (janvier 1971).
95. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Falcon, n° II 12, (22.06.1966).
96. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de l'île Rachgoun, n° II 7. (14.06.1966).
97. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Ivi, n° II 61, (07.10.1966).
98. Archive ONSM, BOUDALIA, phare de cap Ivi, emprise du domaine public, plan des limites B0004, (10.10.1964).



99. Schéma de gestion, L'archipel des HABIBAS, (Avril 2013), 65p.
100. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare des îles Habibas, n° II 10, (15.06.1966).
101. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap de l'Aiguille, n° II 44, (15.09.1966).
102. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Ténès, n° II 67, (10.11.1978).
103. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de Cherchell, n° II 68, (28.08.1979).
104. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de Tipaza, n° II 72, (13.10.1966).
105. Dictionnaire des communes de l'Algérie, villes, villages, hameaux, douars, postes militaires, bordjs, oasis, caravansérails, mines, carrières, sources thermales et minérales", Pierre Fontana, Alger, (1903), 265p.
106. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Caxine, n° II 77, (13.10.1966).
107. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Matifou, n° II 89, (27.10.1966).
108. Procès-verbaux des délibérations, Conseil supérieur de gouvernement, Alger, (1872), 358p.
109. Procès-verbaux des délibérations, Conseil supérieur de gouvernement, Alger, (1878), 556p.
110. Journal officiel de la République française, le 27 août 1881, treizième années N°233, n° 20, (Août 1881).
111. Revue générale des industries françaises et étrangères, Le Génie civil, 15 janvier 1882, Tome II, n° 6, (Janvier 1882).
112. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Bengut, n° II 91, (28.11.1968).
113. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de Cap Corbelin, n° II 96, (16.05.1979).
114. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Colombi, n° II 62, (07.10.1966).
115. CTC, Expertise du plancher sur sous-sol du phare de cap Carbon, ONSM, (Février 2015), 3p.

116. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Carbon, n° II 98, (02.11.1978).
117. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap de Garde, n° II 128, (23.11.1966).
118. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Collo, n° II 114, (10.06.1966).
119. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de Ras Afia, n° II 107, (09.11.1966).
120. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Rosa, n° II 138, (16.09.1969).
121. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap de Fer, n° II 123, (18.11.1966).
122. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap de Fer, n° II 123, (18.11.1966).
123. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Bougaroun, n° II 113, (05.06.1979).
124. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de l'îlot des Singes, n° II 117, (21.11.1966).
125. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de l'île Srigine, n° II 116, (16.11.1966).
126. Archive ONSM, phare et balise, état de signalisation maritime, phare de cap Sigli, n° II 97, (02.11.1966).
127. Zaetydt, M., "Dispositif de l'éclairage maritime, France et colonies XVIIe-XXe siècle", Thèse de doctorat, CNAM de Paris, (2005).
128. Levitt, T., "The Lighthouse at the End of the World Illuminating the French and British Empires", *Itinerario*, V. 38, n° 1, (2014), 81-102.
129. NOURI, M., et OZER, A., "Le tissu urbain face aux risques naturels Cas de la baie de Tipaza-Algérie", *Géo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, V. 38, n° 1, 38, (2014), 103-110.
130. Garcia, J.F., "Élaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments", INSA, Strasbourg, (2007), 69p.
131. Hichem N, "un système intelligent pour l'estimation de la vulnérabilité des constructions", Thèse de magister, Université Blida 1, (Juin 2011), 122p.

132. Lee, W.H., Jennings, P., Kisslinger, C., and Kanamori, H.D., "International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology", Part A, Elsevier, (2002).
133. Colas, S., Environnement littoral et marin, les risques naturels et industriels sur le littoral, Service de l'observation et des statistiques, (Mai 2011), 163p.
134. Charland, J., "Modélisation de la propagation de la houle en présence d'un courant inhomogène et au-dessus d'une topographie variable", Thèse de doctorat, Université de Toulon, (2014). 211p.
135. Raby, A.C., Antonini, A., Pappas, A., Dassanayake, D.T., Brownjohn, J.M.W., and D'Ayala D., "Wolf Rock lighthouse: Past developments and future survivability under wave loading", *Phil. Trans. R. Soc A*, V. 377, n° 2155, (Octobre 2019), 20190027.
136. Denarié E., and Fady N., 2019 "Structural response of French offshore heritage lighthouses", *Phil. Trans. R. Soc A*, V. 377, n° 2155, (2019), 20190011.
137. Pappas, A., D'Ayala, D., Dassanayake, D.T., Antonini, A., and Raby, A., "Rocking of offshore lighthouses under extreme wave impacts: Limit analysis, analytic formulations and distinct element method, *Engineering Structures*", V. 228, (February 2021), 111534.
138. Pappas, A., D'ayala, D., Antonini A, and Raby, A., "Rock mounted iconic lighthouses under extreme wave impacts: limit analysis and discrete element method". *The 9th Int. Conf.computational methods iccm2018*, (2018), 13p.
139. Trinh, Q., Raby, A., Banfi, D., Corrado, M., Chiaia, B., Rafiq, Y., and Cali F, "Modelling the eddystone lighthouse response to wave loading. *Eng. Struct.* 125, (Octobre 2016), 566–578.
140. Banfi, D., Raby, A., Simmonds, D., Rafiq, Y., and Bullock, G., "Wave impacts on the Eddystone lighthouse: a field and laboratory investigation, Conference: ICE Coasts, Marine Structures and Breakwaters conference, Liverpool, UK - September 2017.
141. Banfi, D., "A field and laboratory study on the dynamic response of the Eddystone lighthouse to wave loading", Thèse de doctorat, Université de Plymouth, (2018).

142. Brownjohn, J. M. W., Raby, A., Bassitt, J., Antonini, A., Hudson, E., and Dobson, P., "Experimental modal analysis of British rock lighthouses. *Marine Structures*", V. 62, (2018), 1-22.
143. Filipot J-F et al, "La Jument lighthouse: a real-scale laboratory for the study of giant waves and their loading on marine structures", *Phil Trans R Soc A*, V.377, (August 2019).
144. Pappas, A., D'Ayala, D., Antonini, A., and Raby, A., "Finite element modelling and limit analysis of Fastnet lighthouse under impulsive ocean waves". *Structural Analysis of Historical Constructions*, Springer, (2019), 881-890.
145. Antonini, A., Raby, A., Brownjohn, J.M.W., Pappas, A., and D'Ayala, D., "Survivability assessment of Fastnet lighthouse", *Coastal Engineering*, V.150, (2019), 18-38.
146. Domede, N., Pena, L., and Fady, N., "Historical review of lighthouse design under wind load: the Ile Vierge lighthouse", *Phil Trans of the R Soc A*, V. 377, n° 2155, (2019), 20190167.
147. Pena, L., "Instrumentation et diagnostic des pathologies structurelles des phares ", Université Paul Sabatier - Toulouse III, (2020), 213 p.
148. Pena, L., Domede, N., and Fady, N., "Contribution of PCA and ANN in the Structural Diagnosis of a Masonry Lighthouse under Temperature and Wind Actions", *Int J of Arch Herit*, (2021), 1-22.
149. Nofrizal, A.Y., Rahman, H., and Hanif, M, "Prediction of Sea Water Flooding Hazard on Settlement Area in Padang City as Climate Changes Impact Using GIS and Remote Sensing", *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.*, V.303, n° 1, (July 2019), 12-25.
150. Lee, H., Kim, J.S., and Jung, S., "Flood Risk Analysis of Cultural Heritage Sites: Changgyeong Palace, Korea", *Arab. J. Sci. Eng*, V. 39, n° 5, (2014), 3617–3631.
151. Trizio, F., Torrijo, F.J., Mileto, C., and Vegas, F., "Flood Risk in a Heritage City: Alzira as a Case Study", *Water*, V.13, n° 9, (2021), 1138.
152. Xiao, S., and Hongnan, Li., "Impact of Flood on a Simple Masonry Building", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, V.27, n° 5, (October 2013), 550-563.

- 153.** Drdácký, M.F., "Flood damage to historic buildings and structures" *J Perform Constr Facil*, V.24, n° 5, (2010), 439–445.
- 154.** Hiouche, S., Manicacci, V., and Auger, N., "Humidité dans les phares", Centre des Etudes Techniques Maritimes et Fluviales, France, (2013).
- 155.** Herle, I., Herbstová, V., Kupka, M., Kolymbas, D., "Geotechnical Problems of Cultural Heritage due to Floods", *J Perform Constr Facil.*, V.24, n° 5, (2010), 446-451.
- 156.** Leone, F., Lesales, T., "Les mouvements de terrain: présentation et conditions d'occurrence en Martinique", *Terres d'Amérique* n°2, Edition Karthala, Caraïbe, (Janvier 1999), 81-96.
- 157.** Hor, B., "Évaluation et réduction des conséquences des mouvements de terrains sur le bâti : approches expérimentale et numérique", Thèse de doctorat, INSA de Lyon, (2012).
- 158.** Deck, O., "Étude des conséquences des affaissements miniers sur le bâti : propositions pour une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité du bâti", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, (2002).
- 159.** Melbouci, B., Djerbal, L., "Conséquences du glissement du terrain d'Ain El Hammam sur le Bâti", *Algérie équipements*, n° 56 (Décembre 2015), 55-64.
- 160.** Derruau M., "Chapitre 22, L'érosion littorale", Collection U, (2010), 195-208.
- 161.** Saye, S.E., Pye, K., and Clemmensen, L.B., "Development of a cliff-top dune indicated by particle size and geochemical characteristics: Rubjerg Knude, Denmark", *Sedimentology*, V.53, n° 1, (2006), 1-21.
- 162.** Wienberg, J., "Four churches and a lighthouse, preservation, creative dismantling or destruction", *Danish Journal of Archaeology*, V.3, n° 1, (2014), 68-75.
- 163.** Azevedo, A., "Using social media photos as a proxy to estimate the recreational value of (im)movable heritage: the Rubjerg Knude (Denmark) lighthouse", *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, V.33, n° 6, (2021), 2283-2303.
- 164.** Journal Officiel de la République Algérienne N°84, Décrit n ° 04.430 du 29/12/2004, (2004).
- 165.** Amari, K., Foufa, A.A.; Chikh Zouaoui, M., and Uva, G., "Seismic Vulnerability of Masonry Lighthouses: A Study of the Bengut Lighthouse, Dellys, Boumerdès, Algeria". *Buildings*, (December 2020), V.10, n°247, 30p.

- 166.** Roussel, J., "Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie 1716-1970", *Bull Soc : Hist Natur Afrique du Nord*, V. 64, n° 3, (1973), 11-227.
- 167.** Benhallou, H., Ferrer, A., and Roussel, J., "Catalogue des Séismes Algériens de 1951 à 1970", Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, I.M.P.G.A. Université d'Alger, Alger, (1971).
- 168.** Benhallou, H., "Les catastrophes sismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie", Thèse de Doctorat, USTHB, (1985), 794 p.
- 169.** CRAAG, "Les Séismes en Algérie de 1365 à 1992, CRAAG Report; Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique: Bouzareah Alger, (1994).
- 170.** Mokrane. A., Ait Messaoud, A., Sebai, A., Ayadi, A et Bezzeghoud, M., "Les séismes en Algérie de 1365 à 1992". Publication du CRAAG, Département ESS, Alger, (1994).
- 171.** Benouar D., "The seismicity of Algeria and the Maghreb during the twentieth century", Thèse de doctorat, Imperial College, London, (1994).
- 172.** Boudiaf, M.A., "Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie) ", Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, (1996), 274 p.
- 173.** Yelles-Chaouche, A., Deramchi, A., Ferkoul, A., et Aoulaiche, "Les séismes d'Algérie du Nord de 1992 à 2001", CRAAG, (2002).
- 174.** Harbi, A., Antonella, P., and Giuliano, F.P., "Seismicity of Eastern Algeria: a revised and extended earthquake catalogue", *Nat Hazards*, (2010).
- 175.** Yelles-Chaouche, A., and Semmane, F., "Les Seismes en Algérie du Nord", *Atelier de Formation sur les Risques Majeurs et Catastrophes Naturelles, Stratégies de Prévention et de Protection*, (décembre 2009).159-164.
- 176.** Abacha I, "Étude de la sismicité de la région Nord-Est de l'Algérie", Université Ferhat Abbas, Sétif, (2015), 235 p.
- 177.** Hamadach, M., José, A., Yelles-Chaouche, A., "The Algiers, Algeria earthquake (M6.8) of 21 May 2003", *Preliminary report, Seismol. Res. Lett*, V.75, (2004), 360–367.
- 178.** Djeddi, M. "Seism Tectonics and Seismology the North of Algeria, Department of Geophysics", University of Boumerdès, Algeria, (2005).
- 179.** RPA2003, Règles Parasismiques Algérienne, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, CGS, Alger, Algérie, (2003).

- 180.** Kasbadji Merzouk, N., "Carte des Vents de l'Algérie - Résultats Préliminaires", *Energ. Ren : Valorisation*, (1999), 209-214.
- 181.** Bougdal, R., "Urbanisation et mouvement de versant dans le contexte géologique et géotechnique des bassins pédogénés d'Algérie du nord". Thèse de doctorat, Université HOUARI Boumediene, (2007), 195p.
- 182.** Mallardo, V., Malvezzi, R., Milani, E., and Milani, G., "Seismic vulnerability of historical masonry buildings: a case study in Ferrara". *Engineering Structures*, V.30, n° 8, (2008), 2223-2241.
- 183.** Sandi, H., "Vulnerability and Risk Analysis", *Proceedings of the 9th European Conference on Earthquake Engineering*, Moscow, V.A, (1990), 89-107.
- 184.** Lourenço, P.B., "Experimental and Numerical Issues in the Modeling of the Mechanical Behaviour of Masonry", *Structural Analysis of Historical Constructions II*, CIMNE: Barcelona, Spain, (1998), 57-91.
- 185.** Uva, G., and Salerno, G., "Towards a multiscale analysis of periodic masonry brickwork: A FEM algorithm with damage and friction". *Int. J. Solids Struct*, (2006), V. 43, n° 13, 3739–3769.
- 186.** Menon, A., and Magenes, G., "Out-of-Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry: Definition of Seismic Input", *Research Report; IUSS Press/European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk: Pavia, Italy*, (2008).
- 187.** Binda, L., Anzani, A., and Roberti, G.M., "Tall and massive ancient masonry buildings: long term effects of loading", *G. Penelis Int. Symp. On Concrete and Masonry Structures*, (2000), 273-284.
- 188.** Beconcini, M. L., Bennati, S., and Salvatore, W., "Structural characterisation of a medieval bell tower: First historical, experimental and numerical investigations", *Historical Constructions*, (2001), 431-444.
- 189.** Casciati, S., and Faravelli, L., "Vulnerability assessment for medieval civic towers". *Structure and Infrastructure Engineering*, V.6, n° 1-2, (2010), 193-203.
- 190.** Casolo, S., Milani, G., Uva, G., and Alessandri, C., "Comparative seismic vulnerability analysis on ten masonry towers in the coastal Po Valley in Italy", *Engineering Structure*, V. 49, (Avril 2013), 465–490.
- 191.** Pintucchi, B., and Zani, N., "Effectiveness of nonlinear static procedures for slender masonry towers", *Bull Earthquake Eng*, V.12, n° 6, (2014), 2531–2556.

192. Bartoli, G., Betti, M., and Vignoli, A.M., "A numerical study on seismic risk assessment of historic masonry towers: A case study in San Gimignano". *Bull. Earthq. Eng*, V.14, n° 6, (2016), 1475–1518.
193. Torelli, G., D'Ayala, D., Betti, M., and Bartoli, G., "Analytical and Numerical Seismic Assessment of Heritage Masonry Towers", *Bull Earthq Eng*, V.18, n° 3, (2020), 969–1008.
194. Modena, C., Valluzzi, M.R., Folli, R.T., and Binda, L., "Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell-tower", *Constr. Build. Mater*, V. 16, n° 7, (2002), 385-395.
195. Casolo, S., "Significant ground motion parameters for evaluation of the seismic performance of slender masonry towers", *J Earthq Eng*, V.5, n° 2, (2001), 187-204.
196. Russo, G., Bergamo, O., Damiani, L., and Lugato, D., "Experimental analysis of the Saint Andrea Masonry Bell Tower in Venice. A new method for the determination of Tower Global Young's Modulus E", *Engineering Structures*, V.32, n° 2, (2010), 353-360.
197. Anzani, A., Binda, L., Carpinteri, A., Invernizzi, S., and Lacidogna, G., "A multilevel approach for the damage assessment of historic masonry towers", *J Cult Herit*, V.11, n° 4, (2010), 459–470.
198. Binda, L., Anzani, A., and Roberti, M.G., "The failure of ancient towers: problems for their safety assessment", *Proc. of International IABSE Conference on Composite Construction-Conventional and Innovative*, Zurich, (September 1997), 699-704.
199. Casolo, S., and Uva, G., "Nonlinear analysis of out-of-plane masonry façades: Full dynamic versus pushover methods by rigid body and spring model", *Earthq. Eng. Struct. Dyn*, V. 42, n° 4, (2013), 499–521.
200. Casolo, S., Diana, V., and Uva, G., "Influence of soil deformability on the seismic response of a masonry tower". *Bull. Earthq. Eng.*, V.15, n° 5, (2017), 1991–2014.
201. Guéguen, P., "Vulnérabilité sismique des constructions", Lavoisier, paris, (2013).
202. Calvi, G. M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J. J., Restrepo-Vélez, L. F., and Crowley, H., "Development of seismic vulnerability assessment



- methodologies over the past 30 years", ISET journal of Earthquake Technology, V.43, n° 3, (September 2006), 75-104.
- 203.** Corsanego, A., and Petrini, V., "Seismic Vulnerability of Buildings-Work", Progress, Proceedings of the Workshop II on Seismic Risk Vulnerability and Risk Assessment, Trieste, Italy, (1990), 577-598.
- 204.** Grünthal, G., "Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, V.15, European Macroseismic Scale 1998", European Center for Geodynamics and Seismology, Luxembourg, (1998).
- 205.** Benedetti, D., and Petrini, V., "Sulla Vulnerabilità Di Edifici in Muratura: Proposta Di Un Metodo Di Valutazione", L'industria delle Costruzioni, Vol.149, n° 1, (19984), 66-74.
- 206.** Bertil, D., Bengoubou-Valérius, M., Péricat, J., et Auclair, S., "Scénarios départementaux de risque sismique en Guadeloupe", (2009).
- 207.** Faccioli, E., Pessina, V., Calvi, G.M. and Borzi, B., "A Study on Damage Scenarios for Residential Buildings in Catania City", Journal of Seismology, V.3, n° 3, (1999), 327-343.
- 208.** GNDT, "The Catania Project: Earthquake Damage Scenarios for a High Risk Area in the Mediterranean", Proceedings of CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy, (2000).
- 209.** JBDPA., "Standard for Seismic Capacity Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings", Japanese Building Disaster Prevention Association, Ministry of Construction, Tokyo, Japan, (1990).
- 210.** Ozdemir, P., Boduroglu, M.H. and Ilki, A., "Seismic Safety Screening Method", Proceedings of the International Workshop on Seismic Performance Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings (SPEAR), Ispra, Italy, n° 23, (2005), 19 p.
- 211.** Kappos, A.J., Pitilakis, K. and Stylianidis, K.C., "Cost-Benefit Analysis for the Seismic Rehabilitation of Buildings in Thessaloniki, Based on a Hybrid Method of Vulnerability Assessment", Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, V. 1, (October 1995), 406-413.
- 212.** Kappos, A.J., Stylianidis, K.C. and Pitilakis, K., "Development of Seismic Risk Scenarios Based on a Hybrid Method of Vulnerability Assessment", Natural Hazards, V.17, n° 2, (1998), 177-192.

- 213.** Barbat, A.H., Yépez Moya, F., and Canas, J.A., "Damage Scenarios Simulation for Seismic Risk Assessment in Urban Zones", *Earthquake Spectra*, V.12, n°3, (1996), 371-394.
- 214.** Bernardini, A., "La Vulnerabilità Degli Edifici: Valutazione a Scala Nazionale Della Vulnerabilità Sismica Degli Edifici Ordinari", Research Report, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rome, Italy, (2000)..
- 215.** D'Ayala, D. and Speranza, E., "An Integrated Procedure for the Assessment of Seismic Vulnerability of Historic Buildings", *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK., n° 56, (2002).
- 216.** FEMA., *Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS 99*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, Etats-Unis, 1999.
- 217.** FEMA., *HAZUS-MH Technical Manual*, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA, (2003).
- 218.** ATC., *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California, U.S.A, (1996).
- 219.** Bommer, J.J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydinoglu, N., Booth, E., del Re, D. and Peterken, O., "Development of an Earthquake Loss Model for Turkish Catastrophe Insurance", *Journal of Seismology*, V. 6, n° 3, (2002), 431-446.
- 220.** Molina, S. and Lindholm, C., "A Logic Tree Extension of the Capacity Spectrum Method Developed to Estimate Seismic Risk in Oslo, Norway", *Journal of Earthquake Engineering*, V. 9, n° 6, (2005), 877-897.
- 221.** Yeh, C.H., Jean, W.Y. and Loh, C.H., "Damage Building Assessment for Earthquake Loss Estimation in Taiwan", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, V. 30, n° 1500, (2000).
- 222.** Calvi, G.M., "A Displacement-Based Approach for Vulnerability Evaluation of Classes of Buildings", *Journal of Earthquake Engineering*, V.3, n° 3, (1999), 411-438.
- 223.** EN 1998,. *Eurocode 8: "Design of Structures for Earthquake Resistance"*; CEN, European Committee of Standardisation: Brussels, Belgium, (1999).
- 224.** ASCE 11-99., "Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings", SEI/ASCE 11-99, (Janvier 2000).

- 225.** Italian NTC 2008., "Norme Tecniche per le Costruzioni; Il Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008", Rome, Italy, (2008).
- 226.** Binda, L., Lenzi, G., and Saisi, A., "NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries", *Ndt and e International*, V.31, n° 6, (1998), 411-419.
- 227.** Binda, L., Zanzi, L., Lualdi, M., and Condoleo, P., "The use of georadar to assess damage to a masonry bell tower in Cremona, Italy", *NDT and E Int*, V.38, n° 3, (2005), 171-179.
- 228.** Ivorra, S., and Pallares, F.J., "Dynamic investigations on a masonry bell tower", *Eng Struct*, V. 28, n° 5, (2006), 660–667.
- 229.** Ivorra, S., Pallares, F.J., and Adam, J.M., "Experimental and numerical results from the seismic study of a masonry bell tower", *Adv Struct Eng*, V.12, n° 2, (2009), 287–293.
- 230.** Bartoli, G., Betti, M., and Giordano, S., "In situ static and dynamic investigations on the "Torre Grossa" masonry tower", *Eng Struct*, V. 52:, (2013), 718–733.
- 231.** Milani, G., Casolo, S., Naliato, A., and Tralli, A., "Seismic assessment of a medieval masonry tower in Northern Italy by limit, nonlinear static, and full dynamic analyses", *International Journal of Architectural Heritage*, V.6, n° 5, (2012), 489-524.
- 232.** Gentile, C., Saisi, A., and Cabboi, A., "Structural Identification of a Masonry Tower Based on Operational Modal Analysis", *International Journal of Architectural Heritage*, V.9, n° 2, (2015), 98-110.
- 233.** Casolo, S., "A three dimensional model for vulnerability analyses of slender masonry Medieval towers", *J Earthq Eng*, V. 2, n° 4, (1998), 487–512.
- 234.** Riva, P., Perotti, F., Guidoboni, E., and Boschi, E., "Seismic analysis of the Asinelli Tower and earthquakes in Bologna", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, V.17, n° 7-8, (1998), 525–550.
- 235.** Bernardeschi, K., Padovani, C., and Pasquinelli, G., "Numerical modelling of the structural behaviour of Buti's bell tower", *J Cult Herit*, V.5, n° 4, (2004), 371–378.
- 236.** Gentile, C., Saisi, A., and Binda, L., "Dynamic investigation of an historic masonry bell tower", In: VI international masonry conference, GBR, (2002), 192-199.

- 237.** Bennati, S., Nardini, L., and Salvatore, W., "Dynamic behavior of a medieval bell tower. Part I: Experimental measurement and modelling of bell's dynamic action", *J Struct Eng, ASCE*, V.131, n° 11, (November 2005), 1647-1655.
- 238.** Carpinteri, A., Invernizzi, S., and Lacidogna G., "Numerical assessment of three medieval masonry towers subjected to different loading conditions", *Journal of the British Masonry Society Masonry International*, V.19, n° 2, (2005), 65–76.
- 239.** Gentile, C., and Saisi, A., "Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment", *Constr Build Mater*, V.21, n° 6, (2007), 1311–1321.
- 240.** Júlio, E. N. B. S., da Silva Rebelo, C. A., and Dias-da, D. A. S. G. "Structural assessment of the tower of the University of Coimbra by modal identification", *Engineering Structures*, V.30, n° 12, (2008), 3468-3477.
- 241.** Abruzzese, D., Miccoli, L., and Yuan, J., "Mechanical behavior of leaning masonry HuzhuPagoda", *Journal of Cultural Heritage*, V. 10, n° 4, (2009), 480-486.
- 242.** Girardi, M., Padovani, C., Pagni, A., and Pasquinelli, G., "Numerical modeling of masonry towers: the case study of the Rognosa Tower in San Gimignano", *Proceedings of the 4 international conference on structural engineering, mechanics and computation*, AK Leiden, (2010), 993-996.
- 243.** Penã, F., and Lourenço P.B., Mendez, N., Oliveira, D., "Numerical models for the seismic assessment of an old masonry tower", *Eng Struct*, V.32, n° 5, (2010), 1466-1478
- 244.** Ivorra, S., Pallares, F.J., Adam, J.A., and Tomas, T., "An evaluation of the incidence of soil subsidence on the dynamic behaviour of a Gothic bell tower". *Eng Struct*, V.32, n° 8, (2010), 2318–2325.
- 245.** Milani, G., and Lourenço, P. B., "3D non-linear behavior of masonry arch bridges", *Computers & Structures*, V.110, (2012), 133-150.
- 246.** D'Ambrisi, A., Mariani, V., Mezzi, M., "Seismic assessment of a historical masonry tower with nonlinear static and dynamic analyses tuned on ambient vibration tests", *Eng Struct*, V. 36, (2012), 210-219
- 247.** Pieraccini, M., Dei, D., Betti, M., Bartoli, G., Tucci, G., and Guardini, N., "Dynamic identification of historic masonry towers through an expeditious and

- no-contact approach: Application to the "Torre del Mangia" in Siena Italy". *Journal of Cultural Heritage*, V.15, n° 3, (2014), 275-282.
- 248.** Abdessemed, F. A., Misseri, A., and Rover, G.L., "Effects of the Boumerdès earthquake of May 21st, 2003 on the great mosque of Dellys (Algeria) and solutions of the restoration project". *VEESD*, n° 108, Vienna, (August 2013).
- 249.** S.T.A Data. 3Muri., "Seismic Calculation of Masonry Structures According to the Italian Technical Codes for Constructions", S.T.A Data: Turin, Italy, (2016).
- 250.** Gonzalez-Drigo, R., Avila-Haro, J. A., Barbat, A. H., Pujades, L. G., Vargas, Y. F., Lagomarsino, S., and Cattari, S., "Modernist unreinforced masonry (URM) buildings of barcelona: Seismic vulnerability and risk assessment", *International Journal of Architectural Heritage*, V.9, n°3, (2015), 214-230.
- 251.** Lucchesi, M., Padovani, C., and Pagni, A., "A numerical method for solving equilibrium problems of masonry-like solids". *Meccanica*, V.29, n°2, (1994), 175-193.
- 252.** Asteris, P. G., Sarhosis, V., Mohebkah, A., Plevris, V., Papaloizou, L., Komodromos, P., and Lemos, J. V., "Numerical modeling of historic masonry structures", *Handbook of research on seismic assessment and rehabilitation of historic structures*, (2015), 213-256).
- 253.** Lourenço, P.B., "Analysis of masonry structures without box behavior", Mendes N, Ramos LF, Oliveira DV *Int J Archit Heritage*, V.5, n° 4-5, (2011), 369-382.
- 254.** Lourenço PB. "Computational Strategies for masonry structures", PhD thesis, Civil Engineering and Geosciences. Eindhoven, Netherland: Delft University, (1996).
- 255.** Braga, F., and Liberatore, D., "A finite element for the analysis of the response of masonry buildings", *Proceedings of the 5th North American Masonry Conference*, Urbana, (1990), 201-212.
- 256.** D'Asdia, P., and Viskovic, A., "L'analisi sismica degli edifici in muratura", *Ingegneria Sismica XI*, V.1, (1994), 32–42.
- 257.** Magenes, G., and Fontana, A.D., "Simplified nonlinear seismic analysis of masonry buildings", *Proceedings of the 5th International Masonry Conference of the British Masonry Society*, V.8, (October 1998), 190–95.

- 258.** Lagomarsino, S., Penna, A., Galasco, A., and Cattari, A., "Seismic analysis program for 3D masonry buildings", TREMURI user guide, Genova/Pavia, Italy: TREMURI Program, (2009).
- 259.** Gambarotta, L., and Lagomarsino, S., "On dynamic response of masonry panels", Proceedings of National Conference on Masonry Mechanics between Theory and Practice, Messina, Italy, (September 1996).
- 260.** Galasco, A., Lagomarsino, S., Penna, A., and Resemini, S., "Non-linear Seismic Analysis of Masonry Structures", 13th World Conf on Earthq Eng Vancouver, BC Canada, (2004).
- 261.** Pena, F., "The role of the tension strength in the collapse mechanism of unreinforced brick masonry constructions", 13th World Conference on Earthquake Engineering, (2004).
- 262.** Lagomarsino, S., Penna, A., and Galasco, A., "TREMURI program: Seismic analysis program for 3D masonry buildings", University of Genoa, (2006).
- 263.** Lagomarsino, S., Penna, A., Galasco, A., and Cattari, S., "TREMURI program: an equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings", Engineering structures, V.56, (2013), 1787-1799.
- 264.** Costa, A. A., Penna, A., and Magenes, G., "Seismic performance of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry: from experimental testing of the in-plane capacity of walls to building response simulation", Journal of Earthquake Engineering, V.15, n° 1, (2011), 1-31.
- 265.** Chaibedra B., "Evaluation de la vulnérabilité sismique des structures", Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, (2018).
- 266.** Darwish, M., and Rashwan, M., "Structural dynamic characteristics of ancient Egyptian obelisks and their responses to earthquake loads", Practice Periodical on Structural Design and Construction, V.23, n° 2, (2018).
- 267.** Abdessemed Foufa A.A, "Contribution pour l'élaboration d'un catalogue des techniques constructives traditionnelles sismorésistantes utilisées dans les grandes villes du Maghreb durant le 18ème siècle (Alger, Fès et Tunis)". Thèse de doctorat, EPAU, Alger, (2007).
- 268.** Benouar, D., and Abdessemed Foufa, A.A., "Investigation of the 1716 Algiers (Algeria) earthquake and the traditional seismic preventive measures from historical documents sources", The 14 the World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, (2008).

- 269.** Abdessemed-Foufa, A.A., and Benouar, D., "Investigation of the 1716 Algiers (Algeria) Earthquake from historical sources: effect, damages, and vulnerability", *International Journal of Architectural Heritage*, V.4, n° 3, (2010), 270-293.
- 270.** García, J. Á. S., Vázquez-Iglesias, J. L., and Rodríguez, J. M. Y., "Faros de Galicia: historia y construcción de las señales luminosas en un Finisterre atlántico", Fundación Caixa Galicia, (2004).
- 271.** NIKER EU., "Deliverable 3.1: Report Inventory of Earthquake Induced Failure Mechanisms Related to Construction Types, Structural Elements, and Materials, Annex 1: Damage Abacus", Università di Padova, (January 2010), 49 p.

## WEBOGRAPHIE

1. [https://br.freepik.com/fotos-premium/farol-de-genova\\_7837944.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/farol-de-genova_7837944.htm)  
(12.04.2021).
2. [https://stringfixer.com/fr/Lowestoft\\_Lighthouse](https://stringfixer.com/fr/Lowestoft_Lighthouse) (15.04.2021).
3. <http://phares-et-balises.fr/spip/spip.php?article82>(20.01.2021)
4. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare\\_de\\_Cordouan](https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare_de_Cordouan)(18.07.2021).
5. <https://www.trinityhouse.co.uk/lighthouses-and-lightvessels/eddystone-lighthouse>(22.08.2021).
6. <https://www.trinityhouse.co.uk/lighthouses-and-lightvessels/eddystone-lighthouse>(22.08.2021).
7. <https://www.Alamy.com>(12.05.2021).
8. <https://www.flickr.com/photos/21475135@N05/8213493859>(17.04.2021)
9. <https://www.lighthousefriends.com/light.asp?ID=474>(12.05.2020)
10. <http://compiegnephotos.canalblog.com/archives/2012/08/02/24820797.html>  
(19.02.2020).
11. <https://www.polemermediterranee.com/Actualites/News/MOBILIS-balise-le-port-de-Lome> (06.10.2022).
12. [https://fr.123rf.com/photo\\_78500031\\_drapeaux-nautiques-internationaux-%C3%A0-signal-maritime-isol%C3%A9s-sur-fondgris.html?fromid=aXRYU3IHbXZsVFhXNkZKREo5MWJkZz09](https://fr.123rf.com/photo_78500031_drapeaux-nautiques-internationaux-%C3%A0-signal-maritime-isol%C3%A9s-sur-fondgris.html?fromid=aXRYU3IHbXZsVFhXNkZKREo5MWJkZz09)  
(15.02.2020).
13. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sainte-Adresse\\_-\\_Phare\\_de\\_la\\_H%C3%A8ve\\_by\\_night](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sainte-Adresse_-_Phare_de_la_H%C3%A8ve_by_night)(15.12.2020)
14. <http://augredesbalades.canalblog.com/archives/2014/08/18/30186087.html>(  
18.9.2021)
15. <https://www.pinterest.com>(29.03.2020).
16. <https://www.digitop.fr/wp-content/uploads/2018/02/Agence-communication-digitale-photo-Perpignan-Phare-Cap-Bear-Port-Vendres.jpg>(30.02.2021)
17. <https://www.pinterest.com/pin/522206519267293780/>(15.12.2020)
18. <https://www.pinterest.com/pin/235242780513826642/>(23.12.2020)
19. <https://www.pinterest.com/pin/328481366545773915/>(25.03.2020)



20. <https://www.flickr.com/photos/52471032@N03/5215301152/> (15.12.2020)
21. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boars\\_Head\\_Lighthouse\\_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boars_Head_Lighthouse_(1).jpg)  
(16.09.2020).
22. <https://lighthouses.org.au/qld/cleveland-point-lighthouse/> (16.09.2020).
23. <https://www.pinterest.com/pin/320529698464106521/> (16.09.2020).
24. <https://www.lighthousefriends.com/light.asp?ID=703>, (02.11.2020)
25. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare\\_de\\_Sletringen#/media/Fichier:Sletringen,\\_Fr%C3%B8ya.\\_Bygningstegning\\_-\\_S-1602U2\\_111.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare_de_Sletringen#/media/Fichier:Sletringen,_Fr%C3%B8ya._Bygningstegning_-_S-1602U2_111.jpg); (02.11.2020).
26. <https://www.briantague.com/BuzzardsBay&SouthCoastLights.html>  
(05.11.2020).
27. <https://www.pinterest.fr/pin/451978512590011494/>, (02.11.2020).
28. <https://www.pinterest.fr/pin/451978512590011494/>, (02.11.2020).
29. <https://www.lighthouseguy.com/MassachusettsLighthouses/Borden-Flats-Lighthouse/>.(26.09.2021)
30. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farol\\_da\\_Ponta\\_do\\_Cintr%C3%A3o,\\_Ribeirinha,\\_Ribeira\\_Grande,\\_ilha\\_de\\_S%C3%A3o\\_Miguel,\\_A%C3%A7ores.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farol_da_Ponta_do_Cintr%C3%A3o,_Ribeirinha,_Ribeira_Grande,_ilha_de_S%C3%A3o_Miguel,_A%C3%A7ores.JPG) (25.03.2020)
31. <https://www.pinterest.com/pin/71002131600406761/>(31.08.2019)
32. <http://www.onsm-dz.com/nouveau-phare-de-cap-bengut/>(12.12.2020)
33. [https://detienne.net/phares/divers\\_materiaux.php](https://detienne.net/phares/divers_materiaux.php). (15.12.2020)
34. <https://locations.filmfrance.net/fr/location/phare-de-saint-mathieu>.(15.10.2021)
35. <http://augredesbalades.canalblog.com/archives/2014/09/04/30206621.html>.  
(15.10.2021).
36. <https://nord-decouverte.fr/phare-walde/>. (15.10.2021).
37. <http://www.vjoncheray.fr/-/galleries/phototheque/best-of-bretagne/-/medias/bb0e48e4-9264-11e3-878f-052670ad9f30-la-phare-du-creac-h>.(15.10.2021).
38. <https://www.stichelbaut.com/media/4ad93aee-6faf-4799-a740-1b19cd273eb6-france-finistere-29-penmarc-h-pointe-de-penmarc-h-phare-d>.(15.10.2021).
39. <https://www.boreally.org/monuments-historiques/phare-de-cordouan/attachment/autel-richement-decore-chapelle-phare-cordouan/>.(15.07.2021).

40. [http://alger-roi.fr/Alger/amiraute/pages\\_liees/11b\\_phare\\_amiraute357.htm](http://alger-roi.fr/Alger/amiraute/pages_liees/11b_phare_amiraute357.htm)  
(12.02.2020)
41. <http://elconum.huma-num.fr/de-mers-el-kebir-%c3%a0-arzew.html>  
(19.07.2019)
42. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/le-fort-et-le-phare-saint-andre-886-Photos-0-0-1.html> (25.03.2020)
43. <http://elconum.huma-num.fr/de-mers-el-kebir-%c3%a0-arzew.html>  
(20.08.2020)
44. <http://www.onsm-dz.com/phare-de-lilot-darzew/> (12.09.2020)
45. <http://www.onsm-dz.com/phare-de-ghazaouet-2/>(15.12.2020)
46. <http://www.onsm-dz.com/phare-de-cap-falcon/> (02.06.2021)
47. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/le-phare-de-rachgoune-achgul-626-Photos-0-15789-1.html> (30.11.2021)
48. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/phare-de-l-ile-de-rachgoun-96044-Photos-0-15789-1.html> (15.12.2020)
49. <https://www.facebook.com/KhadraMostaganem/posts/2410460265702485/>
50. <https://www.fotocommunity.fr/photo/le-phare-des-les-habibas-kerdagkarim/29913848> (28.10.2022)
51. <https://bouzedjar.skyrock.com/804159837-Le-Phare.html> (29.08.2020)
52. <https://www.dznature.com/discover/fr/trip/cap-de-laiguille/> (15.12.2020)
53. <https://www.onsm-dz.com/phare-de-cap-de-laiguille/> (15.12.2020)
54. <http://www.onsm-dz.com/phare-de-cap-tenes/> (15.12.2020)
55. <https://www.pinterest.com/pin/403987029050424108/> (15.12.2020)
56. <http://www.onsm-dz.com/tag/phares-dalgerie/page/2/> (15.12.2020)
57. <https://harba-dz.com/annuaire-algerie/16-wilaya-dalger/musee-de-loffice-national-de-signalisation-maritime/>(15.12.2020)
58. [https://www.google.com.sa/travel/hotels/entity/CholroeDt9mPm5HUARoNL2cvMTFjbHdjchHJjahAE?utm\\_campaign=sharing&utm\\_medium=link&utm\\_source=htls&ved=0CAAQ5JsGahcKEwiArv7borb8AhUAAAAAHQAAAAAQB A&ts=CAESABoECglaACoECgAaAA](https://www.google.com.sa/travel/hotels/entity/CholroeDt9mPm5HUARoNL2cvMTFjbHdjchHJjahAE?utm_campaign=sharing&utm_medium=link&utm_source=htls&ved=0CAAQ5JsGahcKEwiArv7borb8AhUAAAAAHQAAAAAQB A&ts=CAESABoECglaACoECgAaAA) (15.03.2019)
59. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/boumerdes-le-phare-bengut-de-580227-Articles-0-15961-1.html> (22.05.2022)
60. <http://wlol.arlhs.com/photo/pic.php?i=2325&f=1>(22.03.2019)

61. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/phare-de-colombie-17434-Photos-0-323-1.html> (15.12.2020)
62. <https://www.flickr.com/photos/144330620@N04/24754471317/in/photostream/> (15.12.2020)
63. <https://www.bejaia-guidedepoche.com/quoi-visiter/130-le-grand-phare-du-cap-carbon> (15.12.2020)
64. <https://www.pinterest.com/pin/668432769669878113/> (15.12.2020)
65. <http://www.labbize.net/French/Pictures/Villes/Collo/Collo.htm> (15.12.2020)
66. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/phare-du-cap-rosa-224706-Photos-0-15949-1.html> (15.12.2020)
67. <https://mapio.net/pic/p-18062731/> (15.12.2020)
68. <https://www.google.com/maps/place/Vieux+Phare+Du+Cap+De+Fer> (15.12.2020)
69. <https://www.google.com/maps/place/Phare+de+Cap+Sigli,+N24,+Beni+Ksila>
70. <http://www.onsm-dz.com/presentation/> (15.12.2020)
71. <http://www.onsm-dz.com/nouveau-phare-de-cap-bengut/> (12.02.2019)
72. <https://www.alamyimages.fr/phare-de-ponta-da-ribeirinha-detruit-par-un-recent-tremblement-de-terre-faial-iles-des-acoires-portugal-image157793511.html>. (14.02.2022)
73. <https://www.pinterest.com/pin/273664114830624360/> (12.05.2020)
74. <https://www.lefigaro.fr/histoire/archives/2017/07/13/26010-20170713ARTFIG00259-la-tour-de-la-place-saint-marc-a-venise-s-ecroule-le-14-juillet-1902.php> (15.12.2020)