

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE DE BLIDA 1

Faculté de technologie

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER 2

en Génie Civil
Option : Structures

Thème

**CALCUL ECONOMIQUE D'UN
APPONTEMENT FLOTTANT**

Présenté par :
LAKHDARI Boudjemaâ

Encadré par :
Pr. FEDGHOUCHE Ferhat

Blida, Décembre 2020

REMERCIEMENTS

En premier lieu je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné la volonté, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

*J'adresse mes vifs remerciements au **Pr. FEDGHOUCHE Ferhat** pour ses orientations et son assistance, tout au long de ce travail.*

Mes vifs remerciements également à l'équipe de l'administration du département de Génie civil de l'Université de Saad Dahlab 1 de Blida.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon modeste travail.

En fin, je tiens à remercier la Directrice et l'équipe de la Direction des Infrastructures Maritimes et des Ports du MTPT, l'équipe du LEM, de l'ENSTP et tous ceux qui m'ont encouragé ou contribué de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je remercie Allah qui m'a donné la force de faire ce travail.

*Je dédie ce modeste travail à :
Ma chère femme qui m'a donnée l'encouragement, le
soutient et le renforcement.*

*Mes chers enfants Abdessalam, Mohammed Said, Ismail et Abdelhamid, ainsi
que mes frères et sœurs.*

Toutes les personnes qui m'ont aidé.

*« Je dédie cette thèse à l'esprit de mes parents
Qui étaient mes principaux soutiens dans mes réussites et qui ont le plus grand
crédit pour tous mes succès.*

Que Allah le très miséricorde, fais du paradis leur lieu de repos »

ملخص

الهدف من هذا العمل هو عرض طريقة جديدة تستخدم فيها معدات خاصة في أحواض الموانئ. وهو عبارة عن هيكل عائم مصنوع من سبائك الألمنيوم مع عوامات، مخصص للرسو ورسو قوارب الصيد والترفيه.

يمكن لهذا الهيكل الخفيف، في ظل شروط تقنية وبيئية، أن يحل محل الأرصفة التقليدية المصنوعة من الخرسانة المسلحة، التي طالما استعملت في الموانئ الجزائرية. لقد اثبت هذا النهج فعاليته، ويستخدم على نطاق واسع في البلدان المطلة على البحار. هذه الهياكل، صديقة للبيئة، سهلة التصنيع، التركيب والإزالة، و سهلة النقل و الصيانة.

يسمح هذا النظام بتحسين أحواض الموانئ و في بعض الحالات زيادة سعة الأسطول. من الممكن استعادة المناطق الغير المستعملة المغطاة بالحجارة على مستوى بعض الهياكل بالموانئ مع مثل هذه المعدات.

في إطار مشروع هذا الماستر، سيقدم نموذج لهيكل عائم الذي تم انجازه في الجزائر عام 2019، وبواسطة قوة عاملة جزائرية، بمعدل اندماج 55 بالمائة، مع إجراء مقارنة تقنية اقتصادية بين الهيكلين لتوضح لنا إيجابيات ومزايا هذه التقنية العائمة.

الكلمات المفاتيح

سبيكة الألمنيوم، عوامات، هيكل عائم، موانئ، عائم، مقارنة تقنية اقتصادية.

RESUME

L'objectif de ce travail consiste à présenter une nouvelle méthode utilisant un équipement spécifique dans les bassins portuaires. Il s'agit d'une structure flottante en alliage d'aluminium muni de flotteurs et d'un platelage, destinée à l'accostage et l'amarrage d'embarcations de pêche et de plaisance.

Cette structure, légère, pourra, sous certaines conditions techniques et environnementales, remplacer les appontements classiques réalisés en béton armé, longuement utilisés dans les ports Algériens.

Une telle approche, a déjà fait ces preuves et est largement utilisée dans les pays maritimes. Respecte l'environnement, simple de fabrication et de pose et de dépose, facile à transporter et à entretenir.

Un tel système permet une optimisation des bassins portuaires et dans certains cas une augmentation de la capacité de flottille. La récupération des linéaires revêtus d'enrochements au niveau des digues et jetées des ports est éventuellement possible avec de telle structures.

Dans le cadre de ce projet de ce master on présentera le ponton réalisé en Algérie en 2019 par une main d'œuvre algérienne, avec un taux d'intégration de 55 %.

Une comparaison technico-économique avec un appontement classique en béton armé est également prévue, permettant ainsi d'éclairer les avantages d'un appontement flottant.

Mots clés : Alliage d'aluminium, flotteurs, Structure flottante, Port, ponton, comparaison technico-économique.

ABSTRACT

The objective of this work is to present a new method using specific equipment in port basins. It is a floating structure made of aluminium alloy with floats, intended for the docking and mooring of fishing and pleasure craft.

This light structure could, under certain technical and environmental conditions, replace the traditional wharfs made of reinforced concrete, used for a long time in Algerian ports.

Such an approach has already proven itself and is widely used in maritime countries. Environmentally friendly, simple to manufacture and install and remove, easy to transport and maintain.

Such a system allows optimization of port basins and in certain cases an increase in fleet capacity. The recovery of the lines covered with riprap at the level of the dikes and jetties of the ports is possibly possible with such structures.

Thus, this master's project will present the pontoon built in Algeria in 2019 by an Algerian workforce, with an integration rate of 55 %.

A techno-economic comparison with a conventional reinforced concrete jetty is also planned, thus shedding light on the advantages of a floating jetty.

Keywords : Aluminum alloy, Floats, Floating structure, Ports, pontoons, technico-economic comparison.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	ii
RESUME	iii
SOMMAIRE	vi
LISTES DES FIGURES	x
LISTE DES TABLEAUX	xi
INTRODUCTION GENERALE	xii

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

I.1 Introduction	01
I.2 Principes généraux	02
I.2.1 Classification des ports	02
I.2.2 Composition du domaine public portuaire	03
I.2.3 Entretien et développement des ports	06
I.3 Aperçu général sur les infrastructures portuaires	07
I.3.1 Caractéristiques physiques des ports	08
I.4 Patrimoine de signalisation maritime en Algérie	10
1.5 Appontement flottant et contexte national	11
1.6 Béton armé et infrastructure en milieu maritime	11
1.6.1 Introduction	11
1.6.2 Avantages et inconvénients du béton armé	12
1.7 Béton armé, complexité de mise en œuvre et agressivité du milieu marin	13
1.7.1 Introduction	13
1.7.2 Construction et mise en œuvre	14
1.7.3 Agressivité du milieu marin	15
1.7.4 Attaques externes sur le béton seul	16
1.8 Corrosion des armatures	19
1.8.1 Pénétration des chlorures	19
1.8.2 Actions mécaniques	21
1.8.3 Maitrise des risques par la mise en œuvre du béton	22
Conclusion du chapitre 1	24

CHAPITRE 2

MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

2.1 Introduction	25
2.2 Aluminium	27
2.2.1 Aluminium non allié	27
2.2.2 Aluminium industriel : (Al \geq 99,00 %)	28
2.3. Alliages d'aluminium	30
2.4. Désignation conventionnelle de l'aluminium et de ses alliages	30
2.5 Subdivisions de l'état T	32
2.6 Désignation des alliages corroyés	33
2.6.1 Alliages sans durcissement structural	33
2.7 Soudage	34
2.7.1 Définition	34
2.7.2 Contrôle des soudures	35
2.7.3 Procédé de soudage TIG	36
2.8 Matériaux constituant les flotteurs	37
2.8.1 Le polyéthylène	37
2.8.2 Le polyuréthane	37
2.8.3 Le polystyrène	38
Conclusion du chapitre 2	38

CHAPITRE 3

LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

3.1 Généralités sur les structures flottantes	39
3.1.1 Structures flottantes, avantages et domaines d'application	40
3.1.2 Applications de VLFS	41
3.1.3 Les différentes parties de la structure flottante	46
3.2 Les différents types de structure flottante	47
3.2.1 Les structures fixes	48
3.2.2 les différents types de structures mobiles	49
3.2.3 Types de plancher de la structure flottante mobile	51

3.3 Mouvements des structures flottantes	52
3.4 Protection des structures flottantes contre les vagues	53
3.4.1 Les systèmes d'amarrage	53
3.4.2 Les digues et brises lames	54
3.5 Les appontements flottants	55
3.5.1 La géométrie des appontements	56
3.6 Le franc-bord des appontements	59
3.7 Les équipements des appontements	61
3.7.1 Les défenses d'accostage et pare-battage	61
3.7.2 Les flotteurs	62
3.7.3 Les platelages	63
3.7.4 Les catways et bras d'amarrage	64
3.8 Les passerelles d'accès	65
3.8.1 La géométrie des passerelles	65
3.9 Les systèmes d'ancrage des appontements	71
3.9.1 Le guidage sur pieux	71
3.9.2 Le guidage sur rail	73
3.9.3 L'ancrage par bracons	75
3.9.4 L'ancrage par chaînes sur corps-morts	76
3.9.5 L'ancrage par élastomère, cordage sur corps-morts	78
Conclusion du chapitre 3	79

CHAPITRE 4

CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

4.1. Introduction	80
4.2. Présentation de la typologie de l'appontement choisi	80
4.2.1 le châssis	80
4.2.2 Revêtement	82
4.2.3 Jonctions entre modules	83
4.2.4 Visserie et axes	83
4.2.5 Galerie technique	83
4.2.6 Les taquets	84

4.3 Etude de la stabilité de l'appontement flottant	85
4.3.1 Calculs de la flottabilité	85
4.4. Étude de la stabilité	87
4.5. Calcul de l'angle d'agitation	87
4.6. Détail du calcul du poids propre de l'appontement	88
4.6.1. Poids propre de la structure en aluminium	88
4.6.2. Poids propre des flotteurs	89
4.6.3. Poids propre du revêtement	89
4.6.4. Poids propre de la défense du quai	89
4.7. Calcul du centre de gravité de l'appontement	89
4.7.1 Moments des différents éléments	90
4.8. Récapitulation des résultats de la note de calcul	90
4.9 Principe de vérification et hypothèses de calcul d'un appontement flottant selon la réglementation française	91
4.9.1 Vérification à la flottabilité	91
4.9.2 Vérification à la gîte	92
4.10 Ancrage des appontements flottants	94
4.10.1 Caractéristiques dimensionnelles de la flottille de pêche	94
4.10.2 Caractéristiques du dispositif d'ancrage	94
4.10.3 Vérification vis-à-vis au glissement du bloc	96
4.10.4 Conditions de réalisation de corps mort	96
4.10.5 Equipements du corps mort	98

CHAPITRE 5

ETUDE COMPARATIVE TECHNICOECONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BETON ARME

5.1 Introduction	100
5.2 Techniques et conception d'un appontement flottant	100
5.2.1 Etape 1 : collecte de données	101
5.2.2 Etape 2 : instructions approvisionnement	102
5.2.3 Etape 3 : Usinage, instructions soudure	102
5.2.4 Etape 4 : pose platelage et taquets d'amarrage	103
5.2.5 Etape 5 : finition, control qualité et livraison	104

5.2.6 Etape 6 : transports des appontements sur site client	104
5.2.7 Etape 7 : fixation des flotteurs sur chantier	104
5.2.8 Etape 8 : travaux appontements-subaquatiques	104
5.3 Techniques et réalisation d'un appontement en béton armé	105
5.3.1 Introduction	105
5.3.2 Descriptif de l'appontement en béton armé	106
5.3.3 Hypothèses de calcul	106
5.3.4 Efforts agissants sur l'appontement	107
5.3.5 Travaux indispensables de départ	108
5.3.6 Réalisation de la culée (après pose d'enrochement (50-200 kg) à l'enracinement	108
5.3.7 Fourniture et pose d'enrochements de différentes Catégories	108
5.3.8 Réalisation et pose d'éléments préfabriqués	108
5.3.9 Fourniture et pose d'accessoires entre éléments en béton Armé	109
5.4 Comparaison économique entre un appontement en béton arme et un appontement flottant en alliage d'aluminium	110
5.4.1 Ponton flottant en acier	110
5.4.2 Ponton flottant en alliage d'aluminium	111
5.4.3 Appontement en béton arme	112
5.4.4 Récapitulation des prix des deux structures	113
Conclusion du chapitre 5	114

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANNEXE 1 : Carte des ports d'Algérie.

ANNEXE 2 : Pièces graphiques et note de calcul de l'appontement en béton armé.

ANNEXE 3 : Pièces graphiques, fiche technique et album photos du prototype de
l'appontement flottant réalisé en Algérie.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

Figure 1.1 Plan masse d'un port ;	4
Figure 1.2 Vue d'en haut de la côte Algérienne ;	7
Figure 1.3 Localisation des ports Algériens ;	8
Figure 1.4 Effet du marnage ;	14
Figure 1.5 Dépôt d'organismes vivants ;	14
Figure 1.6 Fissuration de béton ;	15
Figure 1.7 Effet de corrosion ;	15
Figure 1.8 Attaque externe du béton, par des chlorures et attaque sulfatique ;	16
Figure 1.9 Attaque interne du béton ;	17
Figure 1.10 Corrosion des armatures, pénétration des chlorures ;	20
Figure 1.11 Corrosion par carbonatation.	20

CHAPITRE 2

Figure 2.1 Bauxite et aluminium ;	26
Figure 2.2 : Principaux stades et flux dans la fabrication de l'Aluminium ;	27
Figure 2.3 Evolution des propriétés mécaniques en fonction de l'écroutissage ;	29
Figure 2.4 Les trois domaines de recristallisation selon la taille des grains ;	29
Figure 2.5 : Evolution des propriétés mécaniques en fonction du temps de recuit ;	30
Figure 2.6 Désignation des aluminiums et alliages ;	33
Figure 2.7 : Principaux procédés de soudage ;	35
Figure 2.8 le polyéthylène ;	37
Figure 2.9 le polyuréthane ;	37
Figure 2.10 le polystyrène.	38

CHAPITRE 3

Figure 3.1: ile flottante de lac Titicaca ;	39
Figure 3.2 Mega-Float (1. Aéroport, 3. Stade, 2 et 4 bases flottantes de stockage de carburant) ;	43
Figure 3.3 Mega-Float (5. île flottante, 6. Croisière flottante) ;	43

Figure 3.4 Mega-Float (7. Barge de science de l'ingénierie durable, 8. Ferme d'élevage de saumon marin) ;	44
Figure 3.5 Mega-Float (9. Ville sur île flottante, 10. Ville flottante) ;	44
Figure 3.6 Plate-forme pétrolière de Berkut ;	45
Figure 3.7 Les éoliennes flottantes du golf du lion ;	45
Figure 3.8 Panneaux photovoltaïques flottants ;	45
Figure 3.9 Quais flottants au port de plaisance de Gibraltar ;	45
Figure 3.10 Le pont flottant de Yumemai, Japon ;	45
Figure 3.11 Îles flottantes de loisir à Séoul ;	46
Figure 3.12 Villa flottante à Dubaï ;	46
Figure 3.13 Appartements flottants en Hollande ;	46
Figure 3.14 Principe de la stabilité de structure flottante ;	47
Figure 3.15 : Les différentes parties de la structure flottante ;	47
Figure 3.16 Mono pieux ;	48
Figure 3.17 Gravitaire ;	48
Figure 3.18 Jacket ;	48
Figure 3.19 Le Spar ;	50
Figure 3.20 : Tension Leg ;	50
Figure 3.21 : Les principaux composants d'un ponton ;	51
Figure 3.22 Plancher avec flotteurs hydrodynamique ;	51
Figure 3.23 Plancher avec flotteurs cubistes ;	51
Figure 3.24 Mouvements dans les trois directions d'un corps flottant ;	52
Figure 3.25 : stabilisation et maintien d'un corps flottant ;	53
Figure 3.26 : systèmes d'amarrage pour structures flottantes de type ponton ;	54
Figure 3.27 : Brise lames flottants pontons ;	55
Figure 3.28 : Autres type des brise-lames flottants ;	55
Figure 3.29 Appontements flottants ;	56
Figure 3.30 CAL-BOAT ;	57
Figure 3.31 CODE AUSTRALIEN ;	57
Figure 3.32 CODE YHA BRITANNIQUE ;	58
Figure 3.33 US ASCE ;	58
Figure 3.34 Valeurs adoptées dans le Languedoc Roussillon ;	58
Figure 3.35 Franc bord ;	60
Figures 3.36 et 3.37 pose de défenses ;	61
Figure 3.38 Pose de bouées latéralement aux bateaux ;	62
Figure 3.39 Catway ou jetée latérale ;	64

Figure 3.40 Bras d'amarrage ;	64
Figures 3.41 et 3.42 Passerelles d'accès ;	65
Figure 3.43 Dimensions et pentes des passerelles ;	66
Figure 3.44 Récapitulatif des différentes pentes ;	67
Figure 3.45 Passerelles et ascenseur, «Ramp Rider» ;	67
Figure 3.46 Schéma d'une passerelle ;	68
Figure 3.47 ancrage d'une passerelle ;	68
Figure 3.48 Schéma type d'un ancrage de passerelle ;	69
Figures 3.49, 3.50 et 3.51 Combinaison entre passerelles et ascenseur, «Ramp Rider» ;	69
Figure 3.52 Schéma de passerelle et ancrage au quai ;	70
Figures 3.53 et 3.54 Rails de guidage et axe directionnel de passerelle ;	70
Figures 3.55 et 3.56 Passerelles sécurisées ;	70
Figures 3.57 et 3.58 Appontement guidé sur pieux ;	71
Figure 3.59 Appontement stabilisé par des pieux ;	72
Figure 3.60 Anneau de guidage ;	72
Figure 3.61 Anneau de guidage à galets ;	72
Figure 3.62 Anneau à 3 galets ;	72
Figure 3.63 Anneau à 4 galets ;	72
Figures 3.64 et 3.65 Schéma de guidage sur rail d'un appontement ;	74
Figures 3.66 et 3.67 Détail de guidage sur rails ;	74
Figures 3.68 et 3.69 Schéma et prise de vue d'un guidage sur poutrelle HEA 140 ;	75
Figures 3.70 et 3.71 Schéma et prise de vue d'une attache par bracons ;	75
Figure 3.72 Ancrage sur corps mort ;	76
Figure 3.73 Chaines croisées côté quai ;	77
Figure 3.74 Disposition des chaines des corps morts ;	77
Figure 3.75 Ancrage par élastomère, cordage sur corps-morts ;	78
Figure 3.76 Système élastomère ;	78

CHAPITRE 4

Figures 4.1 Caractéristiques techniques du profile ASE-900 et configuration générale du ponton ;	81
Figure 4.2 Vue en dessus de l'appontement flottant ;	82
Figure 4.3 Coupe longitudinale de l'appontement flottant ;	82
Figure 4.4 Coupe transversale de l'appontement flottant ;	82
Figure 4.5 Chaussée des appontements ;	83

Figure 4.6 Jonction entre module ;	83
Figure 4.7 Définition de coupe de la galerie de service ;	84
Figure 4.8 Détail du taquet ;	84
Figure 4.9 Taquet utilisé ;	84
Figure 4.10 Modèle de bloc de corps mort ;	97
Figure 4.11 Système d'ancrage.	98

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1.1 ports de commerce Algériens ;	7
Tableau 1.2 caractéristiques physiques des ports de commerce ;	8
Tableau 1.3 caractéristiques physiques des ports hydrocarbures ;	8
Tableau 1.4 Ports, abris de pêche, plaisance et zone de pêche dans les bassins des ports de commerce Algériens ;	9
Tableau 1.5 phares d'Algérie ;	10
Tableau.1.6 linéaire d'appontement flottant en Algérie ;	11

CHAPITRE 2

Tableau 2.1: Classement en séries de l'Aluminium Association ;	31
Tableau 2.2 : Méthodes d'amélioration des propriétés mécaniques ;	31
Tableau 2.3 : Produits corroyés : symboles respectifs des différents traitements correspondant à l'état T (état durci par traitement thermiques) ;	32

CHAPITRE 3

Tableau 3.1 Longueur de bateau (Lht) en fonction du Franc-bord (fb) ;	59
---	----

CHAPITRE 4

Tableau 4.1 Résultats de la stabilité de l'appontement flottant ;	88
Tableau 4.2 Calcul du poids propre de la structure ;	88
Tableau 4.3 Calcul du poids propre des flotteurs ;	89
Tableau 4.4 Poids propre du revêtement ;	89
Tableau 4.5 Poids de la défense de quai ;	89
Tableau 4.6 Moments des différents éléments ;	90
Tableau 4.7 Récapitulatif du poids des blocs de corps morts ;	96

Chapitre 5

Tableau 5.1 Comparaison technique des deux appontements ;	109
Tableau 5.2 Récapitulatif des coûts de l'appontement en acier ;	111
Tableau 5.3 Récapitulatif des coûts du prototype de l'appontement flottant ;	112
Tableau 5.4 Récapitulatif des coûts de l'appontement en béton armé.	113

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le sous-secteur portuaire est l'un des segments importants de l'économie algérienne étant donné la diversité des activités qui lui sont rattachées. Le transport maritime, la pêche, la plaisance, l'aquaculture, les sports nautiques sont autant de volets avec lesquels on peut redémarrer l'économie bleue combien stagnée.

Les ports de pêche et de plaisance, méritent une attention particulière, car sont les plateformes de départ de plusieurs activités ayant une grande part dans le développement de l'économie nationale. On assiste aujourd'hui à un manque de poste à quai, à des linéaires et espaces plans dans les bassins portuaires non utilisés, et à des restrictions budgétaires.

C'est dans ce contexte et à travers ce mémoire intitulé « Calcul économique d'un appontement flottant » qu'il est proposé une nouvelle approche voulant apporter une contribution aux secteurs de la pêche et de la plaisance par la proposition d'une structure innovante appelée « appontement flottant » en substitution aux appontements classiques réalisés en béton armé et longuement utilisés en Algérie.

Ce mémoire aborde l'idée d'un calcul économique, en fait c'est une comparaison de coûts de réalisation d'un appontement classique en béton armé et d'un appontement flottant appelé aussi « ponton ». Comme le thème portant appontement flottant est nouveau voir méconnu, on a développé l'essentielle des thématiques connexes tout en incluant le calcul de la stabilité d'une telle structure. Pour la comparaison économique des deux appontements, des prix unitaires réels émanant d'entreprises spécialisées ont été pris pour le calcul de la comparaison des coûts de conception. Aussi, on a exposé les critères portant sur les avantages et les inconvénients des deux cas afin d'aider le décideur à faire le meilleur choix.

Les appontements flottants sont des structures légères constitués d'un châssis en alliage d'aluminium supportant des flotteurs en polyéthylène remplis de polystyrène et d'un platelage appelé également plancher. Sur les 51 ports nationaux, juste 3 ports englobent des appontements flottants. On assiste aujourd'hui à la dernière génération

INTRODUCTION GENERALE

d'appontements flottants. Parmi les avantages de telles structures, leur légèreté, courts délais de réalisation, moyens standards de transport et de pose, modulable, peut être enlevé à tout moment, compétitif en matière de prix par rapport au béton armé, ne demande pas d'entretien particulier, et ne nécessite pas de fondation au sol.

Afin de justifier cette approche, le mémoire est structuré en cinq (05) chapitres, dont le premier donne un aperçu sur le système portuaire national, indiquant les définitions consacrées à tout ce qui se rapporte au port, définitions et concepts émanant du Code maritime Algérien. Aussi, une présentation des caractéristiques physiques, la situation géographique, les ports de commerce, abris et ports de pêche et de plaisance, a été faite. Également, la signalisation maritime a été abordé avec présentation du patrimoine y afférent. Un tableau exposant l'état des lieux des appontements flottants existants dans nos ports a été présenté donnant ainsi le linéaire des appontements y afférent.

Les appontements réalisés dans nos ports sont en béton armé, on a jugé alors nécessaire d'inclure un sous chapitre consacré aux béton armé en milieu maritime exposant les désavantages d'un tel matériau en tel endroit et les agressions sévères que subit une infrastructure en béton armé sous environnement maritime.

Le deuxième chapitre donne un aperçu sur le matériau constituant le châssis de l'appontement, c'est à dire l'alliage de l'aluminium. Ce matériau léger, recyclable, qui ne nuit pas à l'environnement, qui résiste aux agressions du milieu marin et bien d'autres avantages, est choisi pour ces caractéristiques physique mais aussi mécaniques. Aussi, les thématiques connexes qui ont un lien direct avec la fabrication de la structure du châssis, ont été développées tel que le soudage et les différents procédés de ce dernier ainsi le contrôle des soudures.

La présentation des structures flottantes en générale, et les appontements flottants en particulier, font l'objet du troisième chapitre. Définitions, historique, applications et d'autres thématiques se rapportant aux structures flottantes dans les domaines de l'habitat, de l'industrie off-shore ont été présentées. Également, les très grandes structures flottantes appelés en anglais VLFS (Very Larg Float Structurs) ont été abordées et des exemples concrets réalisés par différents pays tel que les USA,

INTRODUCTION GENERALE

Japon, Singapour, Norvège Canada, ... ont été exposées, confirmant ainsi que l'espace maritime malgré sa complexité, peut être le lieu de gigantesques constructions sur de telles structures, mais aussi que ces dernières ont fait leur preuve ailleurs et sont largement utilisées.

La dernière partie du mémoire est consacrée à une comparaison technico-économique entre les deux appontements (flottants et fixe en béton armé), suivi de conclusions et recommandations. Ces dernières d'adressent aux chercheurs voulant s'investir dans l'ingénierie des structures flottantes, et propose des sujets pour la recherche.

Le mémoire se termine par la présentation du prototype d'appontement flottant réalisé en Algérie avec un taux d'intégration de 55%. Ce prototype est constitué de profils (profils de rive, diagonales, traverses, etc...) pour la structure en alliage d'aluminium, flotteurs, d'un platelage et d'autres équipements tel que les taquets d'amarrage, les chaînes d'ancrage etc... ayant 6 m de longueur et 2,5 m de large, 10 flotteurs, d'un platelage et de 4 taquets d'amarrage. L'ensemble de ces composants a été ramené de France.

Afin d'installer le prototype dans un port de pêche donné, un accord de principe a été donné par les pouvoirs publics, il reste à choisir le port qui convient pour une telle action. L'objectif étant de le présenter aux professionnels et de le mettre à l'essai, mais aussi d'informer les usagers des ports qu'une telle structure est en mesure de solutionner la congestion des ports ainsi que la récupération des linéaires et espaces plans non utilisés dans nos bassins portuaires.

CHAPITRE 1

GENERALITES

SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

**CHAPITRE 1
GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL**

1.1 Introduction

Les échanges, mais aussi plus largement l'intégration économique du pays ne sauraient se concevoir sans l'intégration de nouveaux concepts, l'amélioration des voies de communications maritimes et terrestres au travers de la prise en charge pertinente de l'infrastructure portuaire et des équipements y afférents dans toutes ses dimensions techniques et opérationnelles.

Pour situer l'importance du rôle des ports en tant que soutien au fonctionnement et développement de l'activité économique et sociale du pays, il suffit de rappeler que cette dernière se caractérise par sa dépendance particulière à l'égard des échanges avec le reste du monde et que la quasi-totalité de ces échanges s'effectue par voie maritime (+ de 95%).

Eu égard à cette forte dépendance, l'efficacité de fonctionnement des ports et la qualité de leur développement constituent des facteurs déterminant pour le développement économique du pays, et la recherche de l'amélioration de leurs performances est une exigence permanente.

Cette efficacité est, certes, tributaire d'une infrastructure de base appropriée et adaptée aux exigences induites par les nouvelles technologies de transports maritimes et les effets de la mondialisation ; d'où la nécessité impérative d'une disponibilité d'installations adéquates et/ou d'équipements d'exploitation performants, mais également d'un système organisationnel et de gestion de ce complexe devant fonctionner aux normes et standards internationaux et selon les règles inhérentes à l'économie de marché.

Les ports ne sont plus considérés comme une simple interface entre deux modes de transports (maritime / terrestre) et de transit des marchandises, mais constituent

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

un élément fonctionnel et partie intégrante des dispositifs logistiques nationaux et internationaux. Ils peuvent dans ce contexte contribuer de façon déterminante à l'acquisition d'un avantage concurrentiel, d'où la nécessité d'une politique portuaire devant favoriser la mise en valeur des potentialités et atouts nationaux, notamment, en matière de pêche et de plaisance.

Pour ces deux derniers secteurs, pêche et plaisance, il est proposé des structures flottantes comme alternative aux structures classiques en béton armé. Cette approche permettra, entre autres, des gains en matière de temps de réalisation, d'optimisation d'espaces dans les bassins portuaires existants et futurs, des économies de coûts d'entretien, de confort, mais aussi de récupération de plusieurs centaines de linéaires dans les ports non utilisés pour faute de solution etc...

Nos ports, notamment, les appontements classiques, sont réalisés en béton armé. Il est présenté à la fin de ce chapitre, les avantages et inconvénients du béton armé, mais aussi, les agressions que subit les infrastructures réalisées en béton armé en milieu maritime.

1.2 Principes généraux

1.2.1 Classification des ports

Le port est un point du rivage de la mer, aménagé et équipé pour recevoir, abriter des navires et assurer toutes les opérations de commerce maritime, de pêche et de plaisance [1].

Les ports sont classés selon leur destination en :

1.2.1.1 Ports de commerce :

Sont réputés ports de commerce et classés dans cette catégorie, les ports destinés à assurer dans les meilleures conditions économiques et de sécurité, toutes les opérations d'embarquement et de débarquement de personnes, de marchandises et d'animaux vivants transitant du mode maritime au mode terrestre de transport et inversement ainsi que toutes les opérations liées à la navigation maritime.

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

1.2.1.2 Ports de pêche :

Sont classés dans cette catégorie, les ports destinés à recevoir les navires armés à la pêche et à assurer la satisfaction des besoins et le développement de cette activité.

1.2.1.3 Ports de plaisance :

Sont classés dans cette catégorie les ports aménagés pour permettre la satisfaction des besoins de la navigation de plaisance et le développement de cette activité. Toutefois, peuvent être exercées au niveau d'un port de commerce, à titre accessoire, les autres activités liées à la défense nationale, à la pêche et à la plaisance.

Sont exercées au niveau des ports des missions de puissance publique et de service public et des activités commerciales. Les missions de puissance publique sont exercées par les organes de l'Etat habilités à cet effet.

Le développement, l'entretien, la gestion, la préservation et la conservation du domaine public portuaire, constituent des missions de service public dévolues à des institutions créées à cet effet dénommées : « autorités portuaire ».

1.2.2 Composition du domaine public portuaire

Conformément aux dispositions législatives en vigueur en la matière les ports relèvent du domaine public artificiel.

Le domaine public portuaire est composé d'infrastructures, de superstructures et de dépendances grevées de servitude au profit de la circulation maritime et du développement des ports.

Ci-après un plan de masse montrant les différentes infrastructures et superstructures d'un port.

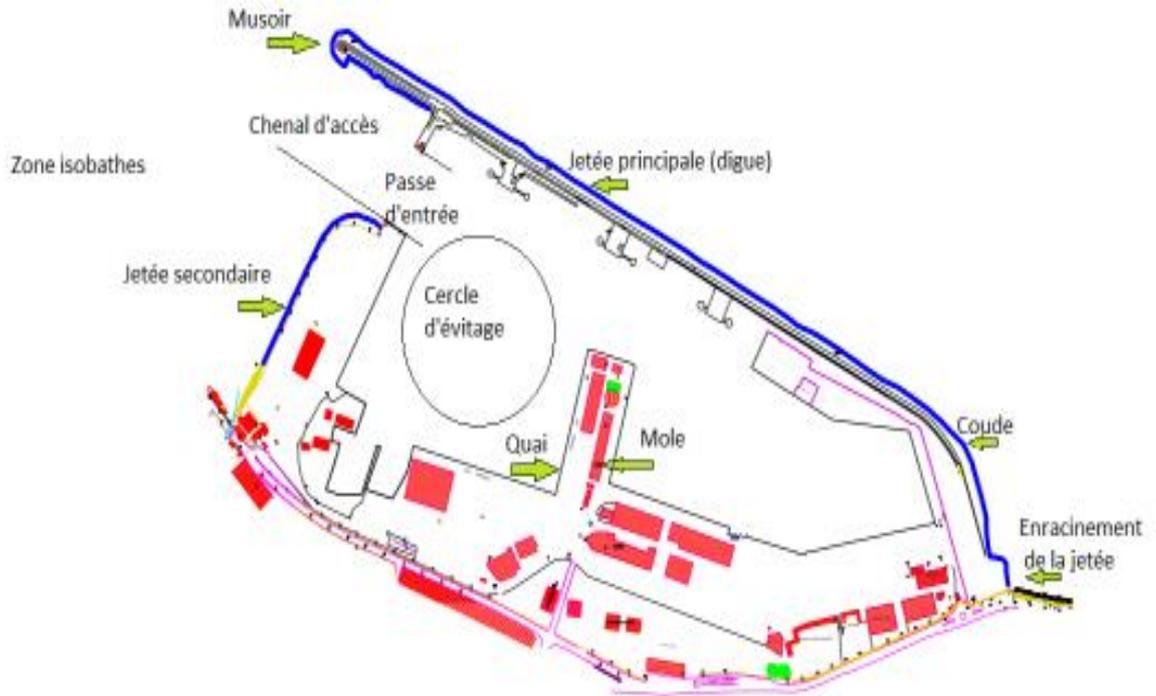


Figure 1.1 Plan masse d'un port

1.2.2.1 Les infrastructures portuaires

Les infrastructures portuaires comprennent :

- Les chenaux d'accès et les ouvrages de signalisation et de guidage des navires constitués notamment par les phares, bouées, balises et tout autre moyen requis pour assurer l'évolution des navires et la sécurité de la navigation ;
- Les ouvrages de protection du port (jetées, digues, brises lames) et les plans d'eau abrités (bassins et darses) ;
- Les môles, les quais et les appontements ;
- Les ouvrages nécessaires à la construction et à la réparation navale (cales sèches, cales de halage).

1.2.2.2 Les superstructures portuaires

Les superstructures comprennent l'ensemble des installations, équipements fixes ou mobiles et outillages nécessaires aux opérations :

- D'accostage des navires et de télécommunication ;
- De débarquement et d'embarquement des passagers ;

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

- De chargement et de déchargement des navires ;
- De réception, de transfert, de stockage, de pesage et de livraison des marchandises ;
- D'avitaillement des navires en eau douce et énergie électrique ;
- De soutage, de déballastage et de dégazage des navires ;
- De réparation navale et de lutte contre l'incendie et la pollution ;
- De pêche et de plaisance.

Elles comportent en outre :

- Les terre-pleins et surfaces couvertes nécessaires au transit et à l'entreposage des marchandises ;
- Les gares maritimes ;
- Les gares et voies ferrées ainsi que les routes, voies d'accès incluses dans les limites des ports ;
- Les halles aux poissons ;
- Les réseaux d'eau douce et d'énergie électrique ainsi que les réseaux de voiries et de collectes des eaux usées et pluviales.

1.2.2.3 Les dépendances du domaine public portuaire

Les dépendances du domaine public portuaire sont constituées par :

- Une zone de mouillage pour les navires en attente, comprenant un plan d'eau naturellement ou artificiellement abrité, appelé rade avec des fonds marins conformes aux normes de sécurité de la navigation ;
- Les zones attenantes aux enceintes portuaires nécessaires à l'exploitation ainsi que les zones d'extension du port.
- Le domaine public portuaire fait l'objet d'une délimitation en vue de fixer les limites maritimes et terrestres du port. Il comprend une zone d'exploitation et une zone d'extension.

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

Il est entendu par :

Zone d'exploitation : la zone constituée par une partie maritime formée par des zones de mouillage et plans d'eau, ainsi que d'une partie terrestre formée par le port et ses dépendances nécessaires à l'exploitation du port.

Zone d'extension : la zone qui s'étend au-delà de la zone d'exploitation tant du côté maritime que terrestre, destinée à être aménagée et équipée dans le cadre du schéma directeur de développement du port. Elle est grevée de servitudes, conformément à la législation en vigueur.

La délimitation du domaine public doit faire l'objet d'une enquête publique. Elle est réalisée en conformité avec les schémas d'aménagement et d'urbanisme, approuvés et publiés dans les formes légales en vigueur.

1.2.3 Entretien et développement des ports

La conception, la réalisation, l'extension et le développement des ports sont effectués dans le cadre des schémas directeurs de développement des ports et conformément aux règles d'aménagement du territoire.

Les travaux d'entretien, de création, d'extension, de modernisation et de renouvellement des ouvrages d'infrastructures citées plus haut ainsi que le dragage sont à la charge de l'Etat.

Toutefois, l'autorité portuaire participe au financement des opérations d'entretien et d'adaptation des ouvrages d'infrastructures existants ainsi que celles inhérentes aux travaux de dragage. L'autorité portuaire finance l'entretien et le développement des superstructures portuaires.

1.3 Aperçu général sur les infrastructures portuaires

Le complexe portuaire national est constitué de treize (13) ports de commerce dont deux (02) pétroliers et (37) trente-sept, entre abris de pêche et port de pêche et un (01) seul port de plaisance (Sidi Fredj) [2].

Tableau 1.1 ports de commerce Algériens

Ports de marchandises générales	Ports mixtes (marchandises générales et hydrocarbures)	Ports spécialisés (hydrocarbures)
1. Ghazaouet	9. Arzew	12. Béthioua (avec 2 SPM)
2. Oran	10. Béjaïa	13. Skikda (Nouveau port) avec 2 SPM
3. Mostaganem	11. Skikda (ancien port)	1 SPM à Béjaïa
4. Ténès		
5. Alger		
6. Dellys		
7. Djen-djen		
8. Annaba		



Figure I.2 vue d'en haut de la côte Algérienne

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

1.3.1 Caractéristiques physiques des ports

1.3.1.2 Ports Marchandises Générales et Mixtes

Tableau 1.2 caractéristiques physiques des ports de commerce

Linéaire ouvrages de protection (ml)	Linéaire de quais (ml)	Surface Terre-pleins (ha)	Surface bassins (ha)	Tirant d'eau (m)
28 964	32 576	541	949	-5 à -12,5

1.3.1.3 Ports Hydrocarbures

Tableau 1.3 caractéristiques physiques des ports hydrocarbures

Linéaire ouvrages de protection (ml)	Linéaire de quais (ml)	Surface Terre-pleins (ha)	Surface des bassins (ha)	Tirant d'eau (m)
6 500	4 300	70	226	-11 à -18

Ci-après carte de localisation des ports d'Algérie.



Figure 1.3 Localisation des ports d'Algérie

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

1.3.1.4 Ports, abris de pêche et port de plaisance.

Le complexe portuaire national dédié à l'activité de pêche et de plaisance est constitué actuellement outre les zones réservées à cette activité au niveau de 10 ports de commerce (port mixtes), de 22 Ports de pêche spécialisés, 15 abris de pêche et 01 un port de plaisance [3].

Tableau I.4 Ports, abris de pêche, plaisance et zone de pêche dans les bassins des ports de commerce Algériens

Zones de pêche réservées dans les ports mixtes	Ports de pêche	Abris de pêche	Port de plaisance
1. Ghazaouet ;	1. Beni-saf (Ain Temouchent) ;	1. Honaine (Tlemcen);	1. Sidi Fredj (Alger).
2. Oran ;	2. Bouzedjar (Ain Temouchent) ;	2. Beni-Houa (Chlef);	
3. Arzew ;	3. Sidi Lakhdar (Mostaganem);	3. Gouraya (Tipaza);	
4. Mostaganem ;	4. Cherchel (Tipaza) ;	4. Tipaza;	
5. Ténès ;	5. Bouharoun (Tipaza) ;	5. Khemisti (Tipaza);	
6. Alger ;	6. El Djamila (Alger) ;	6. Tamanfoust (Alger);	
7. Dellys ;	7. Zemouri (Boumerdes) ;	7. Ziama Mansouria (Jijel);	
8. Béjaia ;	8. Azzeffoune (Tizi-Ouzou) ;	8. El Marsa (Skikda);	
9. Skikda (Ancien) ;	9. Boudis (Jijel) ;	9. Chetaibi (Annaba);	
10. Annaba ;	10. Collo (Skikda) ;	10. Oued Z'hor (Jijel);	
	11. Stora (Skikda) ;	11. Beni-Ksila (Béjaia) ;	
	12. El Kala ancien (El Tarf) ;	12. El Marsa (Alger) ;	
	13. El Marsa (Chlef) ;	13. Rais Hamidou (Alger) ;	
	14. Tala Guilef (Béjaia) ;	14. Merset Ben M'Hidi (Tlemcen) ;	
	15. Salamandre (Mostaganem);	15. Kristel (Oran) ;	
	16. El Kala Nouveau port ;		
	17. El Aouna (Jijel) ;		
	18. Tigzirt (Tizi-Ouzou) ;		
	19. Cap Djinet (Boumerdes) ;		
	20. Sidi Abderrahmane (Chlef);		
	21. Madagh (Ain Temouchent);		
	22. Sidna Youchaa (Tlemcen);		

1.4 Patrimoine de signalisation maritime en Algérie

D'un linéaire de 1280 Km de côte, l'Algérie dispose de 242 établissements de signalisation maritime assurant le balisage avec les moyens suivants [3] :

- 26 phares
- 5 feux de jalonnement ;
- 174 feux de port ;
- 11 feux auxiliaires et d'écueils ;
- 26 bouées de balisage.

Ci-après le tableau 1.5 des 26 phares Algériens, indiquant le nom, la date de construction ainsi que la fonction du phare.

Tableau 1.5 phares d'Algérie

Nom du phare	Date de construction	Fonction
Phare de Ghazaouet	1868	Phare de Jalonnement
Phare de l'île Rachgoune	1870	Phare de Jalonnement
Phare de l'île Habibas	1878	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Falcon	1868	Phare d'atterrissage
Phare de Cap de l'Aiguille	1865	Phare de Jalonnement
Phare de l'îlot d'Arzew	1865	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Ivi	1898	Phare d'atterrissage
Phare de Colombi	1954	Phare d'atterrissage
Phare de Cap Ténès	1861	Phare d'atterrissage
Phare de Cherchel	1881	Phare de Jalonnement
Phare de Tipaza	1867	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Caxine	1868	Phare d'atterrissage
Phare de l'Amirauté		Phare de Jalonnement
Phare de Cap Matifou	1958	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Bengut	1881	Phare d'atterrissage
Nouveau phare de Cap Bengut	2006	Phare d'atterrissage
Phare de Cap Corbelin	1905	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Sigli	1905	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Carbon	1906	Phare d'atterrissage
Phare de Ras Afia	1907	Phare de Jalonnement
Phare de Cap Bougaroune	1911	Phare d'atterrissage
Phare de la presqu'île de Djerda	1863	Phare de Jalonnement
Phare de l'île Sirigina	1906	Phare de Jalonnement
Phare de Cap de Fer	1907	Phare de Jalonnement
Phare de Cap de Garde	1908	Phare d'atterrissage
Phare de Cap Rosa	1906	Phare de Jalonnement

1.5 Appontement flottant et contexte national

Les appontements flottants ne sont que très peu ré pondus. C'est la culture du béton armé qui été ré pondue. Les appontements dans nos ports sont réalisés en béton armé.

Le linéaire d'appontements réalisés en béton armé dans nos ports de pêche et de plaisance est de 7811,5 ml, le linéaire d'appontement prévu d'être réalisé en béton armé, selon des études achevées, dans le cadre de l'extension des ports de pêche et de plaisance, est de 3253 ml [1].

Le linéaire d'appontements flottants posés dans nos ports et de 594,66 ml [1], et ne concerne que trois (03) sur cinquante et un (51) ports.

Ci-après, le nombre de ports abritant les appontements flottants ainsi que le linéaire y afférent.

Tableau.1.6 linéaire d'appontement flottant en Algérie

Port	Linéaire de l'appontement (MI)	Nombre d'appontement
Pêche et plaisance Stora (Skikda)	140,66	03
Alger, Commerce (Zone de pêche)	104	13 modules de 8 MI
El Djamila (Alger)	50	1 module en T
Plaisance de Sidi Fredj	110	5
Commerce (zone de plaisance) Oran	160	03
TOTAL	564,66	

1.6 Béton armé et infrastructure en milieu maritime.

1.6.1 Introduction.

Le béton armé est le matériau utilisé dans la réalisation de nos ports, notamment, les appontements classiques. Ci-après d'une manière générale, les avantages et inconvénients de ce matériaux. En milieu maritime, le béton armé subit d'autres dégradations rendant parfois obsolète la structure en question.

1.6.2 Avantages et inconvénients du béton armé.

1.6.2.1 Avantages.

a. L'intérêt économique : Le béton est le moins coûteux des matériaux résistant à la compression et susceptible d'être associé à d'autres éléments. On dit que l'acier est actuellement le seul matériau utilisé dans la fabrication des armatures parce que sa résistance est moins chère des matériaux pouvant être résistés à la traction.

b. La souplesse d'utilisation : le béton étant mis en place (dans des moules : coffrage) à l'état pâteux ; il est possible de réaliser des constructions aux formes les plus variées et les Armatures peuvent être facilement liées. Les assemblages entre différents éléments en béton se réalisent par simple contact. Le béton armé se traite facilement à la préfabrication en usine.

c. Economie d'entretien : les constructions en béton armé ne nécessitent aucun entretien tandis que les constructions métalliques ont besoins d'être peintes régulièrement.

d. Résistance au feu : les constructions en béton armé se comportent beaucoup mieux en cas d'incendie que les constructions métalliques ou en bois. Le béton, grâce à sa mauvaise conductibilité thermique retarde les effets de la chaleur sur les armatures, il est possible de remettre en service la construction après les réparations superficielles ce qui est impossible pour les constructions métalliques. Cette propriété a permis d'utiliser le béton armé dans certaines parties des fours.

e. Résistance aux efforts accidentels : le béton armé en raison de son poids important est moins sensible aux variations de surcharges que d'autres modes de constructions.

f. Durabilité : le béton armé résiste bien à l'action de l'eau et de l'air la seule condition à observer et la protection des armatures.

1.6.2.2 Les inconvénients du béton armé :

a. Le poids : les ouvrages en B.A sont plus lourds que les autres modes de constructions.

b. L'exécution : pour exécuter un ouvrage en béton armé il faut :

- Préparation de coffrage qui demande beaucoup de temps et un travail de charpente important. Ce coffrage doit rester en place jusqu'à ce que le béton atteinte une résistance suffisante ;
- Le placement des armatures pendant et après les mises en place du béton, il faut prendre des précautions pour le protéger contre le gel et l'évaporation de l'eau ;
- Le contrôle de la qualité du matériau perfectionné lors du gâchage.

c. Brutalité des accidents : les accidents qui surviennent d'un ouvrage en béton armé sont en général soudains ou brutaux, en général ces accidents sont dus à des erreurs de calculs ou de réalisations.

d. Difficulté de modification d'un ouvrage déjà réalisé : il est difficile de modifier un élément déjà réalisé.

1.7 Béton armé, complexité de mise en œuvre et agressivité du milieu marin.

1.7.1 Introduction

Dans ce qui suit on s'intéressera aux désordres causés par l'agressivité très importante et les contraintes spécifiques de l'environnement marin envers les structures maritimes. Ci-après les figures indiquant l'effet du marnage ainsi que le dépôt d'organismes vivant sur les infrastructures maritimes.



Figure 1.4 Effet du marnage



Figure 1.5 Dépôt d'organismes vivants

1.7.2 Construction et mise en œuvre

La spécificité des ouvrages en béton apparaît également en phase de construction par la multiplicité des techniques de mise en œuvre du béton [4] :

- Béton coulé en place ;
- Béton coulé en zone de marnage ;
- Béton coulé sous l'eau ;
- Béton préfabriqué.

Chacune de ces modalités de construction nécessite l'utilisation de différents matériels qui vont conditionner les dispositions constructives et les propriétés du béton (sa formulation) :

- Pompage ;
- Mise en œuvre au tube plongeur ;
- Mise en œuvre à la benne.

La complexité structurelle des ouvrages à réaliser, introduit des difficultés et des contraintes de bétonnage et de vibration qu'il s'agisse de :

Zones fortement ferrillées au niveau des nœuds de clavage entre poutres ou au niveau des zones d'ancrage des bollards ou crocs d'amarrage : difficulté pour le serrage du béton avec risque de ségrégation, d'apparition de cavités et de "nids de cailloux" ;

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

Zones d'accès difficile ou immergées : difficulté pour le serrage du béton, risque de délavage ;

Technique de construction particulière telle que celle permettant la confection d'une paroi moulée.

Les conditions environnementales introduisent également des contraintes non négligeables à prendre en considération en phase de construction :

- Le cycle des marées peut imposer l'organisation du travail en fonction de la marée;
- La météorologie et notamment le vent nécessite de prendre des dispositions particulières pour la cure des parements ;
- La houle et le marnage conditionnent le dimensionnement des coffrages (tenue en cas de tempête par exemple) ;
- Les conditions d'accès au chantier peuvent nécessiter des moyens de transport exceptionnels.

1.7.3 Agressivité du milieu marin

Pendant son utilisation, une infrastructure en béton armé exposé à un environnement maritime est soumis à plusieurs types d'agressions, notamment, fissuration et corrosion, ci-après figures



Figure 1.6 Fissuration de béton



Figure 1.7 Effet de corrosion

1.7.4 Attaques externes sur le béton seul

Ci-après Figure III.1 montrant une attaque externe sur du béton seul par les chlorures.



Figure 1.8 Attaque externe du béton, par des chlorures et attaque sulfatique.

1.7.4.1 Attaque des chlorures.

Les ions chlorures présents naturellement dans l'eau de mer, principalement les chlorures de magnésium $MgCl_2$ et les chlorures de calcium $CaCl_2$ sont agressifs vis-à-vis du béton. Le chlorure de magnésium $MgCl_2$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant.

Le chlorure de calcium $CaCl_2$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'un chloro-aluminate de chaux puis d'ettringite, voire même de thaumasite (en présence de silice dissoute et de carbonates), qui sont des gels expansifs pouvant générer des gonflements entraînant fissurations et éclatements du béton [4].

1.7.4.2 Attaque sulfatique d'origine externe.

Les sels de sulfate présents naturellement dans l'eau de mer, notamment les sulfates de magnésium $MgSO_4$ et les sulfates de calcium $CaSO_4$ sont agressifs vis-à-vis du béton. Le sulfate de magnésium $MgSO_4$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant. Le sulfate de calcium $CaSO_4$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'ettringite, gel expansif, d'où gonflement, fissuration et éclatement du béton. Contrairement aux autres attaques, l'agressivité des sulfates est accrue dans les climats froids.

1.7.4.2.1 Cristallisation des sels dissous

Dans la zone située juste au-dessus du niveau d'eau, la cristallisation à l'intérieur des pores du béton des sels dissous provoque des dommages dus à leur expansion. Ce phénomène est surtout sensible sous les climats arides où l'évaporation de l'eau de mer se produit à l'intérieur des pores. Sous les climats tempérés, l'évaporation a lieu en surface, d'où un effet moindre. Le sulfate de magnésium est particulièrement agressif à cet égard.

1.7.4.2.2 Développement d'organismes vivants

Le développement des algues et mollusques marins à la surface du béton est généralement considéré comme bénéfique. En effet, il maintient une humidité qui s'oppose à la pénétration des gaz et de l'oxygène en particulier. Cependant, un excès de dépôt, en augmentant le poids et la surface de certains éléments de structure élancés comme les pieux, peut provoquer des surcharges statiques et cycliques non négligeables.

Exceptionnellement, certains mollusques ayant une affinité particulière pour les marnes peuvent détruire les granulats qui en sont constitués (phénomène déjà rencontré dans la zone du golfe persique).

1.7.4.2.3 Attaques internes du béton

Tout béton peut subir une attaque interne. Les phénomènes d'attaque interne ne sont pas spécifiques aux environnements marins mais ont besoin de présence d'eau pour se produire, ci-après figure III.1 exemple d'attaque interne du béton.



Figure 1.9 Attaque interne du béton

1.7.4.2.4 Réaction alcali-granulat

La réaction alcali-granulat (RAG) est une réaction interne au béton entre la solution alcaline interstitielle du béton et certains granulats, produisant un gel silico-calco-alcalin expansif, d'où risque de gonflement, fissuration et éclatement du béton. Trois conditions sont nécessaires pour amorcer et entretenir ces réactions :

- Le béton contient des granulats réactifs vis-à-vis de l'alcali-réaction (roches à risque : grès, gneiss, granite, calcaires dolomitiques...);
- La teneur en alcalins actifs est élevée (essentiellement apportés par le ciment) ;
- L'environnement est humide. Seule une partie de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment. L'autre partie, nécessaire à la bonne mise en œuvre du béton, se retrouve ensuite piégée dans le béton et peut alimenter une réaction alcali-granulat.

Pour les structures maritimes immergées ou en zone de marnage et les parties d'ouvrages en environnement humide (pluie, eaux de ruissellement, sol humide, etc...), le phénomène est aggravé par l'apport d'eau extérieure.

1.7.4.2.5 Réaction sulfatique interne

La réaction sulfatique interne (RSI) est définie par la formation différée d'ettringite (produit expansif pouvant générer des gonflements) dans un matériau cimentaire après la prise du ciment et sans apport de sulfates externes. Les ions sulfates d'origine interne peuvent provenir des granulats (pyrites), du ciment ou être libérés par les produits d'hydratation.

En cas de réaction sulfatique interne, la formation d'ettringite différée, alors que le béton est mécaniquement rigide, peut être préoccupante. Cette réaction touche les structures qui ont subi une élévation excessive de température lors de la prise du béton : elle peut concerner par exemple des pièces préfabriquées traitées thermiquement ou des structures massives (épaisseur supérieure à 1 m) coulées en période chaude [4]. Comme pour la réaction alcali-granulat, la réaction est activée par la présence d'eau (interne ou apportée par le milieu extérieur) et les

symptômes sont proches de ceux de la réaction alcali-granulat : gonflement du béton avec faïençage visible en parement.

1.7.4.2.6 Cycles de gel-dégel

Lorsque la température extérieure descend en dessous de -3°C , l'eau contenue dans les pores du béton gèle en commençant par les plus gros pores proches du parement. En gelant, l'eau augmente de volume et provoque une pression hydraulique dans le réseau poreux qui, si elle dépasse la résistance à la traction du béton, provoque la fissuration du béton dans la masse.

L'endommagement du béton est progressif : il résulte de la succession de cycles de gel-dégel. Il dépend de la vitesse de refroidissement, du nombre de cycles, de la température minimale atteinte et de la durée du gel.

1.7.4.2.7 Ecaillage du béton de surface

Ce phénomène se situe principalement sur les surfaces horizontales où se déposent et se concentrent les sels de déverglaçage ou dissous dans les embruns d'eau de mer. Il accentue en particulier les effets destructeurs des cycles de gel-dégel. Il agit directement sur la peau du béton qu'il décolle par cristallisation des sels.

1.8 Corrosion des armatures

1.8.1 Pénétration des chlorures

En milieu saturé en eau, cas des structures immergées, les chlorures pénètrent dans la porosité du béton par un phénomène de diffusion, sous gradient de concentration en chlorures entre la surface riche en chlorures et le cœur exempt de chlorure. Lorsque la structure est soumise à des cycles d'humidification-séchage en présence de chlorures (zone de marnage, exposition aux embruns), les chlorures migrent avec la phase liquide par capillarité, phénomène plus rapide que la diffusion.

Lorsque la teneur en chlorures devient importante au niveau des armatures, il y a dépassivation puis corrosion des armatures. Plus le milieu environnant sera riche

en chlorures, plus le risque de corrosion des armatures sera important. La vitesse de pénétration des chlorures est d'autant plus faible que la porosité de la pâte de ciment est faible. Ci-après figure montrant ce que la pénétration des chlorures cause aux structures en béton armé.



Figure 1.10 Corrosion des armatures, pénétration des chlorures.

1.8.1.1 Carbonisation

L'air contient du dioxyde de carbone à un taux moyen de 0,03 % en volume, qui réagit sur les hydrates, principalement sur la Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), pour former du carbonate de calcium. Ce phénomène consomme de la portlandite et conduit à une chute du pH de la solution interstitielle, ce qui entraîne une dépassivation des aciers.

Le dioxyde de carbone pénètre à l'intérieur des pores du béton par un phénomène de diffusion. Or, dans le processus de diffusion du dioxyde de carbone, l'humidité relative des pores du béton joue un rôle primordial. Ci-après figure montrant ce que la carbonisation cause aux structures en béton armé.



Figure 1.11 Corrosion par carbonatation

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

Ainsi, lorsque les pores du béton sont saturés d'eau, cas des structures immergées, la pénétration est extrêmement faible et la carbonatation pratiquement inexistante. De la même façon, si le béton se trouve dans un milieu très sec, la quantité d'eau est insuffisante pour dissoudre le gaz carbonique et le béton ne se carbonate que modérément.

En revanche, lorsque la structure est soumise à des cycles d'humidification-séchage (zone de marnage, zone exposée à la pluie et au vent, zone de condensation...), le phénomène de carbonatation est rapide. La vitesse de carbonatation est d'autant plus faible que la porosité de la pâte de ciment est faible.

1.8.2 Actions mécaniques

Les bétons en site maritimes ont la particularité d'être fortement sollicités mécaniquement. L'action mécanique la plus commune, et la plus particulière aux ouvrages marins est l'agitation marine ou l'action de la houle, générant des efforts horizontaux et verticaux.

De plus, en ce qui concerne les ouvrages portuaires, ceux-ci peuvent également être soumis à des chargements spécifiques, dont la répartition, la durée et l'intensité sont très variables, tels que l'accostage, l'amarrage ou simplement les chocs de navires.

Il faut également citer l'abrasion sur les façades exposées des ouvrages, particulièrement lorsqu'elles sont soumises à l'agitation marine. En effet, l'action des corps flottants ou simplement des sables et des gravillons nécessitent de considérer cet aspect dans la conception de l'ouvrage.

1.8.2.1 Maitrises des risques par les dispositions constructives

Les dispositions constructives, à savoir l'ouverture des fissures et les enrobages, sont très liées à la formulation du béton.

1.8.2.2 Seuils d'ouverture des fissures

Les fissures représentent une zone de faiblesse pour la pénétration des agents agressifs à l'origine des désordres du béton.

On peut limiter leur apparition et diminuer leur taille par la conception structurelle de l'ouvrage et la formulation et la mise en œuvre du béton. La norme NF EN 206/CN et l'Eurocode 2 donnent des seuils maximums d'ouverture de fissures en fonction de l'environnement et de l'agressivité du milieu. La réglementation ne tient néanmoins pas compte de la formulation et de la mise en œuvre du béton pour définir les seuils. Leur respect est assuré par le calcul béton armé de la structure, selon les formules analytiques de l'Eurocode 2.

1.8.2.3 Enrobage des armatures

Avant de donner les exigences réglementaires et les recommandations complémentaires pour le calcul des enrobages, voici quelques ordres de grandeur d'enrobages (pour des aciers classiques) en fonction des zones d'un ouvrage maritimes. Ces ordres de grandeur sont donnés à titre indicatif par le CETMEF [5]:

- Parties immergées constamment : 50 mm ;
- Zones de marnages : 70 mm ;
- Zones soumises à l'abrasion ou aux chocs : 100 mm ;
- Parties enterrées : 70 mm à 90 mm.

L'enrobage est le principal paramètre constructif qui détermine la période d'incubation (c'est-à-dire le temps de pénétration des agents agressifs jusqu'aux armatures) du béton armé. C'est donc un paramètre directement lié à la durée de vie exigée de l'ouvrage. Néanmoins, l'augmentation de l'enrobage a aussi l'effet d'augmenter l'ouverture des fissures à quantité d'armatures constante.

1.8.3 Maitrise des risques par la mise en œuvre du béton

1.8.3.1 Risques liés au murissement du béton

Le béton au jeune âge nécessite plusieurs jours, voire plusieurs semaines, pour acquérir ses caractéristiques finales. Cette période critique pendant laquelle on va

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE SYSTEME PORTUAIRE NATIONAL

réaliser la cure du béton, souvent évaluée à 28 jours, dépend de la cinétique d'hydratation du béton, donc majoritairement du ciment et des additions choisies.

Globalement on peut résumer ici que le béton sera mûr lorsqu'il aura atteint sa résistance mécanique finale et sa porosité finale. Entre temps, certains risques sont à maîtriser.

Avant d'atteindre sa porosité prévue, un béton, quelle que soit la rapidité de la réaction d'hydratation, est très poreux au jeune âge. Ainsi, c'est une période où les agents agressifs, en particulier le CO₂ et les chlorures de l'eau de mer, peuvent pénétrer beaucoup plus aisément. On peut donc se retrouver avec un béton déjà totalement contaminé à 28 jours. Il est donc indispensable de prévoir une méthode pour étanchéifier le béton, le temps qu'il atteigne la porosité prévue.

1.8.3.2 Recommandations générales sur la mise en œuvre du béton

Comme pour tous les ouvrages en béton, les recommandations sur la mise en œuvre concernent notamment le temps de malaxage (objectif d'un mélange homogène), le temps et l'intensité de vibration (objectif d'assurer la compacité tout en évitant la ségrégation des granulats) et les épaisseurs de coulage (généralement autour de 50 cm), les méthodes de coffrage et la cure.

Ces paramètres dépendent totalement du ciment, des additions mais aussi des adjuvants choisis. On remarquera à propos que les ouvrages maritimes nécessitant souvent le coulage de pièces volumineuses et complexes, l'ouvrabilité, c'est-à-dire la facilité de mise en œuvre du béton, est un paramètre essentiel à contrôler.

En ce qui concerne la cure, il n'existe pas réellement de norme pour déterminer le type de méthode à utiliser. Il existe 2 principes : la cure humide, qui consiste à conserver une humidité relative importante (>80%) en surface du béton, et la cure étanche, afin d'empêcher la pénétration pendant la prise du béton. La durée de cure dépend elle aussi du ciment et du temps de prise.

Conclusion du chapitre 1

De ce qui précède, nous avons constaté la complexité de l'utilisation du béton armé en site maritime. Les conditions difficiles de mise en œuvre, les exigences pour son entretien, les dégradations susceptibles de rencontrer, les attaques internes et externes, sont autant de paramètres à comparer avec le matériau alliage d'aluminium, qui lui, ne nécessite pas autant de précautions à prendre et ne reçoit pas les attaques suscitées.

L'agressivité très importante et les contraintes spécifiques de l'environnement marin envers le matériau béton sont à prendre en considération lors de la conception, étude et réalisation d'un ouvrage maritime. Pour l'alliage de l'aluminium, on note que ce dernier est compatible avec l'environnement marin sans impacts négatifs, et est recyclable et durable.

Il est suggéré de proposer l'appontement flottant, non comme substitution totale ni remplacement définitif du béton armé, mais comme solution alternative, combinée et complémentaire ayant un impact positif sur les volets économique et environnemental.

CHAPITRE 2

MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

2.1 Introduction

L'appontement flottant étant constitué d'alliage d'aluminium, pour le châssis, et de polystyrène et polyéthylène pour les flotteurs, une présentation de ces matériaux s'impose pour mieux comprendre la composition de l'appontement flottant.

Les pièces constituant le châssis étant soudées, il est nécessaire d'aborder la notion de soudage, de contrôle des pièces soudées mais aussi d'introduire quelques notions connexes.

On distingue entre l'aluminium de grande pureté, l'aluminium pur et les alliages d'aluminium à base de magnésium, de silicium, de cuivre ou de zinc, dont la principale fonction est d'augmenter la résistance mécanique. Outre les alliages à deux composants, on utilise souvent des alliages ternaires ou multiples. L'augmentation de la résistance mécanique ne s'obtient pas seulement par solidification de cristaux mixtes, mais également par écrouissage ou par durcissement. C'est pourquoi dans les matériaux en aluminium, on fait la distinction entre alliages à durcissement structural et non trempant. Une autre caractéristique distinctive est le mode de traitement : il y a les alliages de fonderie et les alliages de corroyage.

L'aluminium est un élément chimique, de symbole Al et de numéro atomique 13. C'est un métal pauvre, malléable, de couleur argentée, qui est remarquable pour sa résistance à l'oxydation et sa faible densité. C'est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre et le troisième élément le plus abondant après l'oxygène et le silicium ; il représente en moyenne 8 % de la masse des matériaux de la surface solide de notre planète. L'aluminium est trop réactif pour exister à l'état natif dans le milieu naturel : on le trouve au contraire sous forme combinée dans plus de 270 minéraux différents, son minerai principal étant la bauxite, où il est présent sous forme d'oxyde hydraté dont on extrait l'alumine.

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT



Figure 2.1 Bauxite et Alumine

L'alumine est extraite de la bauxite qui est broyée puis attaquée à chaud par de la soude. On obtient une liqueur qui après séparation des oxydes de fer et de silicium, est envoyée dans des décomposeurs pour précipitation de l'alumine. L'aluminium est obtenu à partir de l'alumine par électrolyse dans une cuve comportant un garnissage en carbone (cathode).

L'aluminium métallique est très oxydable, mais est immédiatement passivé par une fine couche d'alumine Al_2O_3 imperméable de quelques micromètres d'épaisseur qui protège la masse métallique de la corrosion. Cette résistance à la corrosion et sa remarquable légèreté en ont fait un matériau très utilisé industriellement.

L'aluminium est un produit industriel important, sous forme pure ou alliée, notamment dans l'aéronautique, les transports et la construction. Ci-après les principaux stades et flux dans la fabrication de l'Aluminium.

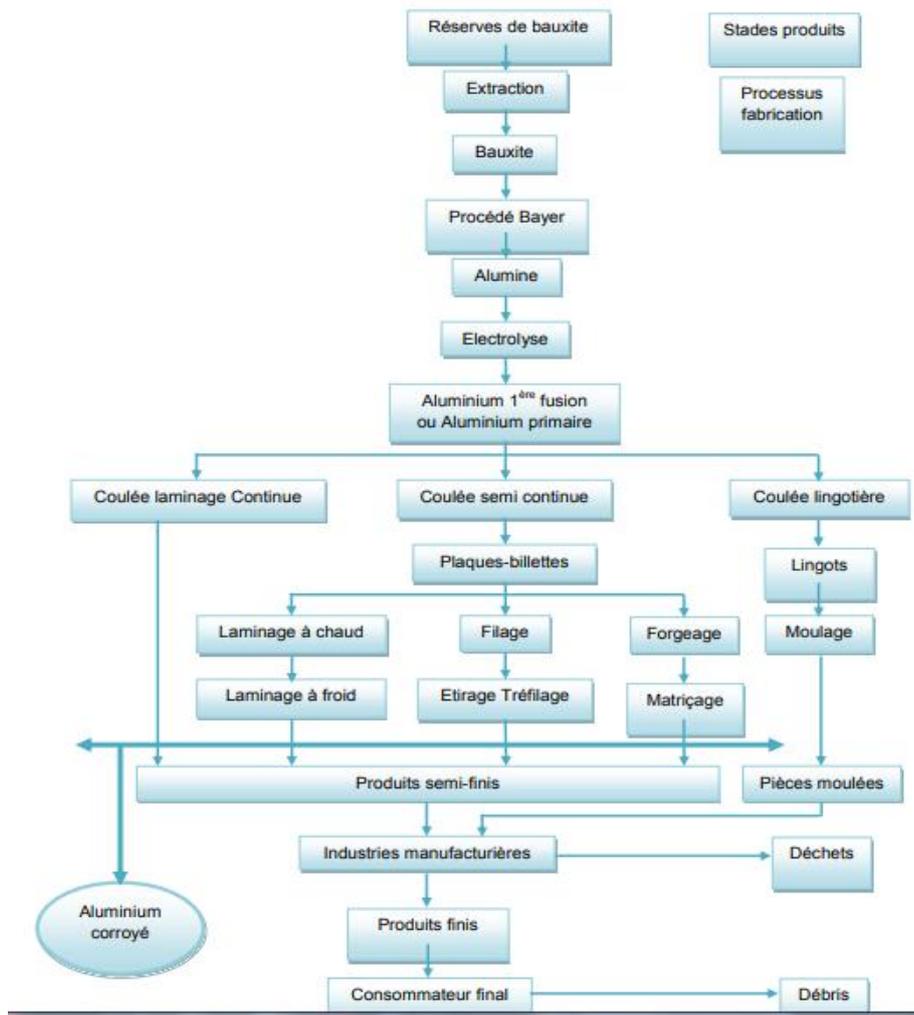


Figure 2.2 : Principaux stades et flux dans la fabrication de l'Aluminium.

2.2 Aluminium

2.2.1 Aluminium non allié

Les propriétés physiques se résument de la manière suivante [4] :

- Numéro atomique $Z = 13$;
- Masse atomique $M = 26.97$;
- Point de fusion : $600\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Structure cristalline : CFC ($a = 0,404\text{ }1\text{ nm}$ à 20°C) ;
- Masse volumique à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: 2700 Kg.m^{-3}
- Coefficient de dilatation :
 - $\alpha = 23,8.10^{-6}\text{ K}^{-1}$ (de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 - $\alpha = 25,4.10^{-6}\text{ K}^{-1}$ (de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $300\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 - $\alpha = 28,7.10^{-6}\text{ K}^{-1}$ (de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $600\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Capacité thermique massique à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: $c = 950\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Conductivité thermique à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: $\lambda = 217,6\text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Résistivité électrique à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: $\rho = 2,63\text{ }\mu\Omega.\text{cm}$

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

La conductivité électrique de l'aluminium est égale à 65 % de celle du cuivre.

2.2.2 Aluminium industriel : (Al ≥ 99,00 %)

2.2.2.1 Influence des impuretés

L'aluminium industriel contient généralement 0,5 % d'impuretés (principalement Fe + Si), mais il peut être obtenu presque pur par raffinage électrolytique (Al ≥ 99,99 %).

Ces impuretés ont des effets différents sur :

- La conductivité électrique : elle diminue avec toutes les additions ou impuretés ;
- D'autres paramètres comme : Ti (0,05 à 0,10 %) et B (0,005 à 0,01 %) qui affinent le grain lors de la solidification, Zr (inférieur à 0,2 %) qui inhibe le grossissement du grain, Si (0,5 à 0,8 %) qui abaisse la tenue à la fissuration à chaud mais augmente la tenue au fluage, Ni et Fe qui augmentent la tenue mécanique à chaud, La somme de (Cu + Ni + Sn + Pb) doit être inférieure à 0,1 % pour augmenter la résistance à la corrosion.

2.2.2.2 Résistance à la corrosion

L'aluminium est fortement oxydable, mais il se recouvre d'une pellicule d'oxyde (Al_2O_3) épaisse, adhérente, qui protège le métal, appelée alumine. Celle-ci n'a qu'une résistance chimique limitée mais résiste cependant bien dans des solutions d'acide chlorhydrique, sulfurique et nitrique.

En revanche, les bases attaquent violemment le métal. Cette protection peut être améliorée par anodisation : il s'agit d'un traitement permettant d'obtenir une couche d' Al_2O_3 épaisse mais poreuse, qui ensuite colmatée par un traitement à l'eau chaude. Cette anodisation a également un but décoratif, car il est impossible d'utiliser des colorants spéciaux avant le colmatage.

2.2.2.3 Propriétés mécaniques

Les propriétés de l'aluminium non allié recuit sont très limitées.

Ainsi pour l'aluminium à 99,5 % :

$R_{p\ 0,2} = 10 - 20 \text{ MPa}$;

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

$R_m = 70 - 80 \text{ MPa}$;

$A \% = 50-60$;

$E = 65\,000 - 70\,000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,36$

La limite élastique de l'aluminium est quasi nulle. Concernant les propriétés mécaniques, elles sont fortement modifiées par la déformation plastique à température proche de l'ambiante.

La figure 2.3 montre l'évolution des propriétés mécaniques en fonction de l'écroutissage :

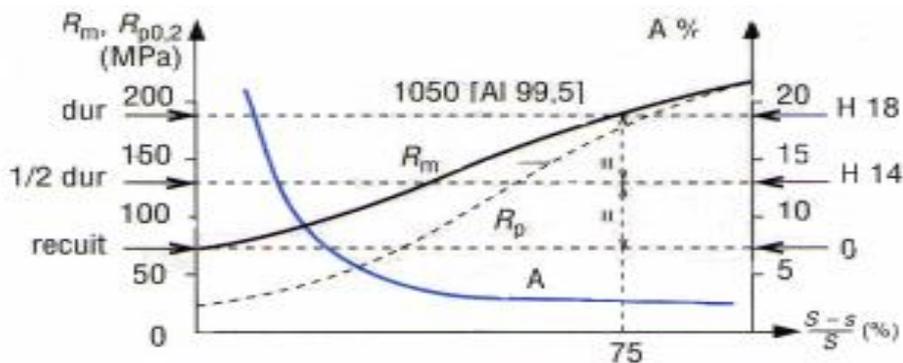


Figure 2.3 : Evolution des propriétés mécaniques en fonction de l'écroutissage [1]

Après écroutissage, le chauffage entraîne des phénomènes de restauration et de recristallisation, mais dans le cas de l'aluminium, ces processus se produisent à des températures basses qui peuvent être proche de l'ambiante pour les nuances les plus pures. Le phénomène de recristallisation est donc important pour l'aluminium.

Les figures 2.2 et 2.3 montrent, en fonction de la température de recuit, l'évolution de la taille du grain (fonction du taux d'écroutissage) et l'évolution des propriétés mécaniques pour Al = 99,5 %. La figure 2.3 montre Les trois domaines de recristallisation selon la taille des grains:

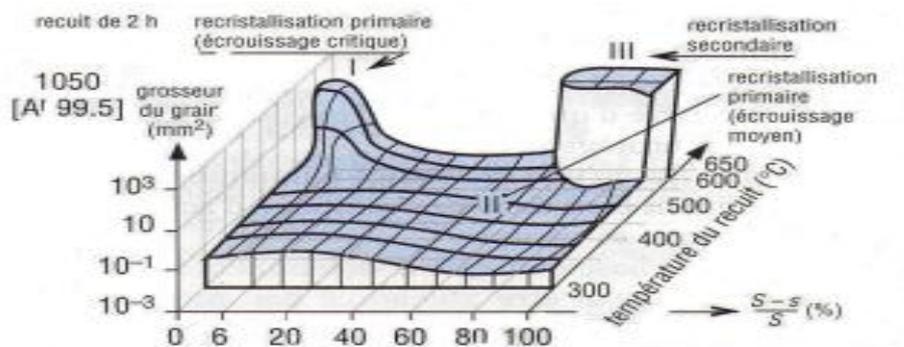


Figure 2.4 : Les trois domaines de recristallisation selon la taille des grains [2]

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

La figure 2.5 montre l'évolution des propriétés mécaniques en fonction du temps de recuit

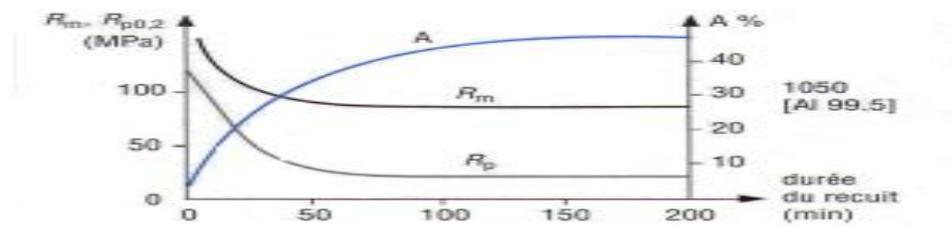


Figure 2.5 : Evolution des propriétés mécaniques en fonction du temps de recuit [1]

2.3. Alliages d'aluminium

L'aluminium non allié ayant des propriétés mécaniques très réduites, on est conduit pour les améliorer à ajouter des éléments entrant en solution solide ou formant des précipités qui entraînent des compositions d'alliages industriels de plus en plus complexes. Cependant ; on peut considérer que ces alliages comportent [5] :

- Une addition principale déterminante pour les propriétés de résistance ;
- Des additions secondaires, en quantité plus faibles, qui ont une action spécifique.

Plusieurs classifications peuvent être effectuées :

- Alliages corroyés et alliages de fonderie ;
- Alliages à durcissement structural et alliages sans durcissement structural ;
- Classification suivant la nature de l'addition principale ;
- Classification suivant les domaines d'utilisation ;
- etc..

2.4. Désignation conventionnelle de l'aluminium et de ses alliages

- **Cas des produits corroyés.** Actuellement, seule la désignation numérique suivant la norme NF A 02 – 104 est légale. Le tableau II.1 donne la correspondance entre la désignation numérique et l'ancienne désignation alphanumérique (utilisée jusqu'en 1975), cela pour les alliages encore commercialisés.

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

• **Cas des produits moulés.** Les normes NF A 57 – 702 et NF A 57- 703, s'appuyant sur les spécifications des normes NF A 02- 002 et NF A 02- 004, fixent la désignation des alliages moulés. Les alliages d'aluminium corroyés sont désignés suivant les normes de l'Aluminium Association des Etats-Unis. Ces normes affectent à chaque type d'alliage un nombre de quatre chiffres qui permet de les classer en séries.

Tableau 2.1: Classement en séries de l'Aluminium Association [3]

Série	Aluminium ou alliage
1xxx	Aluminium pur (teneur en aluminium supérieure à 99,00 %)
2xxx	Alliages Aluminium – Cuivre
3xxx	Alliages Aluminium – Manganèse
4xxx	Alliages Aluminium – Silicium
5xxx	Alliages Aluminium – Magnésium
6xxx	Alliages Aluminium – Magnésium – Silicium
7xxx	Alliages Aluminium – Zinc
8xxx	Autres alliages d'aluminium

Pour les alliages corroyés, une distinction est faite entre les alliages non trempant et les alliages trempant. Ci-après tableau explicatif.

Tableau 2.2 : Méthodes d'amélioration des propriétés mécaniques [4].

Catégorie d'alliages	Méthodes d'amélioration des propriétés mécaniques
Nom trempant	Adition d'éléments en solution solide, présence de secondes phases dispersées, écrouissage
Trempant	Durcissement structural

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

2.5 Subdivisions de l'état T :

La première série de chiffres indique le processus général du traitement thermique ou thermomécanique :

Tableau 2.3 : Produits corroyés : symboles respectifs des différents traitements correspondant à l'état T (état durci par traitement thermiques) [6]

Désignation	Traitements thermiques
T1	Refroidi après transformation à chaud et mûri jusqu'à l'obtention d'une condition stable : s'applique aux produits non écrouis après la trempe.
T2	Refroidi après transformation à chaud, écroui, et mûri jusqu'à l'obtention d'une condition stable : s'applique aux produits écrouis après la trempe.
T3	Traitement thermique de dissolution, trempé, écroui, et mûri jusqu'à l'obtention d'une condition stable : s'applique aux produits écrouis.
T4	Traitement thermique de dissolution, trempé, et mûri jusqu'à l'obtention d'une condition stable : s'applique aux produits non écrouis.
T5	Refroidi après transformation à chaud et revenu : s'applique aux produits non écrouis suivant la trempe.
T6	Traitement thermique de dissolution, trempé et revenu : s'applique aux produits non écrouis après la trempe.
T7	Traitement de dissolution, trempé et sur-revenu : matériau apporté au-delà du point de résistance maximale afin de contrôler une autre propriété du matériau.
T8	Traitement thermique de dissolution, trempé, écroui, et revenu : s'applique aux produits écrouis.
T9	Traitement thermique de dissolution, trempé, revenu, et écroui : s'applique aux produits écrouis.
T10	Refroidi après transformation à chaud, écroui, et revenu : s'applique aux produits écrouis

2.6. Désignation des alliages corroyés.

Les normes affectent à chaque type d'alliage un nombre de quatre chiffres qui permet de les classer en séries.

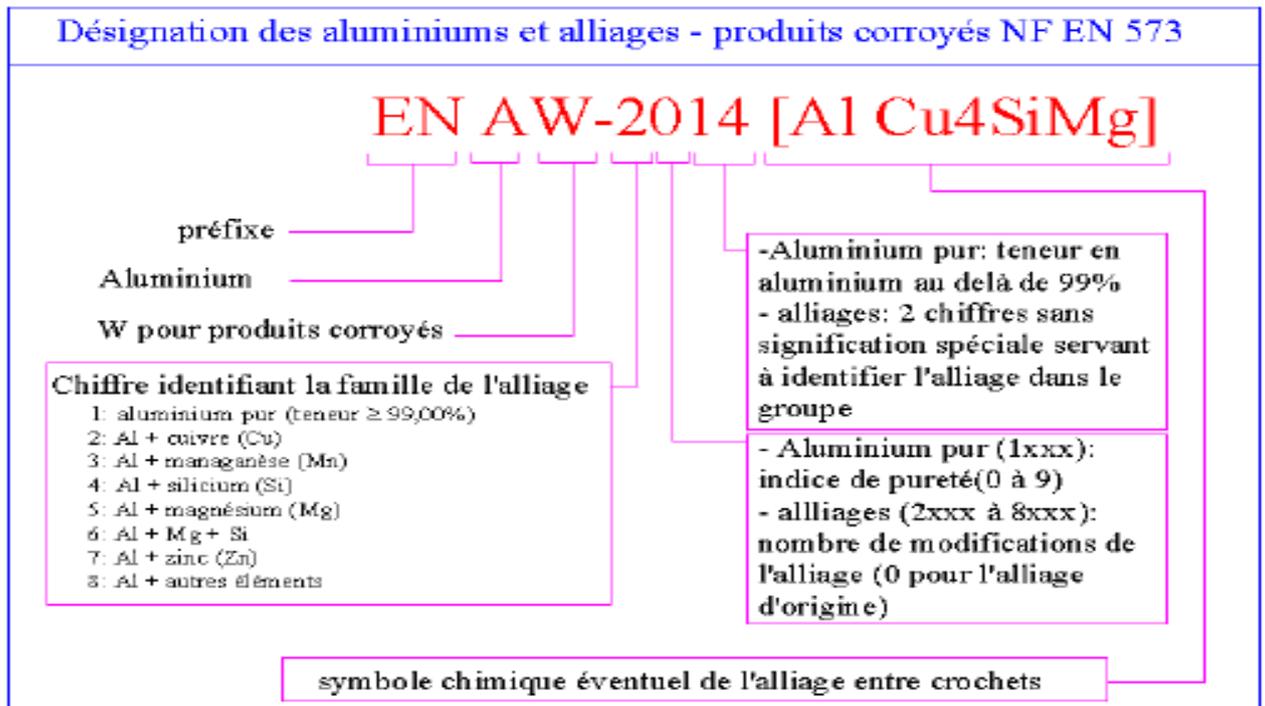


Figure 2.6 Désignation des aluminiums et alliages

Désignation (norme internationale) : elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW comme préfixe (EN pour norme européenne, A pour aluminium, W pour corroyé), éventuellement suivi par le symbole chimique de l'alliage placé entre crochets.

2.6.1 Alliages sans durcissement structural

On s'intéresse aux alliages de la série 6XXX, car les appontements flottants considérés dans notre appartienent à cette série [6].

Alliages aluminium-silicium-magésium (6XXX [AlMgSi], [AlSiMg])

Le durcissement est dû à la précipitation de phases transitoires de Mg_2Si . Les alliages de la série 6XXX ont une très bonne aptitude à la transformation à chaud et à froid, un bon comportement aux basses températures et une très bonne résistance à la corrosion. Mais leur résistance à chaud est limitée.

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

- Alliage du type [AlMgSi] :

Ces alliages ont une teneur en magnésium (0,35-1%) supérieure à celle du silicium (0,25 - 0,8%). Il n'y a donc pratiquement pas d'excès de silicium par rapport à Mg_2Si . Les alliages représentatifs sont l'alliage 6060, qui peut être filé à de très grandes vitesses ($140 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), et l'alliage 6061, qui a de meilleures propriétés mécaniques grâce à des additions de Cu et Cr et présente la meilleure résistance à la corrosion des alliages trempant. Une série d'alliages de cette famille est utilisée pour le transport de l'énergie électrique. C'est principalement la nuance 6101 (Almelec), avec 0,55 - 0,8 % Mg, 0,45 - 0,65 % Si, $Fe \leq 0,3 \%$ et les autres impuretés limitées au maximum, qui est utilisée.

- Alliage du type [AlSiMg]

Dans ces alliages, la teneur en silicium est supérieure à celle du magnésium, et le niveau de résistance mécanique est atteint grâce à Mg_2Si et à Si. Des additions de chrome, de manganèse peuvent améliorer la résistance à la rupture fragile.

Les principaux alliages normalisés sont les alliages 6005 A [AlSiMg0,5], 6081 [AlSiMgMn0,3] ou 6082 [AlSiMgMn0,7].

2.7 Soudage

2.7.1 Définition :

Le soudage est une opération consistant à assembler deux éléments métalliques, par fusion et re-solidification. Il permet d'assurer la continuité mécanique entre les parties à assembler avec ou sans l'aide d'un produit d'apport permettant un meilleur lien entre les pièces. Dans le cas de l'utilisation d'un métal d'apport, ce composé doit avoir des propriétés au moins égales et une température de fusion du même ordre de grandeur que celle des matériaux à assembler.

Les assemblages soudés se distinguent des assemblages boulonnés, rivetés, agrafés, ... par la continuité qu'ils assurent, absence de possibilité de jeu. [7] Ils sont probablement les plus importants, autant en grande série (carrosserie...) qu'en pièce unitaire (cuve de centrale) et nécessitent un apport de chaleur.

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

Les avantages de ces assemblages sont [8] :

- Une excellente rigidité de liaison obtenue par des joints peu encombrants et économiques,
- Une étanchéité parfaite et permanente. Les assemblages soudés sont généralement obtenus par action d'un chauffage local intense dont les conséquences sont de deux ordres:

Les procédés de soudage ci-après figure, sont nombreux et le plus souvent complémentaires les uns des autres. La grande variété de ces procédés de soudage existants peut être classée en fonction de la nature des énergies mise en œuvre. [9]

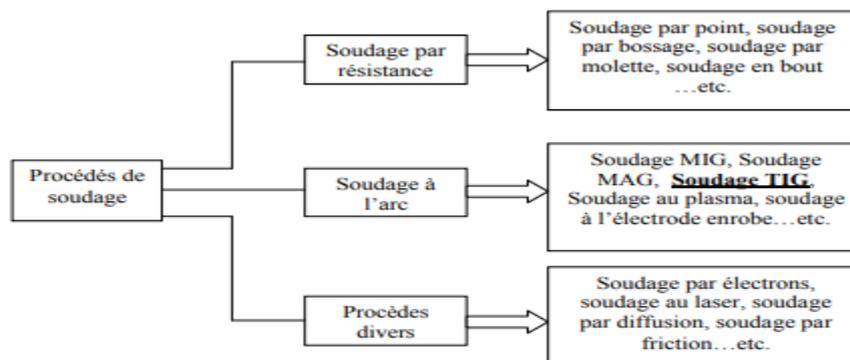


Figure 2.7 : Principaux procédés de soudage.

2.7.2 Contrôle des soudures

On utilise des contrôles non destructifs afin de détecter les défauts pouvant apparaître lors du soudage. Ceux-ci sont de petites dimensions. Vu l'exécution rapide des soudures, l'utilisation des contrôles rapides est exigée et appliquée de la manière suivante :

- Hors ligne (visuel, radiographie, ultrasons, courant de Foucault, ...) ;
- En ligne (analyse du plasma, thermographie infrarouge, visuel par caméra, ...).

Les contrôles destructifs comme la métallographie sont longs et permettent de détecter certains défauts de soudage comme les fissures et le manque de pénétration. Ils ne préjugent pas de la qualité globale de l'assemblage.

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

2.7.3 Procédé de soudage TIG :

2.7.3.1 Définition :

Par définition, le terme "TIG" est l'abréviation de " Tungsten Inert Gas " et sert à désigner le procédé de soudage en atmosphère inerte avec électrode de tungstène aussi appelée "G.T.A.W. " (Gas Tungsten Arc Welding).

Le soudage TIG est un procédé utilisant une électrode pleine non consommable. L'électrode, l'arc et la zone voisine du bain de fusion sont protégés de l'atmosphère par une protection gazeuse inerte. Si un métal d'apport est nécessaire, il est ajouté à l'avant du bain de fusion.

Le soudage TIG produit des soudures de très haute qualité et exceptionnellement propres. Comme il n'y a aucun laitier, les risques d'inclusion de laitier dans le bain sont éliminés et les soudures ne nécessitent aucun nettoyage. Le soudage TIG peut être utilisé pour presque tous les métaux et se prête au soudage manuel ou automatique.

Le soudage TIG est très utilisé pour souder l'aluminium et les aciers inoxydables qui requièrent une qualité très élevée. Il est couramment utilisé pour un travail de qualité dans le nucléaire, la chimie, l'aéronautique et les industries alimentaires [11].

2.7.3.2 Caractéristiques du procédé de soudage TIG

En pratique, le procédé de soudage TIG permet de grandes vitesses de soudage et produit des soudures de bonne qualité et de bel aspect. L'intensité et la vitesse de soudage sont les paramètres les plus importants à contrôler parce qu'ils sont directement liés à la profondeur de pénétration, à la largeur du bain de fusion, et à la qualité du joint soudé. L'intensité affecte également la tension si la longueur de l'arc (distance entre la pointe de l'électrode et le matériau à souder) est fixée.

2.7.3.3 Soudage des alliages d'aluminium :

La notion de soudabilité des alliages d'aluminium n'est pas liée, comme sur les aciers au carbone, au problème de transformation de phase, qui couplé avec l'hydrogène dissous et les contraintes mécaniques, peuvent conduire à une fragilité de la soudure. Leurs critères de soudabilité dépendent, comme pour les aciers inoxydables austénitiques, de la tendance à la fissuration à chaud [12].

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

Le soudage des alliages d'aluminium conduit à des changements microstructuraux. Ces derniers sont liés aux cycles thermiques caractérisés par un passage de l'état solide à l'état liquide et inversement, au refroidissement et aux traitements thermiques qui peuvent être réalisés ensuite. L'amplitude et la durée de ce trajet thermique sont fonction de la distance à la source de chaleur et des conséquences sur le comportement en décolent.

2.8 Matériaux constituant les flotteurs

Les caractéristiques des matériaux composant les flotteurs sont présentées ci-après. Le flotteur est présenté en détail dans le chapitre portant les appontements.

2.8.1 Le polyéthylène.

Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles :

- Le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre. Facilement transformé et soudé ;
- Le PEHD (polyéthylène haute densité).

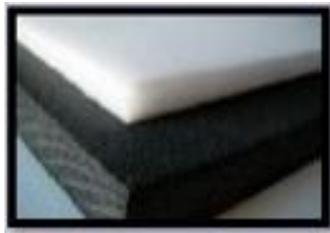


Figure 2.8 Le polyéthylène

2.8.2 Le polyuréthane.

Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères.

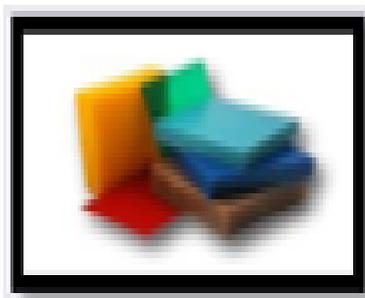


Figure 2.9 Le polyuréthane

CHAPITRE 2 MATERIAUX CONSTITUANT L'APPONTEMENT FLOTTANT

2.8.3 Le polystyrène.

Un des plastiques industriels les plus courant dans la vie quotidienne.

Résistant aux chocs, moins cher, Isolant thermique, imperméable, stable et inerte.



Figure 2.10 Le polystyrène

Conclusion du chapitre 2

L'aluminium, l'alliage de l'aluminium, le soudage TIG, MIG,... et contrôle des soudures sont autant de mots clés très familiers dans le jargon de l'industrie nationale. Maturer l'idée pour engager la réalisation d'appontements flottants, nous semble jouable vu le retour d'expérience que possède nos entreprises d'études et/ou de réalisation.

Une telle action est à notre avis justifiée, d'une part pour répondre au besoin national, et d'autres part, lancer une réflexion à moyen terme pour l'exportation d'une telle technologie.

CHAPITRE 3

APPONTEMENTS FLOTTANTS

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

3.1 Généralités sur les structures flottantes

Dans la première partie de ce chapitre il sera question d'aborder d'une manière générale la notion de structure flottante, (définition, historique, installation, différents types etc...) et les VLFS (Very Large Floating Structure) ou les très grandes structures flottantes ou VLFP (très grandes plates-formes flottantes). Dans la deuxième partie, il est développé les appontements flottants ainsi que toutes les thématiques qui lui sont liées.

La structure flottante est la structure capable de flotter dans l'eau (Structure où le poids complet est soutenu par la flottabilité) [16]. Les structures flottantes peuvent être situées soit près de la côte, ou assez loin en pleine mer [17]

L'origine des structures flottantes sont des maisons qui sont apparues avec nos ancêtres du néolithique, dont on a retrouvé des traces des petits villages lacustres (vieux de plusieurs milliers d'années avant J.C.) de certaines régions dans le monde comme les îles flottantes du lac Titicaca au Pérou [18], se partageaient entre radeaux, abris et habitations sur pilotis comme cela est encore pratiqué aujourd'hui dans plusieurs endroits du monde [19]



Figure 3.1 : île flottante du lac Titicaca

Aujourd'hui, avec l'apparition de nouvelles technologies et méthodes de fabrication, architectes, designers et ingénieurs, ne manquent pas l'idée et font preuve

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

d'originalité pour concevoir des maisons flottantes qui séduisent de plus en plus de personnes pour leur côté novateur et leur relation avec la nature environnante. Aussi, d'autres structures sont réalisées l'on citera celles relatives au VLFS sus citées.

Les plateformes flottantes sont spécialement conçues pour garder une grande stabilité quelle que soit le lieu d'implantation prévu [20].

3.1.1 Structures flottantes, avantages et domaines d'application

Les structures flottantes ont les avantages suivants sur les terre-pleins traditionnels [17] :

Elles sont faciles et rapides à construire ;

- Elles peuvent facilement être déplacées, transportées, enlevées, ou agrandis ;
- Elles sont rentables lorsque la profondeur de l'eau est grande ;
- Leur construction n'est pas fortement affectée par la profondeur de l'eau, le profil du lit de la mer ...etc ;
- Leur position par rapport à la surface de l'eau est constante ; par conséquent, elles peuvent être utilisées pour les aéroports, les quais ...etc ;
- Elles sont plus respectueuses de l'environnement car elles nuisent moins au système écologique, ou à l'envasement des ports profonds ;
- Les structures et les personnes se trouvant sur ces constructions sont protégées contre les chocs sismiques puisque l'énergie de ces chocs est dissipée par la mer ;
- La durée de vie des structures flottantes et des concepts proposées est environ 100 ans de sorte que la structure peut être utilisée pendant une très longue période ;

Par conséquent, le développement de structures flottantes est devenu plus en plus utilisés dans les dernières années pour des applications diverses figures ci-après.

La demande de telles structures a augmenté significativement. Elles peuvent être construites pour créer des aéroports flottants, des ponts, des quais et des

installations de stockage pétrolières. Pour la production d'énergie, les structures flottantes ont été utilisées pour mettre des éoliennes et des centrales solaires photovoltaïques en pleine-mer. Elles sont également utilisées à des fins militaires, ou pour créer un espace industriel, ou des bases d'urgence, mais également des installations de divertissement, des parcs de loisirs, et des structures mobiles offshore et même pour la construction d'habitation.

3.1.2 Applications de VLFS

Les très grandes structures flottantes (VLFS) ont attiré l'attention des architectes, des urbanistes et des ingénieurs, car ils offrent une solution passionnante et respectueuse de l'environnement pour la création de terres à partir de la mer par opposition à la méthode traditionnelle de mise en valeur des terres. Les applications du VLFS comme piles flottantes, hôtels flottants, installations flottantes de stockage de combustible, stades flottants, ponts flottants, aéroports flottants et même les villes flottantes ont déclenché des études de recherche au cours des deux dernières décennies. La technologie VLFS s'est considérablement développée et il existe de nombreuses méthodes innovantes proposées pour minimiser le mouvement hydroélastique, améliorer le système d'amarrage et l'intégrité de la structure du VLFS. Ci-après, le résumé de quelques applications de VLFS au cours des deux dernières décennies [21].

Au Japon

De 1995 à 2001, les Japonais ont construit et étudié les performances du Mega-Float, une piste d'essai flottante longue de 1 km dans la baie de Tokyo, (voir Figure 1) afin de développer et d'étudier la solidité de la technologie VLFS pour une utilisation comme aéroport flottant. La conclusion de l'étude est que VLFS est en effet faisable pour les aéroports flottants, même avec l'exigence stricte que le rayon de courbure de la piste soit maintenu à 30 000 m.

Certaines autres applications du VLFS au Japon sont les bases flottantes de stockage de carburant à l'île de Shirashima et à l'île de Kamigoto (voir Figure 2), et aux quais flottants des ferries au port d'Ujina Hiroshima.

Aux USA

VLFS trouve également des applications en tant que ponts flottants. Ce sont des solutions économiques lorsque la profondeur de l'eau est grande ou le lit de la rivière / fond marin est très mou. Un très grand pont flottant bien connu long de 2013 m est le Lacey V. Murrow Bridge et le troisième pont de Washington sur le lac Washington à Seattle. En plus, le pont flottant récent est celui qui enjambe la crique de Dubaï et mesure 300 m de long.

La barge de science de l'ingénierie durable (figure 7) est construite par le New York Sun Works Center sur la rivière Hudson à Manhattan pour démontrer que l'agriculture urbaine sur une structure flottante est possible sans causer de dommages à l'environnement.

Au Singapour

Singapour a construit la plus grande scène de spectacle flottante au monde à Marina Bay (voir la figure 3) et envisage de construire une méga installation flottante de stockage de carburant (FFSF, voir Figure 4) au large de Pulau Sebarok pour répondre à la demande croissante de capacité de stockage de pétrole. Un tel FFSF peut doubler en tant que bunker cum système d'amarrage pour les navires, soulageant ainsi les embouteillages dans le port de Singapour et diminuant le délai d'exécution des navires.

En Corée du Sud

La Corée du Sud a également lancé un certain nombre de projets VLFS. La construction est en cours pour construire trois îles flottantes (nommées Viva, Vista et Terra) sur la rivière Han pour le divertissement et le Centre des conventions (voir la figure 5). L'équipe VLFS de Samsung Heavy Industries travaille sur une croisière flottante au terminal de Séoul (Figure 6) qui abrite également des chambres d'hôtel et CIQ (douanes, immigration et quarantaine) et un système de quai mobil.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS



Figure 1: Mega-Float, Tokyo Bay



Figure 2: Floating oil storage base at Kamigoto Island



Figure 3: Floating performance stage @ Marina Bay, Singapore

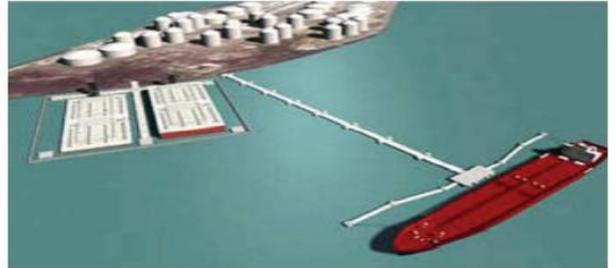


Figure 4: Proposed floating fuel storage facility (Photo courtesy of JCPL)

Figure 3.2 Mega-Float (1. Aéroport, 3. Stade, 2 et 4 bases flottantes de stockage de carburant)



Figure 5: Floating island on Han River



Figure 6: Proposed floating cruise terminal for Seoul (Photo courtesy of Dr S.W. Na, Samsung Heavy Industries)

Figure 3.3 Mega-Float (5. île flottante, 6. Croisière flottante)

L'application de VLFS en tant que fermes flottantes dans les villes urbaines peut également émerger comme une solution innovante pour fournir des terres arables en fournissant de la nourriture à la population humaine croissante, tout en maintenant la croissance de l'intégrité de l'écosystème.

En Norvège, USA, Canada et le Chili

Dans les pays producteurs de saumon comme la Norvège, les États-Unis, le Canada et le Chili, les fermes d'élevage de saumon marin (voire la figure 8) sont construites pour garantir un approvisionnement continu en poisson frais (Per Heggelund, 1989).

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS



Figure 7: Sustainable engineering science barge at Hudson River, Manhattan, USA (source: <http://nysunworks.org>)



Figure 8: Salmon farms at Vancouver, Canada (source: <http://www.democracyinaction.org>)

Figure 3.4 Mega-Float (7. Barge des sciences de l'ingénierie durable, 8. Ferme d'élevage de saumon marin)

La technologie VLFS a également rendu possible de futures grandes habitations humaines à la surface de l'océan. Lilypad flottante Ecopolis (Figure 9), proposée par l'architecte belge Vincent Callebaut, est un exemple d'une proposition visionnaire pour héberger la population de la ville sur une immense île flottante en forme de lys.

Les Pays-Bas

En plus, les concepts de villes flottantes sont donnés dans un article récent de Pernice (2009). Avec plus de la moitié de la superficie des Pays-Bas maintenant sous le niveau de la mer, les Néerlandais ont également proposé le concept d'une ville flottante (Figure 10) comprenant des serres, un centre commercial et une zone résidentielle.



Figure 9: Lilypad floating ecopolis (source: www.vincent.callebaut.org)



Figure 10: Visionary semi-aquatic town in the Netherlands (source: <http://www.resosol.org>)

Figure 3.5 Mega-Float (9. Ville sur île flottante, 10. Ville flottante)

Le développement de structures flottantes est devenu de plus en plus utilisés dans les dernières années pour des applications diverses tel que :

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

a. Les équipements industriels : (les installations de stockage pétrolier, les éoliens, les centrales solaires photovoltaïque en pleine-mer....)



Figure 3.6 Plate-forme pétrolière de Berkut



Figure 3.7 Les éoliennes flottantes du golf du lion



Fig.3.8 : Panneaux photovoltaïques flottants

b. Les équipements maritimes :(les ports, les quais...)

c. Les ponts



Figure 3.9 : Quais flottants port de plaisance de Gibraltar



Figure 3.10 : Le pont flottant de Yumemai, Japon

d. Les équipements de divertissements et de loisirs (parc de loisir, ...)



Figure 3.11 : Îles flottantes de loisir à Séoul

e. Les habitations : (villas, villages...)



Figure 3.12 Villa flottante à Dubaï



Figure 3.13 Appartements flottants en Hollande

3.1.3 Les différentes parties de la structure flottante

Dans ce qui suit, on a considéré une structure flottante concernant un habitat, en référence aux maisons de nos ancêtres du néolithique. Ci-après le principe de la stabilité de la structure flottante mobile :

Les maisons flottantes utilisent tout simplement le principe de la poussée d'Archimède, tout objet plongé dans un liquide est repoussé vers le haut mais cet objet ne flotte que lorsque le poids du volume d'eau qui déplace est plus grand ou égal à son propre poids [22].

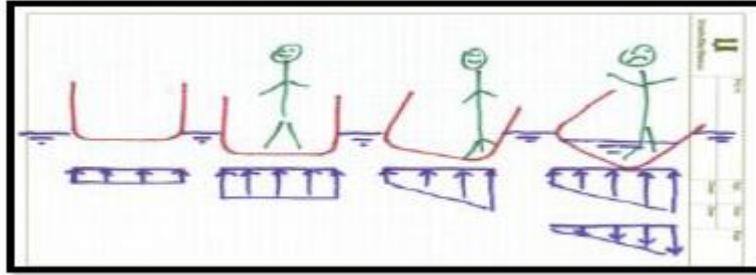


Figure 3.14 Principe de la stabilité de structure flottante [23]

Pour le cas de la maison flottante, cette dernière est composée de deux parties :

a. Partie superstructure (partie habitable)

Qui constitue l'enveloppe du bâtiment, elle est constituée d'une structure généralement de type ossature (acier, bois ...)

b. Partie infrastructure (plateforme flottante)

Elle constitue la partie importante dans la structure flottante elle est soit fixe ou mobile varie selon l'encrage utilisée.



Figure 3.15 : les différentes parties de la structure flottante

3.2 Les différents types de structure flottante.

Il existe deux types de structures flottantes (plateforme), elles se distinguent selon leur fondation utilisée :

- Les structures fixes
- Les structures mobiles

3.2.1 Les structures fixes

La plupart des plateformes fixes sont utilisées en mer peu profonde (<300 m). Ces plateformes s'appuient sur le fond grâce à des pieux. On peut sélectionner trois types de pieux qui se différencient par leurs formes et leurs bases qui sont les suivants :

- Mono pieux
- Gravitaire
- Jacket

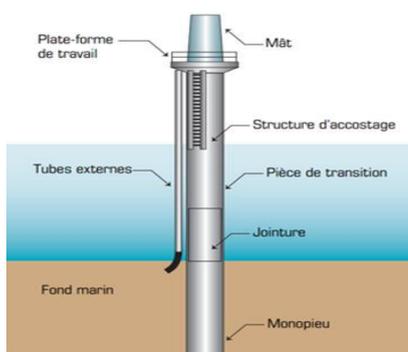


Figure 3.16 Mono pieux

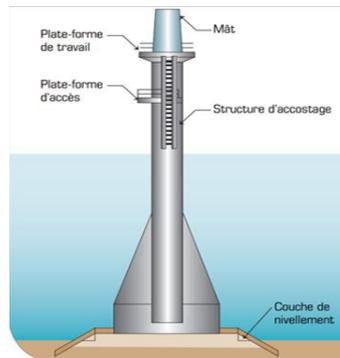


Figure 3.17 gravitaire

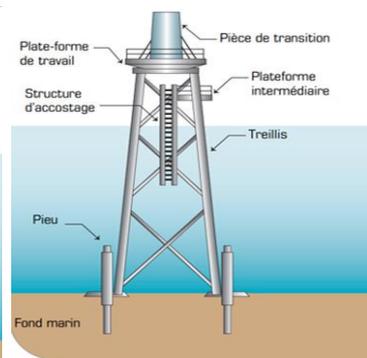


Figure 3.18 jacket

Les plateformes qui s'appuient sur les pieux de type mono pieux sont réputées dans le domaine architectural ou habitables (les maisons, les équipements de loisirs, les restaurant....etc.). Tandis que les plateformes qui s'appuient sur les pieux de types gravitaire ou jacket sont utilisées dans le domaine industriel (les plateformes pétrolières, les éoliennes....).

A noter que, tous types de planchers et de structure peuvent convenir dans cette structure car cette dernière est supportée par des fondations solides et rigide ce qui permet une variation multiple des plateformes et de matériaux.

3.2.1.1 Avantages et inconvénients des plateformes fixes

Les avantages et inconvénients sont cités ci-après :

Avantage : Fabrication et montage facile ; taille illimitée ; et capacité de charge positive.

Inconvénients : Coûteux ; pénétration d'eau sur le pont ; faible mobilité et convient pour les entrées et les baies.

3.2.2 Les différents types de structures mobiles :

Les structures flottantes mobiles ne sont pas soutenues par une fondation solide, mais flotte sur l'eau. Les structures mobiles sont généralement classées comme **pontons** (portées sur les flotteurs) dans le domaine **architectural**, et comme **semi-submersibles** (**SPAR**, **TLP** (Tension Leg Platform) ...etc.) dans le domaine **industriel**.

3.2.2.1 Les plateformes semi -submersibles :

Les plateformes semi-submersibles ont une forme structurelle qui est plus épaisse que leurs homologues pontons et ont été déployés dans des environnements de haute mer. Ils sont conçus avec une bonne stabilité et des caractéristiques de maintien en mer et fixées au fond de la mer à l'aide de câbles d'amarrage ou des attaches. Ils sont utilisés dans le domaine industriel comme : les plates-formes de forage offshore, l'ascenseur lourd grues, les plates-formes de production d'huile, les navires de sécurité, les éoliennes...etc.

Il existe plusieurs types de ces plateformes parmi eux les plus réputés sont :

a. Le Spar :

Un long poteau mince couramment utilisé dans les navires. Ils sont caractérisés par des courants d'air profonds et de longues formes de coque verticales. Leur tirant d'eau profond permet à ces structures de mieux résister, ce qui rend cette coque attrayante pour les opérations pétrolières et gazières en eaux profondes. Ils sont stabilisés par ballast comprend une bouée à longeron avec des ancrages caténaux et des ancrages glissières.

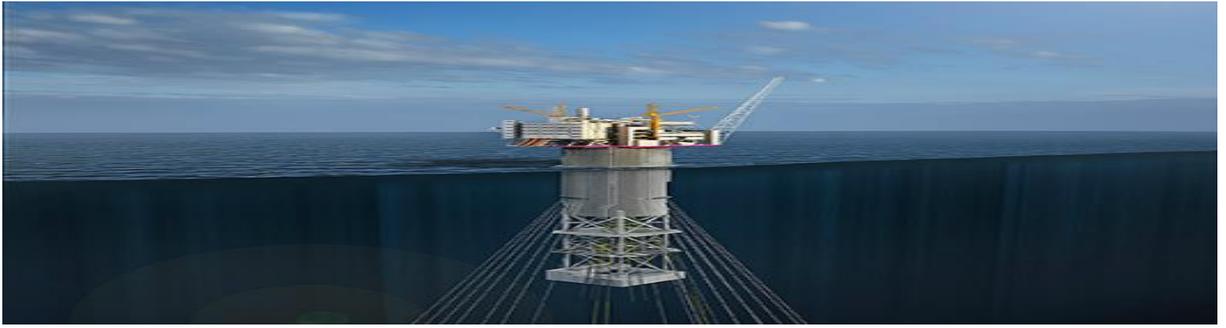


Figure 3.19 : Le Spar

b. Tension Leg Platform

Le TLP est fixé dans le sol par des câbles verticaux tenant la plateforme (utilisent l'amarrage vertical), composée de bouées qui tirent la structure vers le haut.

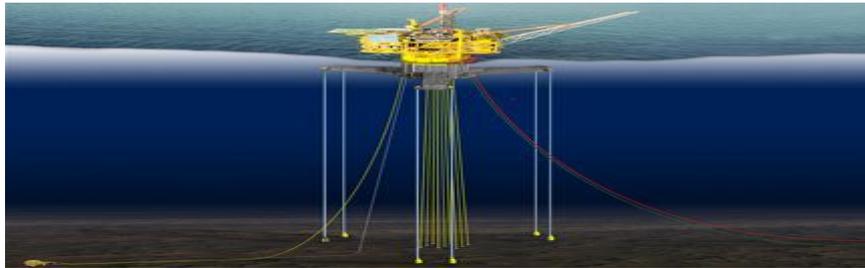


Figure 3.20 : Tension Leg

3.2.2.2 Les pontons

Les pontons sont essentiellement des dalles flottantes qui se caractérisent par leur faible rapport *profondeur/largeur* et sont généralement déployés dans des conditions de mer bénignes, comme dans les eaux adjacentes à la côte, à l'intérieur d'une crique ou d'un lagon où les brise-lames et autres installations de protection sont présents [24].

Ils sont généralement rentables avec de faibles coûts de fabrication et sont relativement faciles à réparer et à entretenir et il représente à la fois la plateforme de l'ouvrage.

Afin de limiter les mouvements latéraux, ils peuvent être ancrés au fond de la mer par l'utilisation de lignes d'amarrage comprenant des chaînes, des cordes, des plombs, des ancres ou des attaches. La pose des pieux est nécessaire pour

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

renforcer la stabilité des pontons dans le cas où plusieurs pontons sont raccordés en longueur.

Les planchers des structures flottantes mobiles sont constitués de deux composantes majeures qui sont : les flotteurs, qui permettent à la structure de flotter sur l'eau, et, la plateforme qui recouvre les flotteurs et représente le palier de la construction.

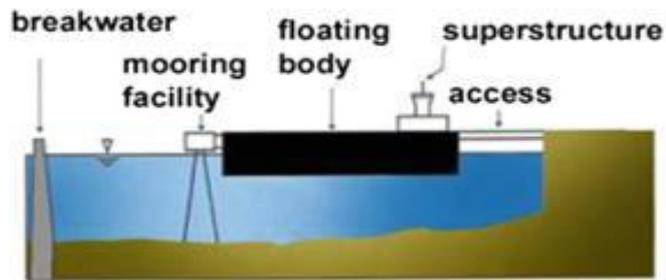


Figure 3.21 : Les principaux composants d'un ponton

3.2.3 Types de plancher de la structure flottante mobile

Tous types de plateformes peuvent convenir à ce type de structure à condition que le poids ou la densité de cette dernière (plateforme) soit inférieur au poids ou à la densité de l'eau pour qu'elle flotte.

Ci-après différents types de planchers et flotteurs :



Figure 3.22 Plancher avec flotteurs hydrodynamique



Figure 3.23 Plancher avec flotteurs cubistes

3.3 Mouvements des structures flottantes

Considérons une structure flottante comme le montre la figure. Cette dernière est sensible aux mouvements de translation et aux rotations dans les trois directions lorsque des charges sont appliquées [25]. Il y a six degrés de liberté, à savoir :

1. Surge : translation dans la direction x (avant et arrière)
2. Sway : translation dans la direction y (d'un côté à l'autre)
3. Heave : translation dans la direction z (haut et bas)
4. Roulement : rotation autour de l'axe longitudinal x
5. Pitch : rotation autour de l'axe y transversal
6. Lacet : rotation autour de l'axe z vertical.

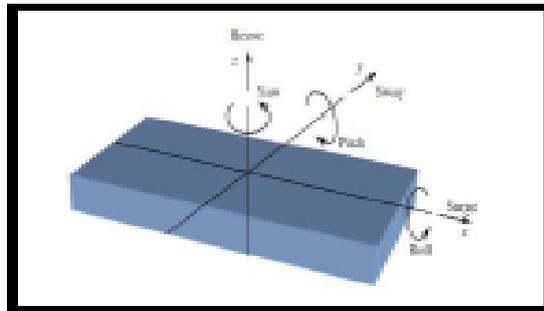


Figure 3. 24 Mouvements dans les trois directions d'un corps flottant

Ces degrés de liberté peuvent être limités par un amarrage approprié.

Lorsqu'une structure flottante est amarrée, le balancement, la montée subite et le lacet de la structure peuvent souvent être négligés. La force de flottabilité agissant sous la structure stabilise les mouvements de soulèvement et les oscillations causées par la gravité et les charges dynamiques. Cependant, des charges et/ou des moments excentriques peuvent provoquer des mouvements de roulis et de tangage dans la structure flottante.

L'un des principaux critères de conception est l'exigence de stabilité statique d'une structure flottante. Lorsqu'une structure est soumise à des charges excentriques et s'incline avec l'un de ses côtés tournants plus profondément dans l'eau, la force de flottabilité opposant agissant pour restaurer la structure dans sa position d'origine. Pour éviter de tels mouvements, on peut éviter une inclinaison due à des charges

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

permanentes en augmentant la profondeur de la structure au point soumis à la charge (augmentation du tirant d'eau de la structure) ou en plaçant des charges opposantes, comme le ballast.

L'inclinaison et la stabilité de la structure peuvent être expliquées en termes de hauteur métacentrique (GM) qui est la distance entre le centre de gravité (G) et le métacentre (M) de la structure comme le montre la figure ci-après.

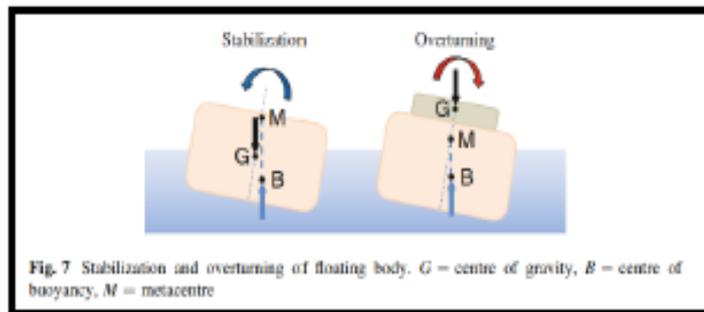


Figure 3.25 : stabilisation et maintien d'un corps flottant

Pour que la structure flottante soit stable, son centre de gravité devrait être en dessous du métacentre et la hauteur métacentrique devrait être grande.

Comme on peut le voir sur la figure sus citée, une hauteur métacentrique négative (c'est-à-dire lorsque G est au-dessus de M) ferait chavirer le corps flottant. Il est donc souhaitable que G soit situé aussi bas que possible, ce qui est décrit comme une stabilité du poids.

3.4 Protection des structures flottantes contre les vagues.

3.4.1 Les systèmes d'amarrage

Un système d'ancrage (ou de maintien en position) est utilisé pour fixer une structure flottante à une jetée ou à un quai en la maintenant en position sous l'action des vagues et d'autres actions dynamiques comme la dérive. L'amarrage empêche les mouvements horizontaux et dans une certaine mesure, les mouvements verticaux. L'effet des systèmes d'amarrage sur le comportement hydroélastique des structures flottantes a été fréquemment analysé. Les conditions d'exploitation et les

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

facteurs environnementaux tels que les vagues, les forces du vent et la profondeur déterminent le type de système d'amarrage à choisir [26].

Ci-après, les différents systèmes d'amarrage pour différents pontons

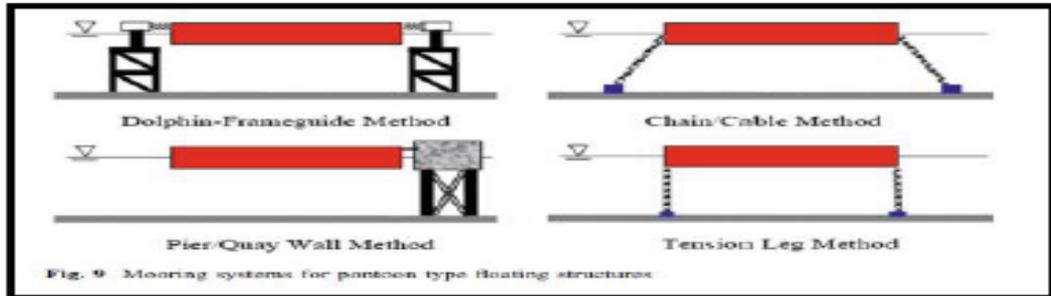


Figure 3.26 : systèmes d'amarrage pour structures flottantes de type ponton

Schéma 1 : Dolphin-Frameguide Method

Schéma 2 : Chain/Cable Method

Schéma 3 : Pier/Quay Wall Method

Schéma 4 : Tension Leg Method

3.4.2 Les digues et brises lames.

Une digue est un ouvrage de protection des structures flottantes contre la houle et les courants. Elle est surmontée généralement d'une dalle en béton qui facilite la circulation sur l'ouvrage. Une digue, selon sa conception, peut être accostable, insubmersible ou partiellement submersible.

Un brise-lames [27] est une construction du type digue, un ouvrage de défense longitudinal des côtes, utile pour la protection des structures flottantes lorsque les conditions de mer sont difficiles. La règle générale pour avoir un brise-lames lorsque la hauteur significative de l'onde est supérieure à 4 m. Il peut être d'un type à fond incliné (monticule), de type vertical, de type composite ou de blocs dissipateurs d'énergie des vagues.

Il existe plusieurs types de brise-lames, voire les figures ci-après :

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

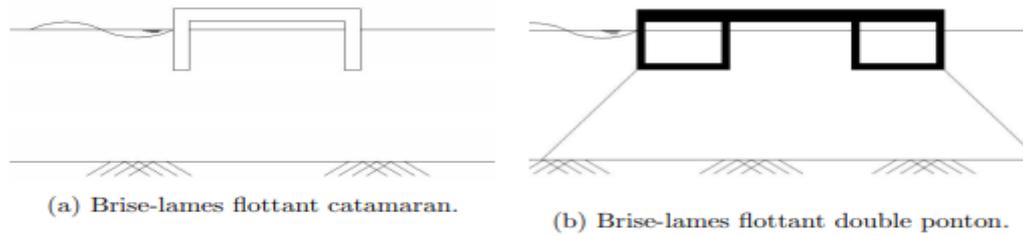


Figure 3.27 : Brise lames flottants pontons

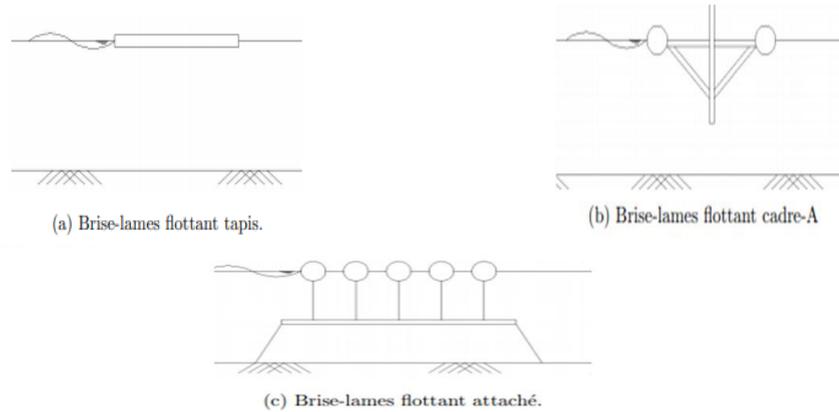


Figure 3.28 : Autres type des brise-lames flottants

3.5 Les appontements flottants

Dans ce qui suit on présentera la thématique portant sur les appontements flottants équipant les ports de plaisance mais aussi dans certaines mesures les ports de pêche. L'appontement flottant est constitué essentiellement d'un châssis en alliage d'aluminium, de flotteurs en polyéthylène rempli de polystyrène et d'un platelage (plancher).

On présentera globalement tous ce qui se rattache à un appontement flottant, soit, les normes de conception, les équipements nécessaires, les dimensions à respecter, les différents ancrages, etc...

Dans de nombreux ports de pêche et de plaisance, le mouillage des bateaux est organisé suivant divers systèmes d'appontements [28], voir figure ci-après, ou pannes qui...

- Règlent la disposition des bateaux dans le bassin ;
- Créent des postes de mouillage individuels ;

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

- Permettent les allées et venues entre la terre et les postes.

Selon la zone géographique, ces systèmes peuvent être installés dans des bassins accusant des variations du niveau de plan d'eau de l'ordre de 13 m maximum. Sous faible marnage et avec des conditions favorables, les appontements peuvent être fixes, mais même dans cette situation, les appontements flottants sont généralement préférés comme c'est le cas sur le littoral Méditerranéen.



Figure 3.29 Appontements flottants

3.5.1 La géométrie des appontements

Les séries d'appontements doivent tenir compte avant tout des sollicitations extérieures et être aménagées perpendiculairement aux directions de vents et/ou de houles dominants [29].

3.5.1.1 Largeur de passage

Concernant la largeur de passage des appontements, elle doit être comprise comme celle permettant la circulation effective des piétons. Elle exclue les zones occupées par les poteaux indicateurs, les bouches d'incendie, les diverses bornes d'alimentation, l'empiètement des beauprés (petit mât oblique placé sur l'avant de

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

certaines bateaux), etc. Tous ces obstacles au passage doivent être pris en compte dès le départ dans la conception d'ensemble.

On peut comparer les largeurs recommandées par quatre normes internationales :

La norme californienne considère comme inconfortable pour les usagers une longueur de passage supérieure à 230 m. Pour les passages situés sur les limites du bassin, la largeur est fixée à 2,4 m lorsqu'ils desservent des passages principaux non dotés d'accès individuels directs aux passerelles, autrement elle indique une largeur de 1,8 m. Cet ordre de grandeur est comparable à celui que proposent les normes australiennes et américaines (ASCE) qui, par contre, font varier cette largeur en fonction de la longueur du passage, trois longueurs étant spécifiquement considérées par l'ASCE (American Society of Civil Engineers), soit 92 m, 184 m et 276 m.

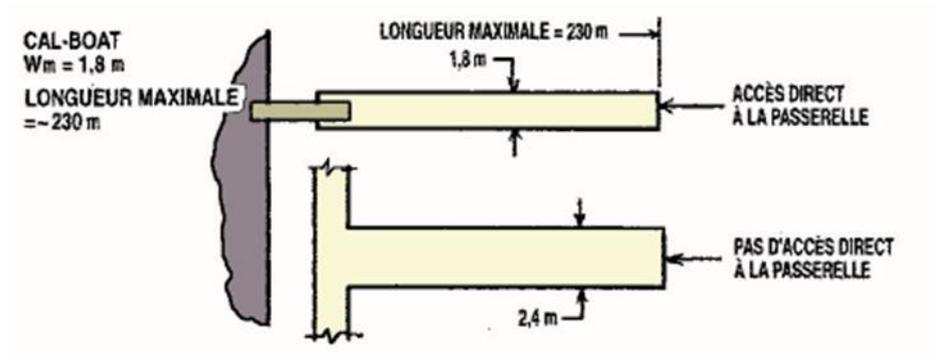


Figure 3.30 CAL-BOAT

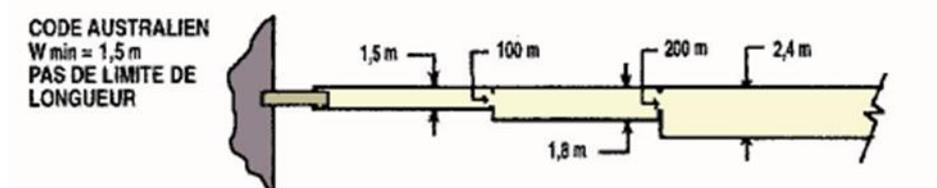


Figure 3.31 CODE AUSTRALIEN

La norme britannique, qui n'indique pas de longueur limite, dimensionne la largeur en fonction du niveau d'utilisation, soit de 2 m à 2,5 m pour une utilisation intensive.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

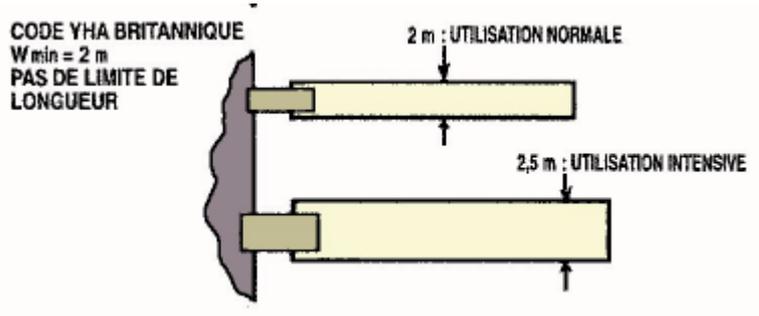


Figure 3.32 CODE YHA BRITANNIQUE

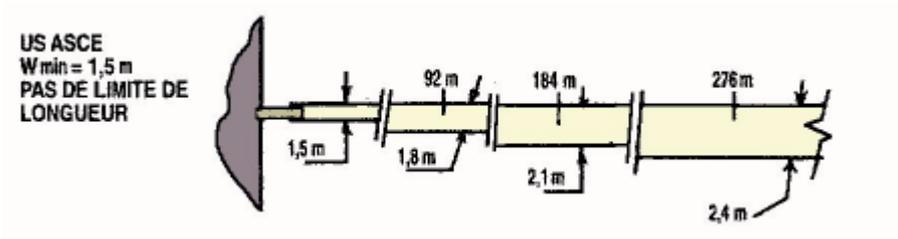


Figure 3.33 US ASCE

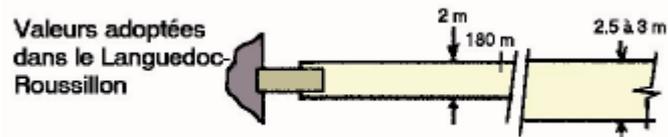


Figure 3.34 Valeurs adoptées dans le Languedoc Roussillon

L'AIPCN, dans un rapport de 1976 [30], adopte la largeur des passages dans les établissements publics comme les théâtres ou les écoles, soit 1 m majorée de 0,70 m par centaine ou fraction de centaine d'utilisateurs.

En outre, pour les appontements de longueur inférieure à 100 m, le nombre de postes est au maximum de 80 avec environ 2 utilisateurs par poste. Étant pratiquement exclu que le nombre d'utilisateurs simultanés sur l'appontement dépasse la centaine, une largeur circulaire de 1,70 m permettant le simple croisement dans de très bonnes conditions serait ainsi suffisante.

Quand, en revanche, la longueur de l'appontement doit excéder 100 m et s'approcher de 200 m, il est souhaitable de prévoir une largeur d'au moins 2,40 m.

3.6 Le franc-bord des appontements :

Le franc-bord est le niveau du ponton "lège" au-dessus du niveau de l'eau. Il est fonction de la catégorie de bateaux utilisant l'appontement, donc adapté à un usage spécifique :

- Ponton réservé à l'aviron : franc-bord de 0,20 m ;
- Ponton destiné aux Pédalos, petites embarcations, etc. : franc-bord de 0,30 / 0,35 m ;
- Ponton pour les embarquements sur des navires plus importants : franc-bord de 0,80 m.

En règle générale, le franc-bord se situe aux alentours de 0,5 m pour les pontons de plaisance.

A noter qu'il est plus facile, pour une personne qui n'a pas l'habitude d'embarquer, de "monter" dans un bateau que d'y "descendre". En conséquence, le franc-bord du ponton sera de préférence inférieur à celui de l'embarcation. De plus, les faces latérales de l'appontement devront descendre assez bas pour pouvoir s'opposer à l'engagement des bateaux sous l'ouvrage.

Les valeurs de franc-bord sont parfois recommandées en fonction de la taille du bateau [30]:

Tableau 3.1 Longueur de bateau (Lht) en fonction du Franc-bord (fb)

Longueur Lht	$Lht \leq 8 \text{ m}$	$8 < Lht < 15 \text{ m}$	$15 < Lht < 25 \text{ m}$	$Lht \geq 25 \text{ m}$
Franc-bord fb	0,60 m	0,80 m	1,00 m	> 1,20 m

Dans un rapport de l'AIPCN [29], les critères de l'ASCE fixent un franc-bord minimum de 0,15 m entre le pied du bâti de l'appontement et la surface de l'eau,

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

mais cette distance doit s'accroître dans les régions soumises à l'action persistante de la houle et des embruns. De plus, ces critères imposent le respect initial, dans une marge de tolérance de 25 mm, du franc-bord indiqué sur les plans approuvés du fabricant et la limitation de la perte de franc-bord par rapport à cette valeur à 25 mm dans l'année qui suit l'installation et à 50 mm cinq ans après (cf. figure ci-dessous).

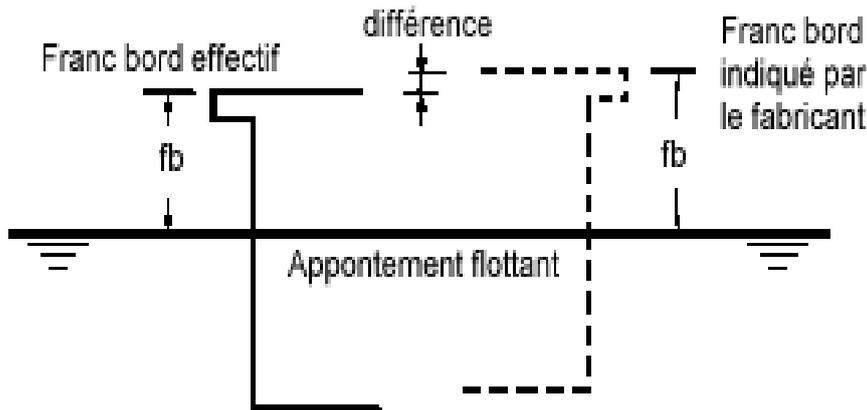


Figure 3.35 Franc bord

Δ = Différence absolue entre le franc-bord effectif et celui du fabricant

Δ_0 = à la réception des travaux

Δ_1 = 1 an après réception

Δ_5 = 5 ans après réception

Norme ASCE 1994

$\Delta_0 \leq 25 \text{ mm}$

$\Delta_1 - \Delta_0 \leq 25 \text{ mm}$

$\Delta_5 - \Delta_0 \leq 50 \text{ mm}$

Une norme californienne CAL-BOAT exige un franc-bord d'appontement flottant en conditions de charges statiques compris entre 0,35 et 0,50 m à partir de la face supérieure de l'appontement.

3.7 Les équipements des appontements :

3.7.1 Les défenses d'accostage et pare-battage :

Un navire approche d'un ouvrage d'accostage avec une certaine vitesse qui lui confère une énergie cinétique. L'accostage s'effectue donc avec un choc qui impose des efforts plus ou moins violents aux ouvrages.

D'une façon générale, on ne peut que recommander l'interposition de défenses permettant d'absorber une part aussi grande que possible, sinon la totalité de l'énergie de choc.



Figures 3.36 et 3.37 pose de défenses

Pour assurer une protection complémentaire de la coque de leur bateau, les plaisanciers peuvent installer des bouées latéralement et/ou dans l'axe du bateau, certaines d'entre-elles sont même adaptables sur le profilé de rive, en superposition de la première défense.

Ces défenses peuvent utiliser divers matériaux :

- Le bois exotique, généralement du même type que le platelage,
- Les thermoplastiques (Ex. le Polyéthylène Basse Densité PEBD) de couleur noir ou sable,
- Le caoutchouc élastomère.

Toutefois, on peut très bien admettre que ce rôle de protection réciproque soit assuré par des défenses mobiles appartenant au bateau. Plus couramment appelés des pare-battages, ces protections suspendues sur les flancs du bateau sont destinées à éviter que les navires ne battent (cognent) contre un ouvrage ou un autre navire.



Figure 3.38 Pose de bouées latéralement aux bateaux

Ils le préservent également du ragage, frottement susceptible de provoquer l'usure ou la détérioration d'un filin qui appuie fortement sur un angle, une aspérité ou une surface abrasive.

Ces pare-battages gonflés sont soit traversés par un cordage, soit fixés à un œil ou anneau renforcé. Ils interviennent dans l'évaluation de l'espace défini entre le bateau et le catway délimitant le poste d'accostage.

3.7.2 Les flotteurs :

Les flotteurs ont pour rôle principal d'assurer la flottabilité du ponton sous les contraintes de charges imposées. Le nombre de flotteurs dépend des valeurs de franc-bords souhaités par le prescripteur, mais également de leurs dimensions : un nombre trop important peut limiter l'écoulement de l'eau sous le flotteur et offrir par la même occasion une plus grande prise au vent.

Les flotteurs peuvent être positionnés soit transversalement au ponton, prenant ainsi toute la largeur de la panne, soit longitudinalement sous la forme d'un catamaran pour augmenter la stabilité. Ils sont généralement fabriqués en aluminium ou en matière plastique.

Les flotteurs en aluminium sont réalisés à l'aide de tôles d'aluminium pliées et soudées, d'épaisseur 2 à 3 mm. Leur inconvénient provient des problèmes de corrosion par l'eau de mer et la proximité des parties métalliques des bateaux (coques, arbres et hélices). En effet, si un courant électrique s'établit entre des métaux de potentiel électrochimique différent et en contact mécanique, il se crée un

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

couple galvanique dans lequel les éléments constitués du métal au plus bas potentiel (zinc ou aluminium) se trouvent attaqués.

Les flotteurs plastiques peuvent être fabriqués suivant différentes méthodes :

- Les flotteurs roto-moulés réalisés en polyéthylène haute densité ;
- Les flotteurs en stratifié polyester, composé d'un mât (fibre de verre), lié par de la résine à un rowing (tissu de verre) et un gelcoat ;
- Les flotteurs en tube de polychlorure de vinyle (PVC).

Malgré l'absence de problème de corrosion, leur étanchéité et leur résistance aux chocs sont moins bonnes que celles des flotteurs aluminium : il s'agit alors d'utiliser un composite polyester renforcé et dont la composition comprend 2 couches de mât encadrant un rowing, et un gelcoat en couche extérieure du flotteur.

Le remplissage des flotteurs s'effectue principalement avec les mousses que sont le polystyrène expansé (PS) enveloppé d'un film polyane, ou le polyuréthane expansé (PUR) à cellules fermées.

3.7.3 Les platelages :

Le platelage représente le revêtement de la partie supérieure de l'appontement. Devant la diversité des matériaux pouvant constituer un platelage, on évitera surtout les matériaux glissants ou susceptibles de brûler ou de blesser les pieds nus.

Avec les années, les plastiques et les composites sont devenus pratiquement les seuls utilisés pour la fabrication des bateaux. Aujourd'hui ils apparaissent dans la conception des platelages par le biais de caillebotis en polypropylène (PP), de plateforme en fibre de verre ou de plaques en plastique recyclé pouvant avoir une apparence similaire à celle des platelages bois.

Ces matériaux ont d'intéressantes propriétés comme la non conductivité, la résistance à la corrosion, ...et présentent des choix de texture (surface

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

antidérapante) et des couleurs multiples parfois incorporées au stade de la stratification afin d'éviter l'application d'une peinture.

3.7.4 Les catways et bras d'amarrage.

Le catway, ou plus généralement la jetée latérale de l'appontement, est le plus souvent un ouvrage flottant apportant un confort d'accès aux passagers par le côté du bateau tout en servant d'ouvrage d'amarrage. La largeur du poste s'en trouve alors réduite.

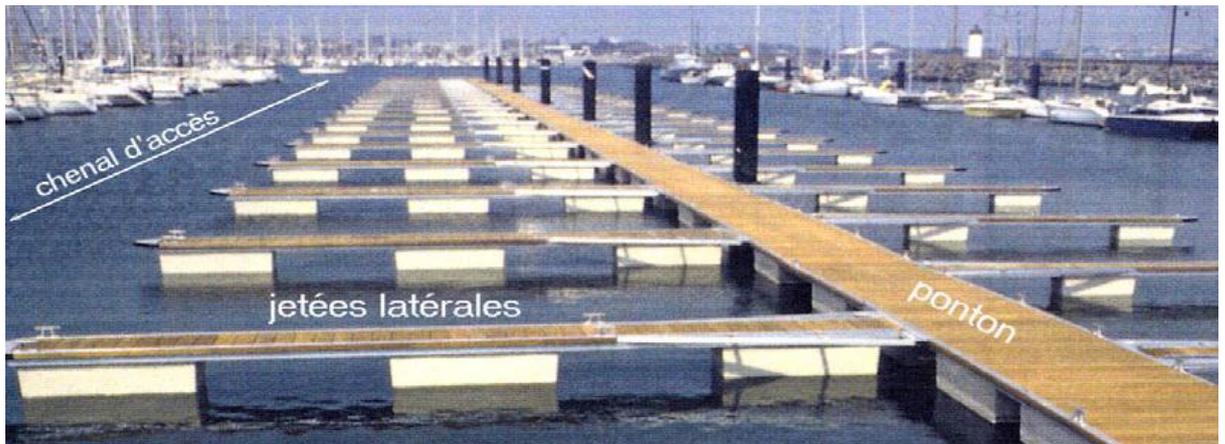


Figure 3.39 Catway ou jetée latérale

On associe généralement un catway par unité de plaisance, la présence de deux catways de part et d'autre du bateau entraînant des frais superflus.

Le "bras d'amarrage" est un cousin du catway à l'exception près que, de par sa conception plus simple, le plaisancier ne trouve son utilité que dans l'amarrage du bateau à son extrémité. Généralement, il est impossible de circuler sur ce type de structure étroite, mais certains permettent parfois le cheminement d'un plaisancier.

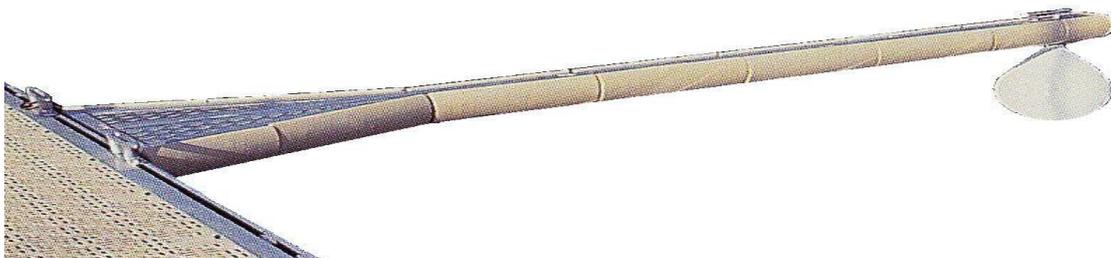


Figure.3.40 Bras d'amarrage

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

Cette solution plus économique que le catway n'a d'intérêt que pour diminuer le coût de l'emplacement. Côté géométrie, les dimensions ne dépassent généralement pas les 6 m de long et 0,30 m en largeur.

Les flotteurs participant à la flottabilité et le platelage du catway sont généralement de même nature que ceux équipant le ponton principal.

3.8 Les passerelles d'accès.

De nos jours, les échelles ne conviennent plus du fait que le plaisancier ou le pêcheur est presque toujours un homme chargé, et qu'elles sont très peu sécurisées. L'intérêt des aménageurs s'est donc porté sur les passerelles, ces structures à pente variable établissant l'accès piétonnier entre une infrastructure fixe et une structure flottante, en l'occurrence les appontements.



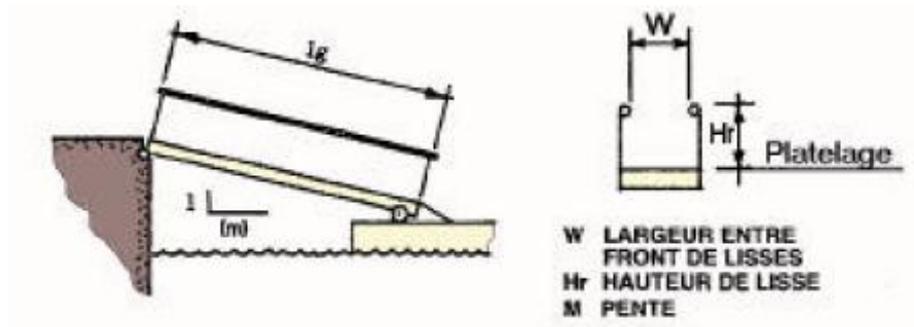
Figures 3.41 et 3.42 Passerelles d'accès

Pour définir les caractéristiques des passerelles, il faut tenir compte du niveau de marnage, ainsi que de la géométrie de l'ouvrage bordant le bassin concerné.

3.8.1 La géométrie des passerelles [29] :

Les largeurs minimales et les pentes maximales des passerelles sont généralement prescrites dans les normes de conception des appontements.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS



Aux Etats-Unis, une révision été en cours pour les adapter à la législation relative à l'accès des personnes handicapées aux infrastructures tant publiques que privées. Les directives provisoires, publiées dans ce cadre, prévoyaient pour les passerelles de ports de plaisance une pente maximale de 12 m sur 1 verticalement, une distance maximale de 9 m entre paliers et une largeur de 0,9 m entre garde-fous.

Comparé à cela, le "guide de conception des pontons de plaisance" [31] recommande dans les mers à marée, un angle inférieur à 30° entre les passerelles et la surface du plan d'eau. Cette pente peut paraître surdimensionnée mais par grand marnage, elle reste pratiquement incontournable pour les plaisanciers, interdisant dans ce cas l'accès à tout autre public.

Dans le cadre des règles de sécurité annexées à un décret de 1990 [32] et applicables aux bateaux en stationnement sur les eaux intérieures et recevant du public, les pentes de passerelles d'accès à la rive sont au plus égales à 10 % admettant, à titre exceptionnel après avis d'une commission de sécurité, une tolérance de 5 % supplémentaire.

Concernant la largeur de passerelle, elle va de 0,7 m lorsqu'elle dessert moins de 20 bateaux (Australie) à 1,2 m, qui semble être la valeur la plus souvent recommandée.

Pour information, dans les installations ouvertes au public (ERP) et d'après un arrêté de 1994 [33], "...la largeur minimum du cheminement doit être de 1,40 m ; elle peut

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

toutefois être réduite à 1,20 m lorsqu'il n'y a aucun mur de part et d'autre du cheminement."

Pour permettre une circulation plus facile lorsque la pente atteint 20 à 30% à marée basse, des lattes doivent être fixées transversalement au platelage. Ces cales-pied peuvent occuper une partie voire toute la largeur de la passerelle, le premier cas permettant aux fauteuils roulant d'y accéder à condition que l'inclinaison de la pente reste faible.

La figure ci-après récapitule les différentes pentes maxi précitées :



Figure 3.44 Récapitulatif des différentes pentes

- Nouveau concept de passerelle :

En juin 1998, la société canadienne Marina Accessibility Products a installé sur le port de "Friday Harbor Marina" sur l'île de San Juan aux Etats Unis le premier concept de transport incliné, combinant passerelle et ascenseur, appelé "Ramp Rider".



Figure 3.45 Passerelle et ascenseur, appelé "Ramp Rider".

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

Ce système d'accès, composé en partie de 4 rails placés sous la forme d'un parallélogramme, permet de transporter des passagers handicapés moteur à n'importe quelles conditions de marée.

Il est conçu pour opérer à un angle maximum de 20° , soit une pente approximative de 1 sur 2,75.

Les longueurs de ces passerelles s'étendent de 8,5 à 36,6 m, la largeur hors-tout étant fixée à 1,80 m. Une seconde passerelle destinée aux autres piétons accompagne généralement cette rampe.

3.8.1.2 Les accès aux passerelles :

Le système de fixation d'une passerelle dépend de son utilisation, des conditions du site et donc du type d'ancrage du ponton support. Il existe en effet plusieurs méthodes de fixation :

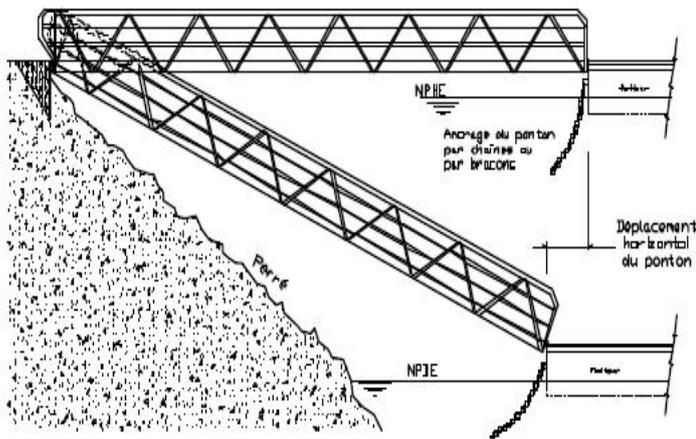


Figure 3.46 Schéma d'une passerelle



Figure 3.47 ancrage d'une passerelle

-La première méthode consiste à matérialiser une charnière horizontale à chacune des extrémités de la passerelle : l'appontement, qui devra se déplacer longitudinalement en fonction des changements de niveau d'eau, ne peut être maintenu que par un système flexible comme les chaînes, voire des bracons dans le cas d'un appontement parallèle à la berge (principe des haltes nautiques). Cette méthode pouvant malgré tout servir de retenue à l'appontement côté quai, la

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

structure peut alors subir une pression considérable due à l'action notable des vagues.

-La passerelle, fixée à l'appontement par une charnière horizontale, est libre de bouger par rapport au quai. La passerelle peut alors être suspendue par des chaînes sur deux mâts latéraux scellés dans un massif en béton ou posée sur le quai par l'intermédiaire de roulettes dans le cas de passerelle courte.

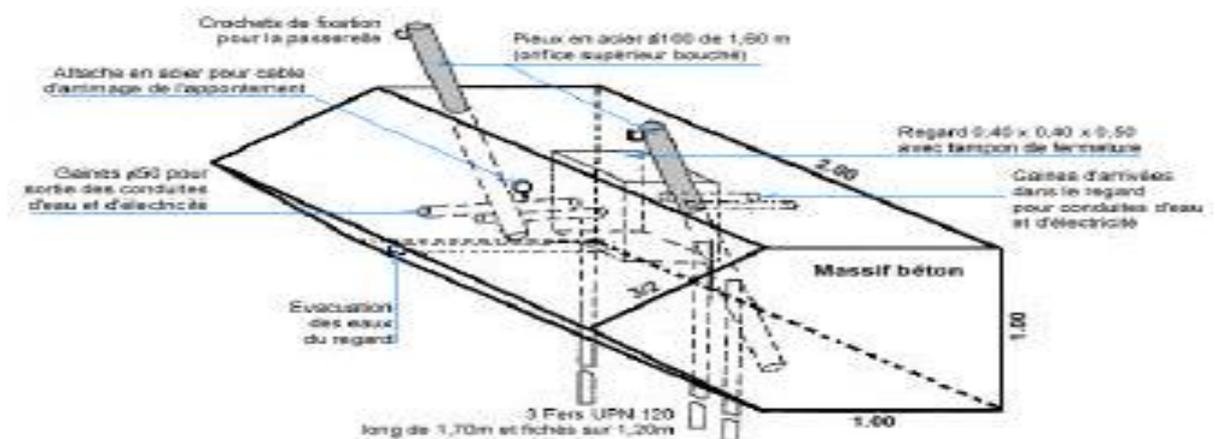
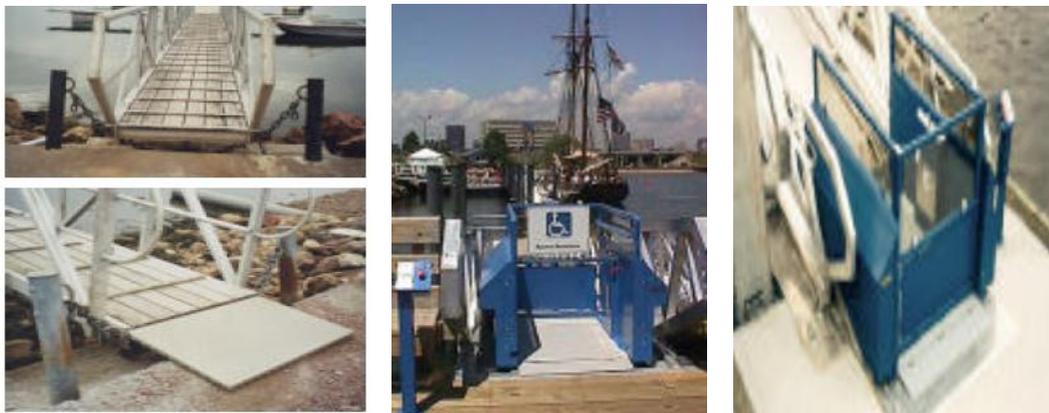


Figure 3.48 Schéma type d'un ancrage de passerelle.



Figures 3.49, 3.50 et 3.51 Combinaison entre passerelles et ascenseurs, «Ramp Rider»

Dans cette configuration, il est primordial de définir la marge de déplacement de la passerelle au vue des positions extrêmes d'inclinaison, ceci afin de bien estimer le retrait de la passerelle vis-à-vis du quai.

-Pour la plupart des installations de passerelles, la fixation côté quai se fait au moyen d'une liaison charnière horizontale, la partie basse étant simplement posée

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

sur la partie supérieure du ponton dans ce cas munie de roulettes. Pour des passerelles courtes, une simple plaque glissante peut suffire.

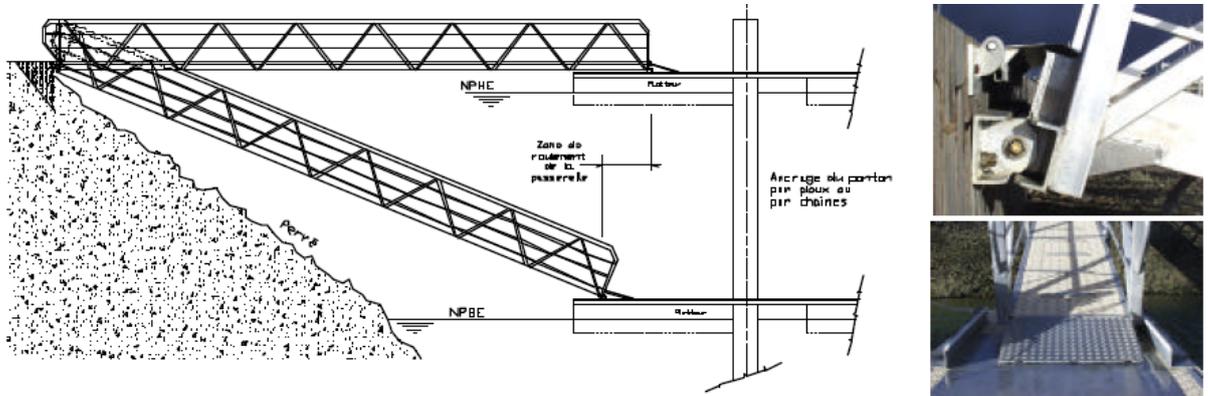


Figure 3.52 Schéma de passerelle et ancrage au quai

La passerelle pouvant avoir tout type de libertés de mouvements dans le plan horizontal du ponton, il est fréquent de trouver des systèmes de glissière aménagés sur le dessus du platelage afin d'éviter un déport latéral de la passerelle trop important (ex. : rails de guidage ci-dessus, axe directionnel ci-après).



Figure 3.53 et 3.54 Rails de guidage et axe directionnel de passerelle

En outre, pour sécuriser l'évolution des plaisanciers qui s'engagent sur une passerelle, des plançons de raccordement peuvent assurer la continuité au niveau des extrémités de la passerelle, supprimant ainsi tout trébuchement éventuel.



de préférence
à ..



Figures 3.55 et 3.56 Passerelles sécurisées

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

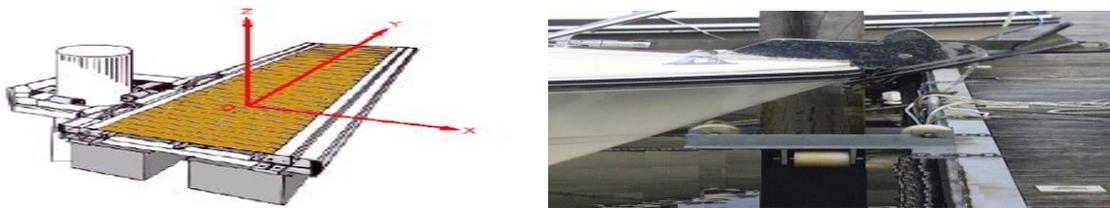
Concernant les accès de passerelle pour ponton flottant, ils peuvent être libres ou se limiter au seul passage de piétons par le biais de chicane amovible.

3.9 Les systèmes d'ancrage des appontements

Comme les conditions de chaque site sont différentes, l'ancrage des appontements est déterminé en fonction de l'emplacement, du type de rivage, des conditions de houles, des marées, des courants, des vents dominants et de la profondeur de l'eau.

3.9.1 Le guidage sur pieux :

Les pieux, qui ont pour but d'interdire tout mouvement horizontal (O,x,y) de l'appontement, sont à proscrire dans les sites soumis à de fortes houles.



Figures 3.57 et 3.58 appontement guidé sur pieux

Il peut s'agir de pieux cylindriques pour la plupart ou parfois de poutres carrées, les matériaux étant généralement l'acier et le bois.

Le nombre de pieux dépend de la situation du port, de la profondeur de l'eau et des caractéristiques géotechniques du sous-sol, de l'amplitude de la marée, de la forme du ponton et surtout des efforts à supporter.

En eau profonde et/ou dans des conditions difficiles, il se peut qu'on ait des problèmes pour donner aux pieux une stabilité suffisante, sans recourir à des pieux très gros et coûteux. La Fédération Française des Ports de Plaisance recommande pour ce type d'ancrage une limite de profondeur d'eau de 15 m environ.

Dans de telles conditions, il vaut mieux recourir à une forme d'ancrage par liens immergés (chaînes ou concepts élastiques) ancrés à des corps-morts.

Pour ce qui est du positionnement des pieux en bordure de rive des pontons, on rencontre parfois des ancrages établis en quinconce. Le problème intervient au

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

niveau du battage des pieux qui pose des difficultés de mise en place (localisation, verticalité). En outre, un alignement de pieux entraîne moins de fatigue pour la structure du ponton.



Figure 3.59 appontement stabilisé par des pieux

3.9.1.1 Les anneaux de guidage ou colliers.

Les pieux peuvent traverser l'appontement dans le milieu du platelage, voire en limite intérieure de celui-ci, mais il est alors nécessaire d'augmenter la largeur de l'appontement pour conserver un passage aisé.

Le principe le plus communément utilisé est la fixation extérieure à l'appontement par anneaux coulissants, munis d'au moins 3 galets polyamide ou polyéthylène haute densité avec axes en inox. On observe généralement les situations suivantes:



Figure 3.60 Anneau de guidage



Figure 3.61 Anneau de guidage à galet



Figure 3.62 Anneau à 3 galets

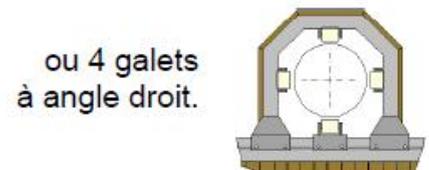


Figure 3.63 Anneau à 4 galets

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

Afin de protéger la structure contre les chocs de bateaux, une défense de même nature que celle du ponton est généralement appliquée sur le périmètre extérieur de l'anneau de guidage.

3.9.1.2 L'entretien des pieux :

La vérification porte sur la mesure de l'épaisseur d'acier des pieux par ultra-sons tous les 5 ans, et la comparaison à l'épaisseur initiale et théorique provenant du calcul du pieu. Le contrôle de l'épaisseur est à soigner dans la zone de marnage.

La durée de vie d'un pieu est estimée à 15 ans, mais dépend essentiellement des mesures prises pour le préserver de la corrosion. Elle doit être estimée lors de la conception par majoration de l'épaisseur strictement nécessaire donnée par les calculs de résistance.

D'un point de vue esthétique, on peut parfois regretter cet aspect "forêt" de pieux à marée basse, mais dans certains cas on ne peut en éviter l'usage.

En accordant les couleurs (blanc ou gris clair), ces pieux d'ancrage peuvent alors se fondre plus facilement au milieu des mâts des voiliers présents sur le bassin.

3.9.2 Le guidage sur rail :

Ce système d'ancrage par rails est généralement aménagé le long d'un mur vertical de soutènement en acier ou en béton, même si celui-ci présente une légère inclinaison.

Il est constitué de poutrelles en acier galvanisé boulonnées au mur de quai. Les profilés généralement utilisés sont du type poutrelles HEA, HEB ou des pieux PH (poutrelles H spéciales dont les épaisseurs d'âmes et d'ailes sont égales).

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS



Figures 3.64 et 3.65 Schéma de guidage sur Rail d'un appontement

Suivant le principe d'une glissière, la structure flottante suit un mouvement ascendant et descendant selon l'axe Oz par roulement sur les poutrelles de deux ou trois galets fixés sur le profil latéral du ponton, voire de simples ergots lorsque le marnage et l'agitation sont très faibles.

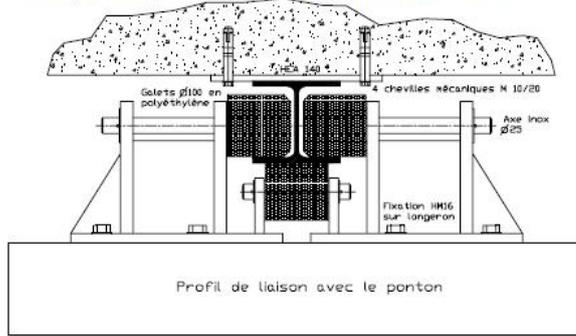


Figures 3.66 et 3.67 Détail de guidage sur Rails

Le ponton pouvant bouger dans le plan perpendiculaire à cet axe Oz, les galets de roulement peuvent s'appuyer sur les ailes, mais aussi sur l'âme de la poutrelle. Côté esthétique, on regrettera parfois le débordement de certaines poutrelles au-dessus des quais.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

Exemple de guidage sur poutrelle HEA 140



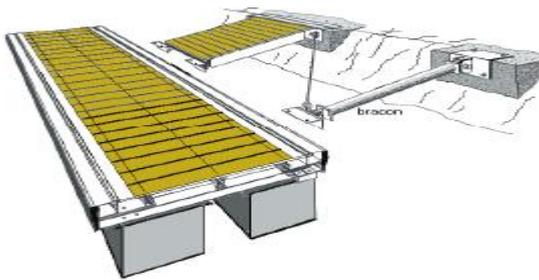
Il est nécessaire de prévoir un jeu entre les galets suffisamment conséquent pour éviter tout blocage de la structure.



Figures 3.68 et 3.69 Schéma et prise de vue d'un guidage sur poutrelle HEA 140

3.9.3 L'ancrage par bracons.

Lorsque le marnage est faible, on peut parfois attacher les pontons à des structures fixes au moyen de bras radiaux ou bracons reliant le quai à la rive, solidifiés et retenus par un système d'élingues de câbles et de tendeurs.



Figures 3.70 et 3.71 Schéma et prise de vue d'une attache par bracons

Ce système est approprié pour des installations longeant un rivage en enrochement, un mur ou autre, s'il est nécessaire d'en éloigner les pontons. Il est couramment utilisé dans les rivières ou canaux, pour des haltes nautiques. En outre, le fait qu'aucun élément d'ancrage n'encombre les fonds facilite d'autant plus les éventuels dragages.

L'inconvénient majeur de ce type d'ancrage est qu'il ne permet l'accostage des bateaux que d'un seul côté. Même lorsque le ponton est fort éloigné de la rive, les bracons en empêchent l'accès.

D'après les recommandations de la Fédération Française des Ports de Plaisance [34], les bracons doivent se limiter à une longueur de 6 à 8 m, et ce d'un point de vue esthétique.

3.9.4 L'ancrage par chaînes sur corps-morts :

Ce type d'ancrage par chaînes et corps-morts peut être utilisé pour des installations simples avec peu de variation de niveau du plan d'eau.

Très intéressant du point de vue investissement et coût d'installations, ce système a l'avantage de ne pas apparaître dans l'environnement visuel. De plus, il peut se déformer par glissement des corps-morts sur le fond et donc être repositionné après d'éventuels désordres.

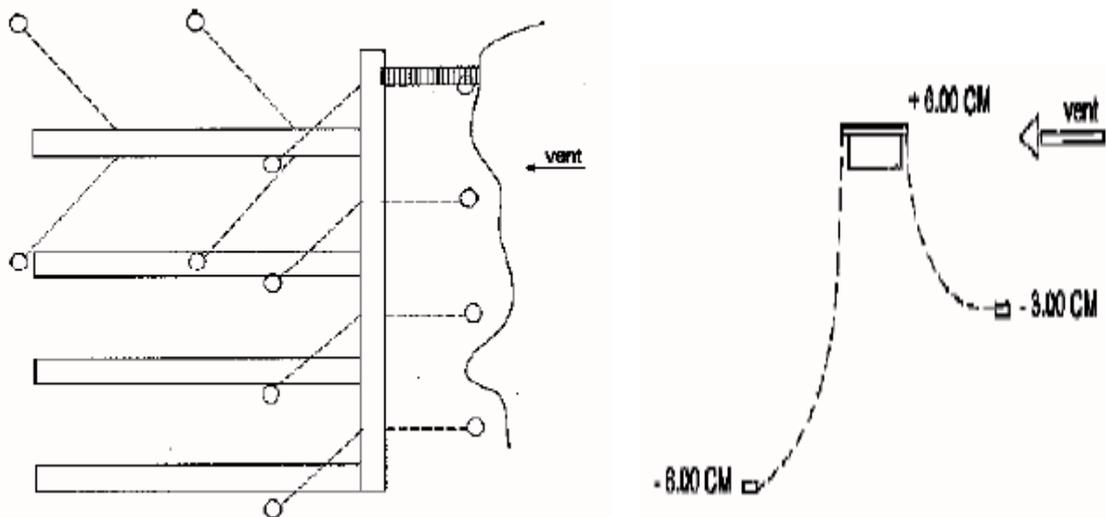


Figure 3.72 Ancrage sur corps mort

En revanche, le réglage de la tension des chaînes sur des fonds chahutés est aléatoire, voire impossible. Dans ce cas, il est très difficile de connaître le rôle tenu par chaque système d'ancrage, certains ne travaillant pas ; on assiste alors soit à une rupture des pontons et/ou des barres d'attache des chaînes, mais souvent à un mouvement des corps-mort.

En l'absence de tempête, les corps-morts ne devraient pas se déplacer, sauf s'ils sont trop légers, non enfouis ou posés sur un fond glissant. Dans ces différents cas, le contrôle de leur position sera fait au moins une fois par an (après l'été) par un plongeur, le corps-mort pouvant être relevé tous les trois ans pour vérification plus complète.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

Le dimensionnement et la justification des dispositifs d'ancrage seront réalisés pour différentes directions de vent en recherchant les ancrages les plus sollicités. Concernant les chaînes, leur remplacement se fera suivant l'état tous les 5 ans si la chaîne n'a pas été entretenue, ou tous les 10 ans dans le cas de regalvanisation ou d'entretien régulier, le remplacement devant s'effectuer lorsque la maille la plus faible ne fait plus que 60 à 75 % de sa section d'origine [31].



Figure 3.73 chaînes croisées côté quai

De manière similaire à l'ancrage côté quai à l'exception des ressorts de mouillage, les chaînes sont généralement croisées sous le ponton avant d'être fixées au bord opposé, ceci afin d'éviter tout contact avec la coque des bateaux.

Mais pour information, au début des années 90, dans le vieux port de Penfoul à Bénodet, un appontement a été détruit à plusieurs reprises suite à des rafales de vents provoquées par un phénomène de Venturi sous le pont de Cornouailles et entraînant un clapot d'environ 1m. Sous la poussée supplémentaire des bateaux amarrés et malgré la présence des catways, le ponton large de 2,35 m et ancré sur corps-morts et chaînes croisées (cf. schéma ci-dessous) s'est soulevé, puis totalement retourné.

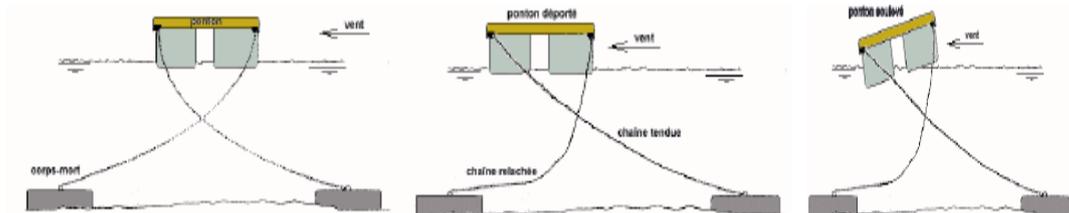


Figure 3.74 Dispositions des chaînes des corps morts

Pour résoudre ce problème, il a été décidé d'une part, de recentrer les fixations des chaînes d'ancrages dans l'axe des pontons passés à 3 m de large, et de

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

décomposer les 130 m d'appontements en deux parties reliées entre elles par une passerelle pour donner plus de flexibilité à la structure, d'autre part. Depuis ce nouvel aménagement, aucun incident n'a été recensé.

L'ancrage sur corps-morts doit être étudié finement car il conditionne, pour une large part, la durée de vie des installations.

Sur un site agité, on aura tout intérêt à multiplier le nombre des points d'ancrage.

3.9.5 L'ancrage par élastomère, cordage sur corps-morts :

Depuis 1981, un nouveau système d'amarrage par élastomère et cordage nylon permet également d'amarrer des équipements flottants tels que les pontons. La composante essentielle du système Seaflex (produit suédois) est un élastomère (1 à 5 brins) fixé à des pièces d'acier inoxydable. Ci-après figure.

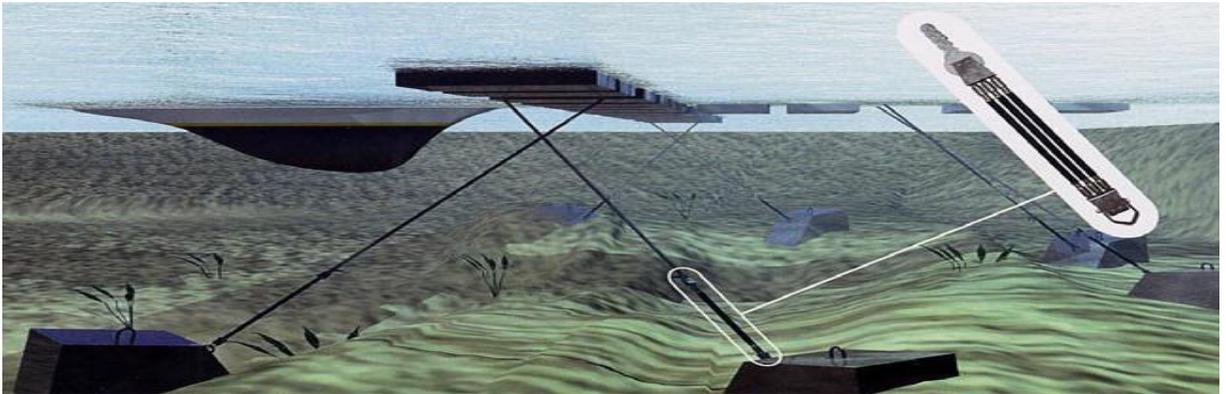


Figure 3.75 Ancrage par élastomère, cordage sur corps-morts



Figure 3.76 Système élastomère

A une extrémité se trouve une pièce plastique sur laquelle est fixé le cordage ($\varnothing 20$ à 28mm), l'autre étant fixée sur un corps-mort ou sur une chaîne-mère par une manille.

CHAPITRE 3 LES APPONTEMENTS FLOTTANTS

D'après le constructeur, la distance horizontale du lien d'amarrage (cordage et élastomère) est approximativement égale à 2 fois la profondeur d'eau moyenne.

Seaflex permet de garder le système d'ancrage du ponton toujours en tension et quel que soit le niveau de marée, l'élastomère présentant des caractéristiques d'allongement de plus de 100 % de sa longueur d'origine.

Conclusion du chapitre 3

Les pouvoirs publics sont invités à poursuivre leurs efforts pour instaurer des textes portant normes de conception et de réalisation des appontements flottants.

Entre temps, il est suggéré d'initier le procédé de conception des appontements flottants dans les programmes des enseignements des écoles et universités. Les bureaux d'études et entreprises de réalisation, sont également invités à développer cette technique dans les travaux de conception et de réalisation.

L'investissement dans la réalisation des pontons est une opportunité pour développer un des sous-secteurs de l'industrie maritime.

Aussi, l'optimisation de nos bassins portuaires de pêche et de plaisance et la récupération de linéaires non utilisés, trouve aujourd'hui la solution avec les appontements flottants.

CHAPITRE 4

CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

**CHAPITRE 4
CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT**

4.1. Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie à suivre pour le calcul et la vérification de la stabilité d'un appontement flottant. Avant cela, il est défini les éléments à disposer dans l'appontement (profils du châssis, diagonales, transversales, taquets d'amarrage, plancher, flotteurs, etc...).

On a considéré l'appontement de type ASE 900, qui a les dimensions suivantes : une largeur de 2,8 m et une longueur de 11,5 m, avec une structure en aluminium avec des flotteurs en béton. Dans le cas où l'appontement est constitué de flotteurs en polyéthylène, il suffit de prendre les caractéristiques y afférents (volume, poids, hauteur, le nombre, etc...) et faire le calcul.

4.2. Présentation de la typologie de l'appontement choisi.

4.2.1 le châssis

Le châssis est élaboré avec des profils en alliage en aluminium, qualité marine 6005 (A-SG0, 5), soudé sous gaz neutre argon par système MIG, tandis que la structure de l'appontement est composée par : ASE 900 [34] :

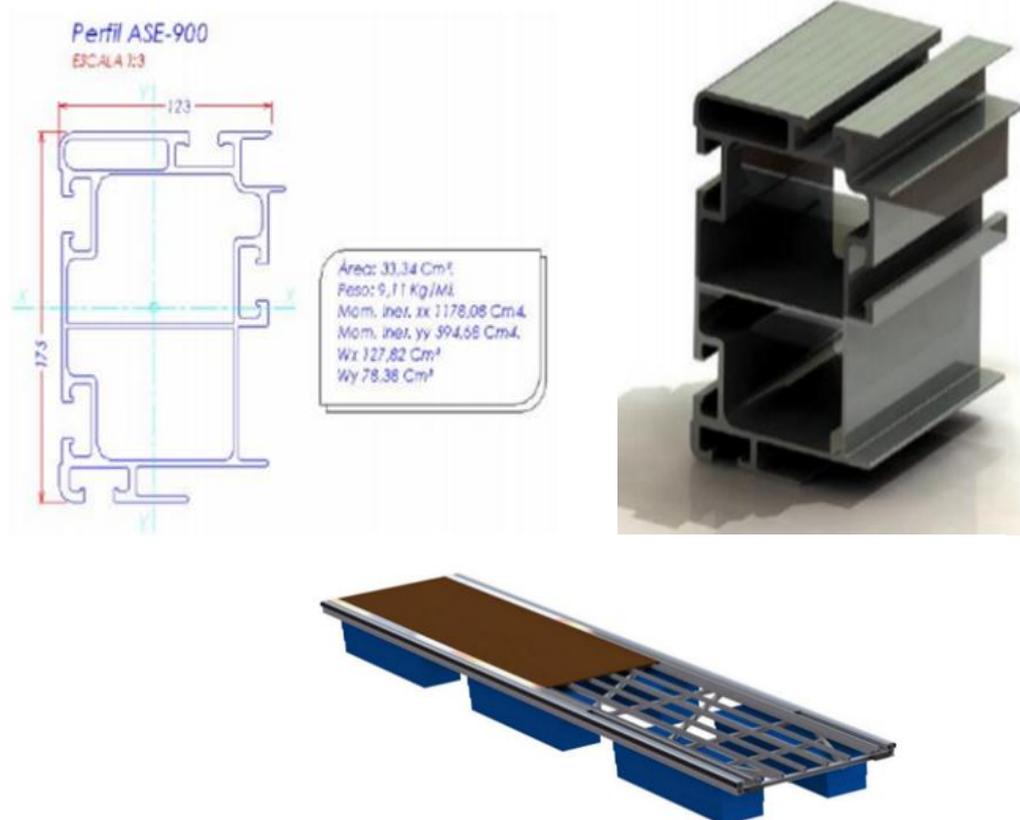
Sur chaque côté latéral de la jetée et au long de la jetée, se trouve un profil de 175 mm de hauteur et 123 mm de largeur, équipé de deux languettes, une languette supérieure pour la fixation du couvercle de la galerie technique, et une autre languette inférieure pour l'encastrement des rebords des flotteurs. En plus, elle a cinq rails type Halfen distribués par son contour pour la fixation des différents accessoires d'ancrage, service, jonctions, etc., sans avoir besoin de soudures ou de trous.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

Les diagonales et transversales formant la jalousie intérieure de la jetée sont construites avec tube 63x63x3. Elles sont soudées et encastrées dans le profil latéral. Des profils en forme de "CLIP" soudés aux transversales attachent les traverses en bois à la structure de la jetée.

Deux profils dans les extrémités en forme de "U" 77x62x6 mm percés au préalable avec une grande section et épaisseur d'ailes, supportent les taquets élastomères qui font la jonction entre modules. Un profil séparateur dénommé latéral de la galerie technique soudé à la structure achève le bois du revêtement et support le couvercle de la galerie technique.

Dans les deux côtés de la jetée et tout au long d'elle, un profil de 129,5 mm de large sera disposé, visé par l'un de ses côtés au profil séparateur et encastré de l'autre côté dans le profil latéral, rendant facile son ouverture pour la visite à la galerie technique. Cette galerie sert à loger les conduites d'eau et électricité qui donnent service à l'installation.



Figures 4.1 Caractéristiques techniques du profile ASE-900 et configuration générale du ponton.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

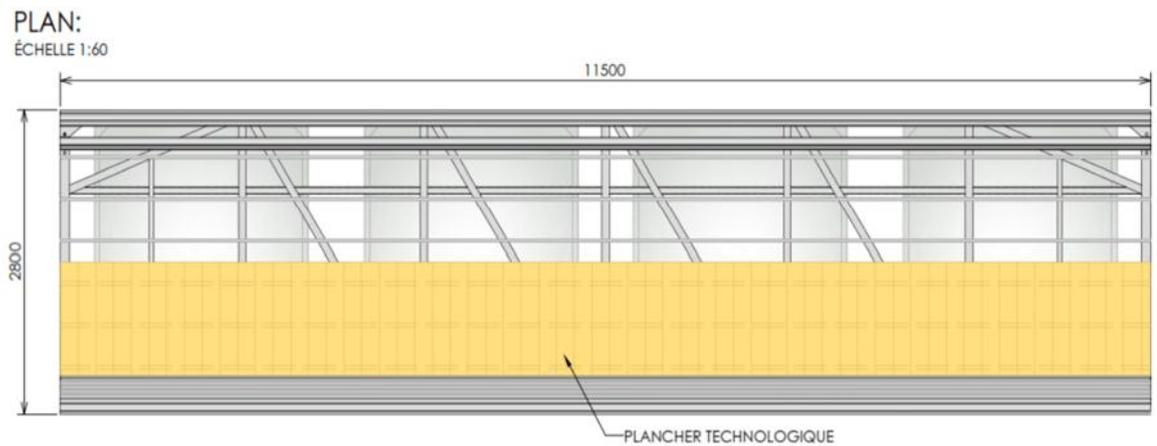


Figure 4.2 Vue en dessus de l'appontement flottant

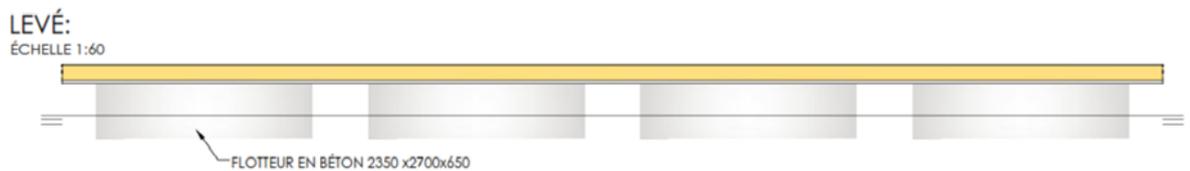


Figure 4.3 Coupe longitudinale de l'appontement flottant

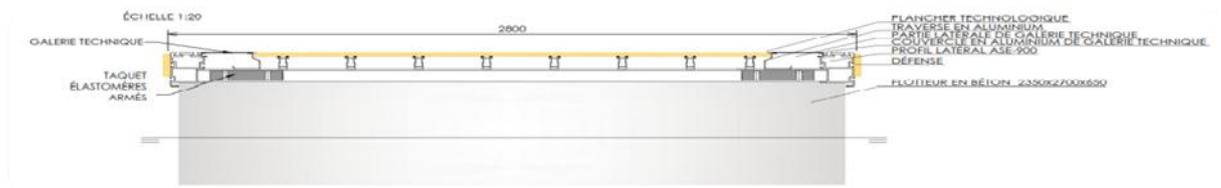


Figure 4.4 Coupe transversale de l'appontement flottant

4.2.2 Revêtement

La chaussée des appontements est constituée par des plaques de revêtement technologique de 145 mm de largeur et 21 mm d'épaisseur avec deux faces pour donner le choix au client, avec des surfaces antidérapantes, polies et rainurées dans la partie supérieure. Ces plaques reposent sur des traverses en aluminium longitudinales qui disposent d'un canal de logement de pièces. La chaussée employée est composée de 30 % de polyéthylène de haute densité et 60 de farine de bois avec 10 % d'additifs et charges. La densité mesurée de ce produit est environ 1200 Kg/m³.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

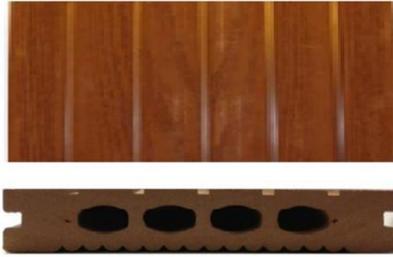


Figure 4.5 Chaussée des appontements

4.2.3 Jonctions entre modules

La jonction entre les modules de l'appontement est réalisée à l'aide des taquets élastomères en caoutchouc fortement armé, de 380 KN (38 t) de résistance à la traction, avec 4 vis et écrou autobloquants en acier inoxydable. Ces taquets font une jonction rigide dans le plan horizontal de l'installation, tandis que le plan vertical permet un virement partiel des barres, donc la transmission de moments entre modules est évitée et de cette façon la structure est libérée de tensions internes inutiles.

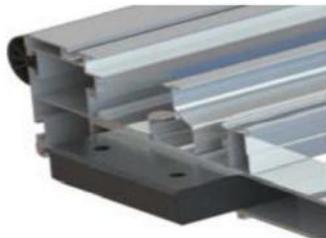


Figure 4.6 Jonction entre module

4.2.4 Visserie et axes

Afin d'éviter la corrosion, la visserie employée dans chaque module de l'appontement est en acier inoxydable, et pour empêcher que les écrous soient desserrés avec le mouvement de l'appontement, des écrous autobloquants impossibles de desserrer sont employés.

4.2.5 Galerie technique

La galerie technique de ce type d'appontement a un couvercle supérieur du même matériau employé pour le reste de la structure. Ce couvercle est pratique et offre l'accès facilement à la galerie technique afin de pouvoir réparer ou installer tout élément de service.

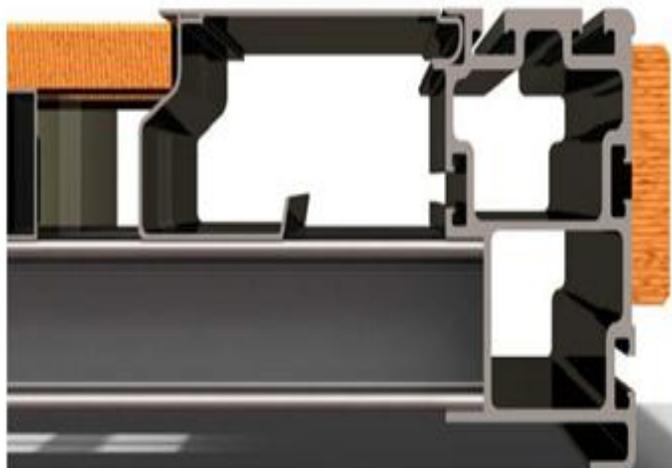


Figure 4.7 Définition de coupe de la galerie de service

La place disponible à l'intérieur de la galerie technique est d'environ 150 cm².

4.2.6 Les taquets

Les taquets sont des éléments construits en fonte d'aluminium norme technique UNE (équivalent espagnol à la norme CEN, Comité Européen de Normalisation) L 2560 moulé.

Elles ont une forme adéquate pour rendre facile l'amarrage des cordages. Les taquets sont placés sur le profil latéral de l'appontement, en rendant facile leur pose en tout point au long du profil longitudinal. Les taquets sont posés par trois vis M16 en acier inoxydable avec écrou autobloquant.

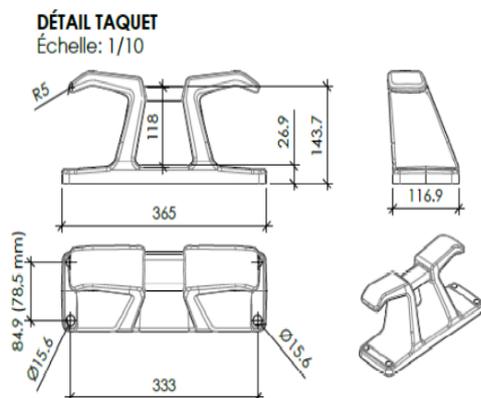


Figure 4.8 Détail du taquet



Figure 4.9 Taquet utilisé

Sur l'appontement, des taquets pour l'accostage des embarcations sont disposés avec la distribution suivante :

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

- Taquet type I avec un tir nominal supporté de 4 t, pour les bateaux de longueur 8, 10, 12, 15, 18 et 20 mètres ;
- Taquet type II avec un tir nominal supporté de 6 t, pour les bateaux de longueur 25 mètres

Autres hypothèses considérées :

- Tirant d'eau : Variable entre 2.5 m à \approx 3 m
- Hauteur de marée météorologique prise en considération 0.8 m.

Le calcul de la stabilité d'un appontement flottant passe par la vérification de la flottabilité, de l'étude de la stabilité et enfin de la vérification de l'angle de gite. Ci-après la note de calcul permettant de vérifier les trois conditions sus citées.

4.3 Etude de la stabilité de l'appontement flottant

Pour vérifier la stabilité de l'appontement flottant, on doit vérifier la flottabilité, la stabilité ainsi que l'angle d'agitation appelé également l'angle de gite.[34]

4.3.1 Calculs de la flottabilité

Pour le calcul de la flottabilité, on doit déterminer la capacité totale de charge, la hauteur totale ainsi que la valeur du franc-bord de l'appontement.

4.3.1.1 Calcul de la capacité totale de charge

Pour le calcul de la capacité de charge on utilise la formule ci-après :

$$4 \times 4.124 \times 1026 = 16925 \text{ kg} \Rightarrow 16925 / (2.8 \times 11.5) = 525.6 \text{ Kg/m}^2$$

- Nombre de flotteurs = 4
- Volume d'un flotteur = 4.124 m^3
- Masse volumique de l'eau de mer = 1026 kg/m^3
- Largeur de l'appontement = 2.8 m
- Longueur de l'appontement = 11.5 m, Surface totale de l'appontement $S=2,8 \times 11,5=32,2 \text{ m}^2$

4.3.1.2 Calcul de la hauteur totale de l'appontement :

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

Pour le calcul de la hauteur de l'appontement, on additionne la hauteur du flotteur et la hauteur de la structure.

$$H = H(\text{Flotteurs}) + H(\text{Structure}) = 650 + 192 = 842 \text{ mm}$$

Le calcul de la section submergé se fait par la formule ci-après :

$$\text{Hauteur de la section submergé } h : h = (Pp)/(L * l * N * \rho)$$

- Pp : poids propre de toute la structure (Kg), (+150Kg/m² dans le cas chargé). (Voir détail de calcul plus bas)
- L : longueur du flotteur = 2.7 m
- l : Largeur du flotteur = 2.35 m
- N : nombre des flotteurs = 4 ;
- H(Flotteur) = 650 mm
- H(Structure) = 192 mm
- Masse volumique de l'eau de mer = 1026 kg/m³.

4.3.1.3 Calcul du franc-bord

Le calcul de la valeur du franc-bord se fait par la soustraction de la hauteur submergé de la hauteur de l'appontement, dans les cas où l'appontement est vide (lège) et dans le cas où l'appontement est chargé.

Franc-bord = Hauteur totale de l'appontement - Hauteur submergé de l'appontement (Dans les deux cas)

$$\begin{aligned} \text{Hauteur submergé (vide)} &= 7029.4 / (2.7 \times 2.35 \times 4 \times 1026) = 0,2699 \text{ m} = 270 \text{ mm} \\ \text{Hauteur submergé (vide)} &= 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hauteur submergé (chargé)} &= (7029.4 + 150 \times 32.2) / (2.7 \times 2.35 \times 4 \times 1026) = 0,455 \text{ m} = 455 \text{ mm} \\ \text{Hauteur submergé (chargé)} &= 455 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Franc-bord (vide)} &= 842 - 270 = 572 \text{ mm} \\ \text{Franc-bord (chargé)} &= 842 - 455 = 387 \text{ mm} \end{aligned}$$

Les valeurs exigées par Guidelines for marina berthing facilities (California Department of Boating and Waterways, 2005). [35]

$$\begin{aligned} 356 \text{ mm} &< \text{Franc-bord (vide)} < 609 \text{ mm} \\ \text{Franc-bord (chargé)} &> 254 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{vérifié pour notre cas} \end{aligned}$$

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

4.4. Étude de la stabilité

Un corps flottant est stable en rotation si son métacentre est au-dessus du centre de gravité, donc pour être stable, il faut que le bras de stabilité « d » soit supérieur à zéro, pour une surcharge de 100 Kg/m².

$D = \text{Volume d'eau déplacé} = \text{Poids total de l'appontement chargé} / \rho_0$

Distance du centre de gravité au centre de flottation « u » : $u = a - b$

a : Distance du centre de gravité à partir de la base.

b : Distance du centre de flottation à partir de la base.

e : $e = I/D$: Distance du méta centre au centre de flottation.

I : Inertie de l'appontement.

d : $d = e - u$: Bras de stabilité.

$$D = 8639.4/1026 = 8.42 \text{ m}^3$$

$$u = 0.681 - 0.227 = 0.454 \text{ m}$$

$$e = 15,418/8.42 = 1.83$$

$$d = 1.83 - 0.453 = 1.377 > 0 \Rightarrow \text{Vérifier}$$

4.5. Calcul de l'angle d'agitation

On cherche à calculer l'angle d'agitation maximal, qui devrait être inférieur à 8° selon les recommandations du R.O.M. (Maritime works Recommendations) [36]. Le Moment de renversement induit par l'exploitation de surcharge de l'axe d'inertie, c'est le moment de force quand un corps (sur un plan horizontal) basculera.

$$M_s = \cos \alpha \times I/4 \times f$$

f : poids de la surcharge

I : la largeur de l'appontement

Moment produit par la poussée de l'axe d'inertie : $M = \sin \alpha \times \overline{GM} \times F$

G : centre de gravité

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

M : Moment métacentre : Point d'intersection de l'axe longitudinal de l'appontement et de la verticale passant par le centre de poussée, lorsque l'appontement est incliné.

\overline{GM} : Distance entre G et M.

F : poids du corps

La limite de stabilité est atteinte lorsque : $M_s = M \sin \alpha \times \overline{GM} \times F = \cos \alpha \times l/4 \times f$

$$\tan \alpha = (l/4 \times f) / (\overline{GM} \times F) \Rightarrow \text{En déduit } \alpha$$

$$\tan \alpha = [(2.35/4) \times 1610] / (1.377 \times 8639.4) = 0.094 \Rightarrow \alpha = 5.37^\circ < 8^\circ \Rightarrow \text{Vérifier}$$

Résultats de la stabilité de l'appontement :

Ci-après une récapitulation des résultats de la stabilité de l'appontement flottant :

Tableau 4.1 Résultats de la stabilité de l'appontement flottant

Franc bord (vide/lège)	572 mm	609 > 572 > 356
Franc bord (chargé)	387 mm	387 > 254
Bras de stabilité	1,377 m	1,377 > 0
Angle d'agitation	5,37 °	5,37 ° < 8 °

4.6. Détail du calcul du poids propre de l'appontement.

Le calcul du poids propre des appontements sera divisé en quatre parties qui sont:

1. Poids propre de la structure en aluminium.
2. Poids propre des flotteurs.
3. Poids propre du revêtement.
4. Poids propre de la défense du quai.

4.6.1. Poids propre de la structure en aluminium

Tableau 4.2 Calcul du poids propre de la structure

Les profils	Poids/ml	MI	Poids
Profil principal	9,11	23	209,53
Tube 63x63x3 transversal	1,87	12,8	23,936
Tube 63x63x3 diagonale	1,87	19,49	36,4463
Profil U	3,45	5,12	17,664
Profil clip	0,79	7,02	5,5458
Galerie technique	1,35	24	32,4
Couvercle galerie technique	1,53	24	36,72

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

Guide de flottaison	1,05	24	25,2
Guide de flottaison	0,94	15,3	14,382
Total			401,8241

4.6.2. Poids propre des flotteurs :

Tableau 4.3 Calcul du poids propre des flotteurs

Type	Surface	Epaisseur	Densité	Poids
Béton	19,26	0,03	2350	1357,83
Polystyrène	6,345	0,65	15	61,86375
Nombre				4
Total				5678,775

4.6.3. Poids propre du revêtement :

Tableau 4.4 Poids propre du revêtement

Revêtement	Volume	Densité	Nombre	Poids
Horizontal	0,00592	1350	80	639,36
Vertical	0,0049	1350	36	238,14
Total				877,5

4.6.4. Poids propre de la défense du quai :

Pour le calcul du poids de la défense de quai, on utilise la formule : $L \times l \times E \times D$, ci-après valeur dans le tableau suivant.

Tableau 4.5 Poids de la défense de quai

Longueur	Largeur	Epaisseur	Densité	Poids
24	0,11	0,02	1350	71,28

Poids total = 401,82 + 5678,77 + 877,5 + 71,28 = 7029,40 Kg

4.7. Calcul du centre de gravité de l'appontement :

Pour le calcul du centre de gravité, on utilise le théorème de Varignon :
On doit pour cela calculer les moments des éléments constituant l'appontement flottant.

$$R \times Y_c = \sum \text{Moment}$$

R : la résultante des forces de toutes les composantes.

Y_c : la position du centre de gravité par rapport à la base.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

4.7.1 Moments des différents éléments

Tableau 4.6 Moments des différents éléments

Eléments	Poids	Bras de levier	Moment
Profil principal	209,53	0,75	157,15
Couvercle galerie technique	32,4	0,71	23,00
Tube diagonale	60,39	0,69	41,67
Profil U	17,66	0,69	12,19
Guide de flottaison	41,27	0,65	26,83
Couvercle galerie technique	35,19	0,8	28,15
Profil clip	5,55	0,76	4,22
Flotteurs	5677,37	0,33	1873,53
Revêtement	639,36	0,81	516,90
Revêtement vertical	238,14	0,77	170,27
Défense	71,28	0,77	54,89
Total	7029,4	/	2923,31

Surcharge = $100 \times 11.5 \times 2.82 = 1610$ Kg

Moment dû à la surcharge = $1.84 \times 1610 = 2962.4$

Moment total = $2962.4 + 2923,31 = 5885,7$

Poids total = $7029.4 + 1610 = 8639,4$

$Y_c = 5885.7/8639.4 = 0.681$ m

4.8. Récapitulation des résultats de la note de calcul :

La vérification de la flottabilité : Franc-bord (vide) = 572 mm et Franc-bord (chargé) = 387 mm

Les valeurs exigées par Guidelines for marina berthing facilities (California Department of Boating and Waterways, 2005). [35]

$356 \text{ mm} < \text{Franc-bord (vide)} < 609 \text{ mm}$ et $\text{Franc-bord (chargé)} > 254 \text{ mm} \Rightarrow$
vérifié

Vérification de la stabilité

Il faut que le bras de stabilité « d » soit supérieur à zéro, pour une surcharge de 100 Kg/m². $d = 1.83 - 0.453 = 1.377 > 0 \Rightarrow$ **Vérifié**

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

Vérification de l'angle d'agitation

On cherche à calculer l'angle d'agitation maximal, qui devrait être inférieur à 8° selon les recommandations du R.O.M. (Maritime Works Recommendations) [36]. Le Moment de renversement induit par l'exploitation de surcharge de l'axe d'inertie, c'est le moment de force quand un corps (sur un plan horizontal) basculera. La limite de stabilité est atteinte lorsque :

$$M_s = M \sin \alpha \times \overline{GM} \times F = \cos \alpha \times l/4 \times f$$

$$\tan \alpha = (l/4 \times f) / (\overline{GM} \times F) \Rightarrow \text{En déduit } \alpha$$

$$\tan \alpha = [(2.35/4) \times 1610] / (1.377 \times 8639.4) = 0.094 \Rightarrow \alpha = 5.37^\circ < 8^\circ \Rightarrow \text{Vérifié}$$

La stabilité de l'appontement flottant est donc vérifiée.

4.9 Principe de vérification et hypothèses de calcul d'un appontement flottant selon la réglementation française.

4.9.1 Vérification à la flottabilité.

D'après le Guide de conception des pontons de plaisance, édité aux Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées sous le timbre du Secrétariat d'Etat à la Mer : "...La flottabilité d'un ponton est à justifier pour un ponton isolé sans catways et bateaux amarrés. Le franc-bord léger pourra être de 0,50 m environ pour un ponton standard de 2 m de largeur. Sous surcharge uniformément répartie de 150 à 200 kg/m² sur la totalité du ponton, le franc-bord devra être de 0,20 m correspondant au maintien hors de l'eau du platelage." [33]. La charge de 150 à 200 kg/m² correspond à une charge d'exploitation normale du ponton, soit 2 à 3 personnes par m².

4.9.1.1 Observations.

La valeur retenue pour la surcharge devra être précisée au niveau des cahiers des charges techniques particulières (CCTP) relatifs à l'acquisition de pontons de plaisance. Une surcharge de 200 kg/m² s'avère être une surcharge très importante, mais sans être trop pénalisante pour le dimensionnement (le critère de gîte s'est avéré beaucoup plus contraignant sur tous les pontons vérifiés).

4.9.1.2 Limites de la note de vérification.

Les vérifications à développer ne seront valables tant que la portance est assurée par les flotteurs, c'est à dire que le tirant d'eau en charge du ponton reste inférieur à la hauteur des flotteurs. En cas de dépassement, c'est à dire quand le platelage est totalement ou partiellement immergé, les formules ne permettent pas de déterminer si le ponton coule ou flotte grâce à la poussée d'Archimède du platelage. De toute manière, le ponton ne saurait être accepté sur le critère de flottabilité.

4.9.2 Vérification à la gîte :

D'après le Guide de conception des pontons de plaisance : "... L'angle de gîte maximal α_0 est de 15° , sous surcharge uniformément répartie de 150 ou 200 kg/m² sur une 1/2 largeur de ponton seul (sans catways, ni bateaux amarrés), le centre de gravité de la charge considérée étant supposé être à 5 cm au-dessus du platelage. Il devra être vérifié la non-immersion du profilé de rive." [33]

4.9.2.1 Observations :

La surcharge et la valeur de l'angle α_0 doivent être précisées dans les CCTP relatifs à l'acquisition de pontons de plaisance. Une surcharge de 200 kg/m² s'est avérée être extrêmement contraignante, les pontons vérifiés étant acceptables avec une surcharge de 150 kg/m² alors qu'ils ne l'étaient plus à 200 kg/m². En l'absence de dispositions réglementaires, il convient donc aux maîtres d'ouvrages de bien préciser dans les CCTP la valeur retenue. L'angle maximal recommandé est de 10° . La non-immersion du profilé de rive était, pour les pontons vérifiés, un critère un peu plus pénalisant que cet angle maximal.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

4.9.2.2 Limites du calcul :

Les formules développées ci-après ont deux limites :

- D'une part, que l'angle de gîte d'équilibre ne soit pas supérieur à l'angle α_1 correspondant à l'immersion du platelage ;
- D'autre part, que ce même angle de gîte ne soit pas supérieur à l'angle α_2 correspondant à l'émersion des flotteurs de la rangée 1.

En cas de dépassement de l'un de ces deux angles, les calculs deviennent extrêmement complexes du fait de la suppression du symétrique des poussées d'Archimède, des déplacements complexes des points d'action des mêmes poussées, et du surenfoncement du ponton qui corrige le déséquilibre des poussées d'Archimède.

Dans le premier cas, il convient de noter que l'immersion du platelage entraîne l'immersion du profilé de rive, ce qui rend le ponton inacceptable.

Dans le deuxième cas, l'émersion des flotteurs entraîne un surenfoncement du ponton par rapport à l'enfoncement obtenu par la note de calcul et une augmentation de l'angle de gîte par rapport au résultat de la feuille de calcul. Dans ce cas, il appartient au maître d'ouvrage de juger au vu des autres paramètres et au vu de l'angle de gîte fourni par le calcul si le ponton est acceptable ou non.

Hypothèses de calcul :

- Le ponton présente une symétrie dans le sens de la longueur par rapport à son milieu ;
- Le non-respect de cette hypothèse rend caduque la présente note ;
- Le ponton est considéré comme infiniment rigide ;
- Les flotteurs sont tous identiques ;
- La surcharge s'applique 5 cm au-dessus de la surface du platelage
- (hypothèse préconisée par le "guide de conception des pontons de plaisance).

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

4.10 Ancrage des appontements flottants :

L'ancrage des éléments sert à éliminer les déplacements horizontaux et verticaux dû aux efforts appliqués sur l'appontement. Plusieurs techniques sont utilisées, pour ce modèle on va choisir un système d'ancrage élastique pour réduire les coûts d'entretien et réduire les risques de brisure.

4.10.1 Caractéristiques dimensionnelles de la flottille de pêche

Selon les données de flottille ci-après et le plan d'amarrage établi, nous considérons les catégories d'embarcations pour le dimensionnement des corps morts à savoir :

Catégorie 1:

Chalutiers :

de longueur : $17.30\text{m} \leq L \leq 20.00\text{m}$,

de largeur : $4.98\text{m} \leq l \leq 6.22\text{m}$

et de tirant d'eau : $2.00\text{m} \leq \text{Tirant d'eau} \leq 3.00\text{m}$.

Sardiniers

de longueur : $15\text{m} \leq L \leq 21\text{m}$,

de largeur : $4.46\text{m} \leq l \leq 6.35\text{m}$

et de tirant d'eau : $1.20\text{m} \leq \text{Tirant d'eau} \leq 2.5\text{m}$.

4.10.2 Caractéristiques du dispositif d'ancrage

Le dispositif d'amarrage est destiné pour les unités de pêche de types sardiniers et chalutiers. Ces embarcations sont amarrées à l'intérieur du bassin. Le dispositif est constitué de corps massifs en béton armé ancrés partiellement et reliés entre eux par des chaînes métalliques. Les unités s'amarreront par l'intermédiaire d'amarre aussière fixée aux chaînes métalliques. Lorsque le poste est libre, il est matérialisé par une bouée en surface fixée à l'amarre aussière. Ce dispositif confère donc aux différentes embarcations une tenue et une stabilité à poste vis-à-vis l'agitation.

Le système est composé de corps morts qui seront fondés et ancrés sur les 2/3 de leur hauteur, pour éviter le glissement de bloc ainsi que pour reprendre les différents

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT
efforts induits par les embarcations (agitation,...) grâce à leur poids propre, au frottement à la base et à la butée développée par le sol sur leur face.

La densité du matériau qui compose le corps mort est critique à cause de la perte de poids que les matériaux subissent une fois immergés.

Vu son faible coût et sa facilité de construction, le béton constitue le matériau le plus couramment utilisé la perte de poids peut être réduite en armant le béton avec des aciers. Sachant que le poids volumique déjaugé de béton armé est de $\gamma = 1.5 \text{ t/m}^3$, le poids du matériau béton immergé est de 60 % de son poids sur la terre ferme soit une perte de 40 %.

4.10.2.1 Dimensionnement du dispositif

Pour les Chalutiers avec les caractéristiques sus citées, On considère pour les calculs les dimensions suivantes :

$$L=20 \text{ m} ; l=6.22\text{m} ; T=3 \text{ m}$$

L'effort vertical maximum sur l'embarcation avec une agitation de 10cm est de $F = [D * K * \sin(i)]$, K étant un coefficient dit de masse virtuelle variant de 1.3 à 2, D est le déplacement de navire, i est l'angle maximum de la pente superficielle.

On prend : $k=1.3$ et $i=4.10^\circ$, On aura alors :

$$D = MD = 20 \times 6.22 \times 3 \times 0.4 \times 1.025 = 153.012 \text{ T}$$

$$F = 153.012 \times 1.3 \times \sin(4.10^\circ) \rightarrow F = 14.22 \text{ T}$$

L'effort vertical revenant à une aussière est de $F_a = (14.22/2) = 7.11 \text{ T}$

En considérant que chaque corps mort reprend 2 embarcations :

$V = 7.11 \times 2 = 14.22 \text{ T}$, sachant que la masse volumique déjaugé de béton armé est de $\gamma_d = 1.5 \text{ t/m}^3$ et avec une majoration de 20% on obtient un poids de bloc

$$W = 40.44 \text{ T},$$

Le volume de ce bloc est de : $V_c = 40.44/1.5 = 26.96 \text{ m}^3$.

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

Les dimensions de ce bloc sont de (2.5 m x 2.5 m x 0.75 m), un volume de $V_c=4.69$ m³ et un poids $w=40.44$ T (dans l'eau) et à sec $w= 60.66$ T. Ces blocs seront ancrés à une profondeur de (2/3) h donc, pour les chalutiers et les sardiniers, la profondeur est de 0.5 m.

Tableau 4.7 Récapitulatif du poids des blocs de corps morts

Embarcations	F(T)	V(T)	Dimensions (mxmxm)	V _c (m ³)	W (T) Poids dans l'eau
Chalutiers/ Sardiniers	14,22	14,22	2,5 x 2,5 x 0,75	4,69	40,44

4.10.3 Vérification vis-à-vis au glissement du bloc.

Pour que le bloc résiste au glissement il faut que la relation suivante soit vérifiée :

$$(H=V \times \text{tg}\alpha) < (W \times \beta) + (0.5 K_p \times 1.1 \times h^2) \text{ tel que :}$$

H : Effort horizontal de glissement.

α : L'angle de l'inclinaison de l'amarre aussière.

B : Coefficient de frottement = 0.6.

K_p : coefficient de butée,

Pour $\phi_{\text{sol}}=37^\circ$ on aura alors $K_p = 3$.

h : la hauteur de bloc, 0.75 m pour sardiniers et chalutiers.

Application numérique de la formule

$$H=14.22 \times \text{tg} (37^\circ) = 10.71 \text{ T} < (40.44 \times 0.6) + (0.5 \times 3 \times 1.1 \times 0.75^2) = 25.19 \text{ T}$$

Conclusion :

La stabilité du bloc vis-à-vis au glissement est vérifiée.

4.10.4 Conditions de réalisation de corps mort

Afin de réaliser des corps morts avec un béton de bonne qualité, il faut que les proportions de ciment, de sable et d'eau soient correctes et que le durcissement se fasse d'une manière correcte. Pour que le béton atteigne sa résistance caractéristique à la compression, il devait avoir un durcissement de 28 jours, le béton doit rester humide en permanence, pour cela, la méthode consiste à le couvrir

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT
de toile de jute maintenue humide. Le durcissement en atmosphère humide permet
de donner au béton une résistance maximale. Le béton est dosé à 350 Kg/m³.

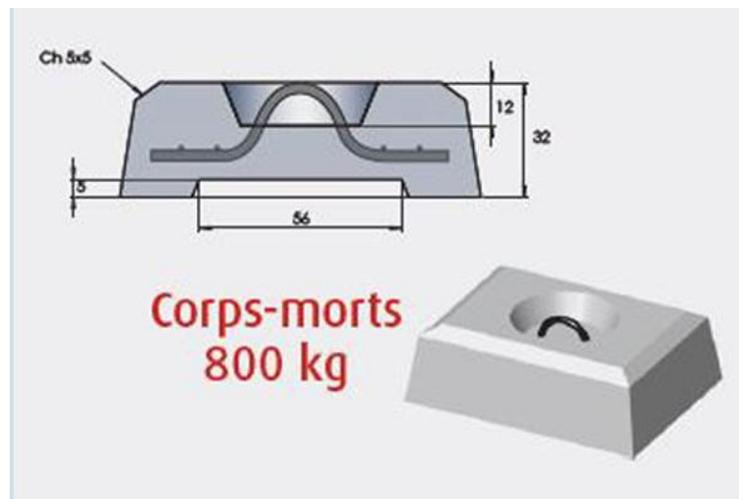


Figure 4.10 Modèle de bloc de corps mort

L'utilisation des armatures permet d'éviter que le béton ne se fissure pas au moment du mouillage et à l'usage. Les armatures considérées seront des HA 12, en ajoutant des cadres transversaux de HA 12/15 cm, ces aciers seront fixés de façon que la structure forme un ensemble d'un seul tenant. Les espaces entre les armatures dans les deux directions est de 15 cm. L'enrobage est au minimum 10 cm afin d'éviter la corrosion de l'acier.

Sachant que le poids d'une barre d'acier par un mètre linéaire est de HA12 est $M = 0.88 \text{ kg/ml}$, il résulte une densité de ferrailage $31.24 \text{ kg} / \text{m}^3$ pour sardinières /chalutiers.

On aura alors :

Pour un corps mort de dimensions (2.5 x 2.5x 0.75) m une quantité d'acier de :
 $31.24 \times 4.69 = 146.50 \text{ kg}$.

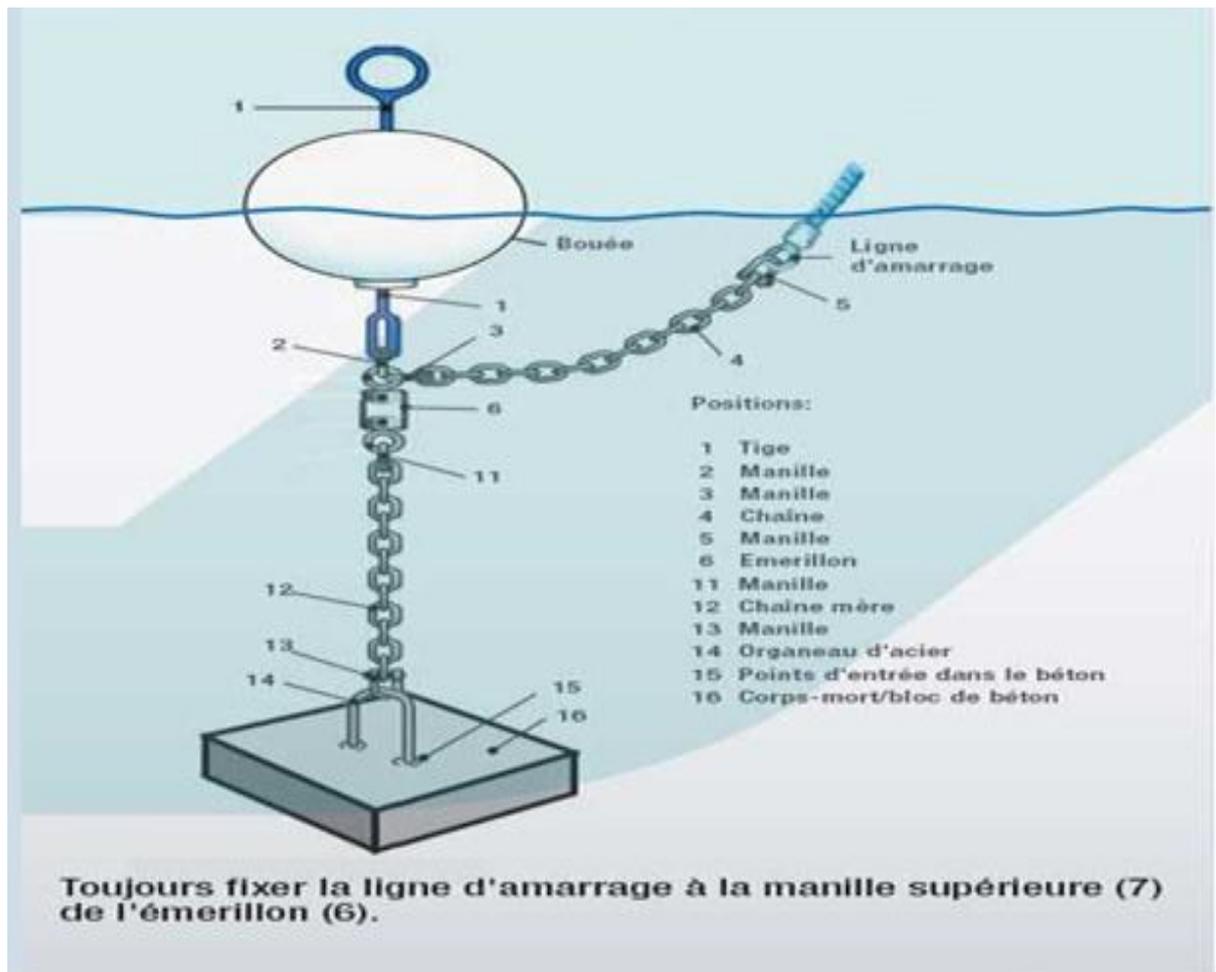


Figure 4.11 Système d'ancrage

4.10.4.1 Coffrage des blocs.

Les coffrages destinés au coulage doivent être suffisamment résistants pour maintenir la forme du bloc et étanches pour éviter toute fuite de laitance et ils doivent être conçus de manière à s'enlever facilement et se démonter et se ranger avant de servir de nouveau.

4.10.5 Equipements du corps mort.

Le corps mort est doté d'organeaux qui constituent le point d'attache et de passage des chaînes métalliques galvanisées d'un diamètre ϕ 26 mm pour les sardiniers et chalutiers.

L'organeau d'amarrage est constitué d'une barre ronde en acier courbé sous forme de « U » avec des retours droits « aile ».

CHAPITRE 4 CALCUL DE LA STABILITE D'UN APPONTEMENT FLOTTANT

La longueur des ailes est de 5 fois plus longue que le diamètre. L'organeau a un diamètre de \varnothing 50 mm, pour les différents corps morts. Ce choix est basé sur des critères de résistance (reprise des efforts) et de durabilité pour compenser la perte de métal due à la rouille (surépaisseur ou réserve statique).

4.10.5.1 Amarre aussière.

- **Caractéristiques de l'amarre.**

Le choix du matériau est une partie intégrante de la conception, étant donné que le système dépend tellement des aussières ; qui sont des cordages, à cause de ses propres qualités (élasticité, poids au mètre linéaire, résistance, durabilité, vieillissement).

Dans notre cas et vue l'environnement, il est approprié d'utiliser un câble synthétique tressé pour amarrer ces embarcations, puisque l'effort se répartit équitablement sur tous les torons, empêchant ainsi toute rupture prématurée. La résistance à la rupture varie pour des cordages de même diamètre en fonction du rapport poids et longueur. Un cordage plus lourd possède une meilleure résistance à la rupture et aux chocs ainsi qu'une meilleure charge d'utilisation. La longueur est déterminée en fonction de la profondeur d'eau à l'emplacement de l'embarcation.

- **Sections des amarres aussières.**

La section de l'amarre est déterminée en fonction de l'effort appliqué majoré et de la contrainte du matériau constituant de l'amarre. Avec une contrainte de 2200 Kg / cm² on aura la section suivante :

On choisit une amarre de 35 mm de diamètre. Avec une densité de 1.14, le poids par mètre linéaire est de 1.096 kg / m.

- **Chaînes métalliques et manilles pour les amarres aussières.**

Sections des chaînes et des manilles :

Le diamètre du rond constituant la chaîne métallique est de $\varnothing = 26$ mm selon la norme recommandée EN-818-2. Le diamètre du rond constituant la manille est $\varnothing = 26$ mm. Il est recommandé d'avoir une chaîne et une manille galvanisée pour les protéger contre la corrosion marine. La charge maximale d'utilisation est de 21 T.

CHAPITRE 5

ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ECONOMIQUE

ENTRE

UN APPONTEMENT FLOTTANT

ET

UN APPONTEMENT EN BETON ARME

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN
APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ
CHAPITRE 5
ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ECONOMIQUE ENTRE UN
APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BETON ARME

5.1 Introduction :

Ce chapitre aborde une comparaison technico-économique entre un appontement classique en béton armé et un appontement flottant en alliage d'aluminium. Dans une première étape, il est présenté les techniques et étapes nécessaires pour la conception d'un appontement flottant, ensuite, celle concernant un appontement en béton armé.

Cette présentation concernant les différentes manières de réaliser (volet technique) permettra de comprendre et de voir les techniques de réalisation des deux variantes afin de donner une appréciation sur la comparaison technique.

Aussi, une présentation des prix des 02 appontements sera exposé. Les prix émanent d'entreprises spécialisées dans le domaine. Là également, les structures des prix des deux appontements, permettront de montrer la comparaison économique.

Un prix d'une troisième variante est donné, il s'agit d'un appontement flottant en acier.

5.2 Techniques et conception d'un appontement flottant

Pour la réalisation de l'appontement flottant, le bureau d'études supervise les étapes ci-après citées. A chaque étape le bureau d'étude instruit le service concerné pour entamer la tâche qui lui est rattachée.

Pour le cas du prototype de l'appontement flottant réalisé en Algérie, le prototype est constitué d'éléments suivants, ayant les dimensions (longueur 6 m et largeur 2,5 m) :

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

- 1 structure en profilés aluminium 6005 AT6 ;
- 10 flotteurs PE 2448-20 ;
- 2 taquets d'amarrage 2,5T ;
- 2 taquets d'amarrage 5 T ;
- Chaines d'ancrage ;
- Corps mort ;

5.2.1 Etape 1 : collecte de données

5.2.1.1 Type et caractéristiques des bateaux (données flottille) :

- Longueur ;
- Largeur ;
- Tonnage ;
- Franc-bord ;
- Et tirant d'eau.

5.2.1.2 Récolte des données du site :

- Levés bathymétriques et nature des fonds ;
- Agitations ;
- Houles ;
- Direction des vents ;

et autres données nautiques ;

- Configuration du plan d'eau et ses caractéristiques ;
- Autres données complémentaires fournis par le donneur d'ordre.

Toutes ses données sont intégrées dans un programme informatique de calcul de résistance des structures appelé appelée note de calcul sous « Advance design ». Pour calculer les efforts d'accostage.

Lorsque la note de calcule est réalisée, on détermine alors les types de profil de rive ainsi que le nombre et la section des traverses et diagonales à utiliser.

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

5.2.1.3 Etude de prédimensionnement du dispositif d'amarrage

- Modélisation sous « advance design » ;
- Hypothèses de calcul ;
- Etude des éléments mécaniques ;
- Principe du dispositif d'amarrage ;
- Ligne d'amarrage (dispositif chaîne mère -chaîne fille) ;
- Action du vent sur le navire ;
- Coupe type de l'ouvrage ;
- Recommandation pour le dimensionnement d'une ligne de mouillage ;
- Valeur numérique des efforts appliqués aux bateaux ;
- Valeur numérique de l'effort résultant sur l'amarrage ;
- Déterminer la résistance des chaînes d'ancrage en fonction de la vitesse du vent et de la longueur des bateaux ;

5.2.1.4 Vérification de la stabilité de l'appontement

Pour la vérification de la stabilité de l'appontement la vérification des éléments ci-après cités, s'impose.

- Résistance des sections ;
- Stabilité des éléments ;
- Effort appliqué sur l'appontement ;
- Surcharge due aux éléments d'accostage ;
- Poids du flotteur ;

5.2.2 Etape 2 : instructions approvisionnement :

Le Bureau d'étude fourni les instructions au service approvisionnement pour la préparation des différentes pièces (profil de rive, traverses, diagonales, boulonnerie, etc...)

5.2.3 Etape 3 : Usinage, instructions soudure

Le Bureau d'étude fourni le plan soudure au service soudure. Les opérations de fabrication débutent : le cadre de ponton est constitué de 2 profils de rive reliés entre eux par des traverses et des diagonales.

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Le dimensionnement de ces éléments dépend des efforts d'accostage et d'amarrage pris en compte.

Profils de rive : Tous les profils de rive sont conçus avec des rails de fixation intégrés dans lesquels peuvent se positionner à n'importe quel endroit et sans démontage à l'aide des boulons de fixation inox.

5.2.4 Etape 4 : pose platelage et taquets d'amarrage

Le platelage (plancher de l'appontement) est choisi selon les spécifications du client en tenant compte de l'usage de l'appontement (pêche, plaisance, loisirs etc...)

5.2.4.1 Platelages

Le platelage est le plancher de l'appontement. Il existe différents types de platelages, ci-après quelques exemples :

- Plancher en lattes de bois exotique imputrescible ou en lattes de bois synthétique dont les planches sont rivetées sur des bastaings aluminium, chacune étant indépendante et interchangeable ;
- Plancher en aluminium dont les planches sont soudées bord à bord au cadre de ponton ;
- Plancher en caillebotis polyester sous forme de dalles préfabriquées à la mesure. Ces types de platelage sont surtout destinés à un usage professionnel en conditions difficiles.

5.2.4.2 Taquets d'amarrage

Les taquets permettent l'amarrage des bateaux au niveau de l'appontement. Plusieurs types sont disponibles selon les navires à amarrer.

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

5.2.5 Etape 5 : finition, control qualité et livraison

Avant d'expédier les appontements sortant de l'atelier une vérification s'impose. Il y a un contrôle qualité et ensuite l'appontement est livré.

5.2.6 Etape 6 : transports des appontements sur site client

Le transport est une étape qui achemine l'appontement vers le lieu de pose. Selon le cas, l'appontement est livré avec les flotteurs fixés ou non.

- Appontements finis sans flotteurs (recommandée en cas M/L important)
- Appontements finis avec flotteurs.

5.2.7 Etape 7 : fixation des flotteurs sur chantier

Les flotteurs permettent à la structure de flotter. Ces derniers sont complètement remplis de polystyrène expansé à cellules fermées garantissant ainsi leur insubmersibilité même en cas de choc accidentel (1 à 3% maximum d'absorption d'eau du volume total).

Le polyéthylène roto moulé en épaisseur 6 mm suivant différents moules permet de répondre à différents franc bords.

L'aluminium en épaisseur 2 à 4 mm permet de répondre à des conditions difficiles (échouage sur sol agressif, glace, chocs...).

5.2.8 Etape 8 : travaux appontements-subaquatiques

La dernière étape concerne la pose de l'appontement sur le plan d'eau. Une fois le système d'ancrage choisi, des plongeurs fixe les éléments d'ancrage.

- Pose des éléments ancrages (corps morts- chaines d'ancrages) ;
- Pose des appontements sur plan d'eau.

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Le poids des corps morts, longueurs des chaînes et de leurs caractéristiques selon données flottilles et du site. Un appontement peut être avec ancrage sur corps morts, pieux ou pilotis, utilisés pour l'accostage et l'amarrage des bateaux.

Les pontons lourds ont une capacité d'accueil pouvant aller pour des bateaux de 40 à 350 tonnes.

5.3 Techniques et réalisation d'un appontement en béton armé

5.3.1 Introduction

Un appontement en béton armé c'est presque comme un pont posé dans l'eau.

La réalisation de l'appontement en béton armé demande beaucoup de précision et de précaution au niveau du dragage, du nivellement, pose des éléments préfabriqués, etc...

La réalisation de la culée est une étape importante puisque c'est la jonction entre l'appontement et le quai. La pose d'enrochement et de ballast pour soutenir et stabiliser la semelle. La pose des piles et du chevêtre afin de supporter la partie composée des poutres de rives, des prédalles et dalles ainsi que la partie constituée du béton coulé sur place.

Une fois la partie béton est réalisée et finalisée, il y a l'étape de la pose des équipements au niveau de l'appontement. Les équipements d'amarrage et d'accostage du bateau, les échelles, ainsi que d'autres éléments indispensable tel que les joints de dilatation, les néoprènes etc

Pour la réalisation de l'appontement en béton armé, il est exposé, ci-après, les étape de conception, les travaux de dragage et de nivellement du sol, les matériaux à mettre en place, la réalisation des coffrages et des éléments en béton armé ainsi que les équipements nécessaires. Mais avant cela, des données de la flottille ainsi que les données nautiques de l'environnement sont indispensables pour le

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ
dimensionnement des différents éléments de l'appontement, ci-après cités. Le donneur d'ordre peut également fournir des informations intéressant le projet.

5.3.2 Descriptif de l'appontement en béton armé.

L'étude de la stabilité de l'appontement considéré a été étudiée sur un tronçon de 4 m situé entre les deux piles consécutives. On entend par étude de stabilité, la vérification au renversement, au glissement et au poinçonnement dans les cas statiques et dynamiques. Les hypothèses de calcul ainsi que les efforts appliqués sont présentées ci-après. La note de calcul y afférente a été fourni par le BET LEM et est présenté en annexe.

5.3.3 Hypothèses de calcul

Caractéristiques des matériaux de construction

Assise en enrochement :

- Poids volumique déjaugé $\gamma' = 1.1 \text{ t/m}^3$
- Angle de frottement interne $\varphi = 37^\circ$
- Cohésion $c = 0 \text{ t/m}^2$
- Contrainte admissible $\sigma_{adm} = 60 \text{ t/m}^2$

Sol de fondation :

- Poids volumique $\gamma_d = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Poids volumique déjaugé $\gamma' = 1.1 \text{ t/m}^3$

Acier :

- Type Fe E400

Béton de masse :

- Poids volumique $\gamma_b = 2.4 \text{ t/m}^3$
- Poids volumique déjaugé $\gamma'_b = 1.4 \text{ t/m}^3$

Béton armé :

Poids volumique $\gamma_b = 2.5 \text{ t/m}^3$

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN
APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ
Poids volumique déjaugé $\gamma'_b = 1.5 \text{ t/m}^3$

5.3.4 Efforts agissants sur l'appontement

- Poids propre :
 - Poutre Latérale : $p = 10.4 \text{ t}$
 - Poutre Chevêtre : $p = 7.05 \text{ t}$
 - Prédalle : $p = 4.01 \text{ t}$
 - Béton coulé sur place : $p = 13.9 \text{ t}$
 - Pile : $p = 2.62 \text{ t}$
 - Semelle : $p = 6.075 \text{ t}$Poids total de la structure : $P = 43.10 \text{ t}$

- Surcharge : $S = 1.5 \times 4 \times 4 = 24 \text{ t}$

- Efforts horizontaux
 - Amarrage : 6 t
 - Accostage : 6 t

L'appontement en béton armé objet de notre mémoire a les dimensions suivantes :

- Longueur 87 ml ;
- Largeur $4,5 \text{ ml}$;
- Et fondé à $- 2,5 \text{ m}$

L'appontement est constitué d'éléments en béton armé préfabriqués (semelle -piles chevêtre, poutres, dalles ...etc.) et coulés en place (dalles et une partie des poutres centrales et de rives).

La semelle est fondée sur une assise en T.V.C (0-500kg) au-dessous d'une couche d'enrochement (1 - 15kg), cette dernière est réglée par une couche de ballast (20 – 40 mm). Les piles de l'appontement sont protégées en pied par une couche d'enrochements (50-200kg).

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ
Ci-après les principales étapes à faire pour construire l'appontement en béton armé. ce dernier est fondé à – 2,5 m au de-sous du niveau de la mer.

5.3.5 Travaux indispensables de départ

5.3.5.1 Dragage / Nivellement ;

Le dragage et le nivellement, sont des étapes importantes dans le projet. C'est à travers ces deux actions que la configuration du sol est réglée pour recevoir l'appontement.

5.3.6 Réalisation de la culée (après pose d'enrochement (50-200 kg) à l'enracinement ;

La culée permet la transition de l'appontement au quai, c'est un élément principal de l'appontement.

5.3.7 Fourniture et pose d'enrochements de différentes catégories

Les matériaux nécessaires à la réalisation de l'appontement concernent les enrochements de différentes catégories. Ci-après présentés :

- Enrochements (1-15 kg) ;
- Ballast (20-40 mm) ;
- Enrochement (50-200 kg) ;

5.3.8 Réalisation et pose d'éléments préfabriqués

Les éléments préfabriqués sont réalisés en béton. Ci-après les composants principaux de l'appontement en béton.

- La semelle ;
- Les piles Ø 600 mm ;
- Le chevêtre ;
- La poutre de rive ;
- La prédalle ;
- Le béton coulé sur place pour la dalle ;

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

5.3.9 Fourniture et pose d'accessoires entre éléments en béton armé

Les accessoires à poser entre les éléments réalisés en béton armé sont cités ci-après et concernent :

- La bande de néoprène ;
- Le joint de dilatation.

5.3.10 Fourniture et pose d'équipements d'amarrage, d'accostage, de défense et d'entretien, sur l'appontement.

L'appontement une fois finalisé doit être équipé pour être fonctionnel, ci-après les équipements nécessaires :

- Pose de bollard ;
- Pose des anneaux ;
- Pose de défenses ;
- Pose des échelles.

Après la revue technique des réalisations des deux appontements, il est présenté ci-après, un tableau récapitulatif des principaux éléments constituant les appontements ainsi que toutes informations utiles.

5.1 Comparaison technique des deux appontements

Éléments composants l'appontement flottant	Éléments composants l'appontement en béton armé
Châssis (profils de rive, diagonales, transversales,...) en alliage d'aluminium	Semelles (béton armé)
Flotteurs	Piles (béton armé)
Platelage	Chevêtres (béton armé)
Taquets d'amarrage	Poutres de rive (béton armé)
Défenses	Prédalles (béton armé)
Chaines d'ancrage, corps mort,....	Dalles (béton coulé sur place)
Équipements de jonction appontement-quai	Bandes de néoprène
	Joints de dilatation
	Bollards
	Anneaux
	Echelles
	Défenses

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

L'analyse technique de ce tableau montre que l'appontement flottant est constitué d'éléments très légers et moindre en quantité en comparaison avec ceux de l'appontement en béton armé. Les matériaux constituant les éléments de l'appontement flottant ne nuisent pas à l'environnement, contrairement au béton qui a un impact négatif.

Les moyens de transport, de manutention, de fabrication, de mise en place sont standards par rapport à ceux de l'appontement en béton armé qui demande de moyens lourds. Les travaux entrepris pour l'appontement en béton armé sont plus importants, on trouve du dragage, du nivellement,...etc.

Les délais de réalisation depuis la fabrication à l'atelier jusqu'à la mise à l'eau, nécessite pour l'appontement en béton armé environ 8 mois pour une entreprise performante. Par contre, pour un appontement flottant, une semaine suffira.

L'appontement flottant seul est un module qui peut être associé à d'autres modules par jonction, et formé ainsi un ensemble d'appontements en longueur ou en largeur selon le besoin. Le module peut être enlevé de l'eau à tout moment. L'appontement en béton armé une fois réalisé ne peut être déplacé. L'entretien de l'appontement flottant est simple par rapport à l'appontement en béton armé qui nécessite un suivi et une surveillance rigoureuse.

5.4 COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ ET UN APPONTEMENT FLOTTANT EN ALLIAGE D'ALUMINIUM.

Dans cette partie nous allons présenter des coûts moyens des différents types de structures flottantes, en acier, en alliage d'aluminium et en béton armé.

On a pu ajouter le coût moyen d'un appontement flottant en acier pour avoir une idée sur les prix des différentes structures. C'est sur la base de devis quantitatifs et estimatifs que nous avons pu donner ces coûts comme déjà évoqué plus haut.

5.4.1 Ponton flottant en acier

Le ponton a les dimensions suivantes : (Longueur 12 m / Largeur 3 m)

Prix unitaire de fabrication de l'appontement : 3 820 000 DA

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Prix unitaire de fabrication et installation du corps mort de 5 tonnes : 203 330 DA

Par hypothèse, il faut 4 corps morts par appontement, soit $203\,330 \times 4 = 813\,320$ DA

Total : $3\,820\,000 + 813\,320 = 4\,633\,320$ DA, soit 386 110 DA/Ml

Tableau 5.2 Récapitulatif des coûts de l'appontement en acier

Prestation	Prix unitaire de fabrication et pose	Quantité	Montant global (DA)
Structure : Fourniture pièces et accessoires (Acier, platelage et flotteurs)	3 820 000	1	3 820 000
Fourniture et pose de corps-morts y compris chaînes	203 330	4	813 320
		Total	4 633 320

5.4.2 Ponton flottant en alliage d'aluminium

On a considéré le prototype de l'appontement flottant (Longueur 6 m /Largeur 2,5 m) constitué des pièces et accessoires déjà annoncé plus haut et ci-après rappelé.

Pièces et accessoires :

- 1 structure en profilés aluminium 6005 AT6. (Voir annexe pour plus de détails concernant le prototype fabriqué en Algérie)
- 10 flotteurs PE 2448-20.
- 2 taquets d'amarrage 2,5 T.
- 2 taquets d'amarrage 5 T.

Coût des pièces et accessoires de base : 5821,00 €, (si on considère un taux de change du jour tel que $1\text{€} = 150$ DA) cela implique que $5821,00\text{€} \approx 5821 \times 150 = 873\,150$ DA

- Prix de la structure : 873 150,00 DA
- Mains d'œuvres Soudeurs : 300 000,00 DA
- Douane + Transit + Transports : 1 200 500, 00 DA,
- Coût des corps-mort (4 T) : 203 330,00 DA, Il faut 4 corps-mort : $203\,330 \times 4 = 813\,320$ DA
- Coût Total du ponton : $873\,150 + 813\,320 + 1\,200\,500 + 300\,000$
soit : 3 186 970 DA Soit 531 162 DA/Ml

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Ci-après, dans le tableau 5.3, les détails en matière de coûts concernant le prototype de l'appontement flottant réalisé en Algérie

Tableau 5.3 Récapitulatif des coûts du prototype de l'appontement flottant

Prestation	Prix unitaire de fabrication	Quantité	Montant global (DA)
Structure : Fourniture pièces et accessoires (Aluminium, platelage et flotteurs)	873 150	1	873 150
Douane, transit et transport	1 200 500,00	1	1 200 500
Fourniture et pose de corps-morts y compris chaînes	203 330	4	813 320
Main d'œuvre (soudure)	300 000	1	300 000
		Total	3 186 970

5.4.3 Appontement en béton armé.

Pour l'appontement en béton armé, on a considéré les prix suivants obtenus auprès du bureau d'études nationale LEM (Laboratoire d'Etudes Maritimes) spécialisé dans le maritime. Le devis quantitatif et estimatif étant plus détaillé, vu l'existence de plusieurs postes de prix, on a présenté une récapitulation des prix dans le tableau ci-après.

L'appontement en question a 87 Ml de longueur, 4,5 Ml de largeur et est fondé à – 2,5 m

Le coût total de réalisation de l'appontement en béton armé est de 72 168 000,00 DA, soit 829 517 DA/Ml

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Ci-après, détails des prestations de l'appontement en béton armé dans le tableau 5.4

Tableau 5.4 Récapitulatif des coûts de l'appontement en béton armé

Prestations	Unité	Quantité	Montant global (DA)
Amené et repli du matériel nécessaire à la réalisation des travaux ;	F	1	15 000 000,00
Dragage ;	M ³	950	2 850 000,00
Fourniture, transport et mise en place des enrochements y compris toutes sujétions de bonne mise en place ;	T	3335	6 638 000,00
Fourniture et mise en œuvre du béton armé dosé à 350 Kg/m ³ y compris toutes sujétions de bonne exécution ;	M ³	420	18 900 000,00
Fourniture, transport et mise en place des équipements et accessoires de fixation ainsi que toutes sujétions de bonne mise en place et de protection.	U	461	28 780 000,00
		Total	72 168 000,00

5.4.4 Récapitulation des prix des deux structures

Appontement flottant en aluminium : 531 162 DA/ML et l'appontement fixe en béton armé : 829 517 DA/ML

La comparaison de ces deux prix se fera par le calcul du rapport prix/ml de l'appontement flottant au prix/ml de l'appontement en béton armé comme indiqué ci-après.

$531\ 162 / 829\ 517 = 0,64$ ($1 - 0,64 = 0,36$) soit 36 % de gain si on opte pour l'appontement flottant en alliage d'aluminium. ***Il s'agit d'un gain substantiel réalisé par cette nouvelle technique proposée.***

Les 3253 ML d'appontements en béton armé prévu d'être réalisé dans le cadre des études d'extension de ports et abris de pêche, couteront 2 698 418 801 DA.

Si les appontements en question seraient réalisés en structures flottantes, le coût serait de 1 727 869 986 DA. On dégagera donc un bénéfice de 970 548 815 DA, soit un gain de 36 % par rapport au béton armé.

CHAPITRE 5 ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ENTRE UN APPONTEMENT FLOTTANT ET UN APPONTEMENT EN BÉTON ARMÉ

Conclusion du chapitre 5

De ce qui précède, nous voyons bien la différence de prix entre les différentes structures.

Pour ce qui est des délais, l'appontement flottant (fabrication en atelier et mise à l'eau) en une semaine maximum avec des moyens simples et disponibles. Les matériaux utilisés ne réagissent pas avec l'environnement marin, et donc d'une manière générale ami de l'environnement. Les appontements en question peuvent être retirés de l'eau, sans casse ni dérangement de l'environnement.

L'appontement en béton armé, par contre, peut aller jusqu'à 8 mois de délai de réalisation, demandant parfois des moyens de réalisation et de transport importants, et des conditions de mise en œuvre assez compliquées.

**CONCLUSION GENERALE
ET RECOMMANDATIONS**

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'analyse de la situation des ports de pêche et de plaisance, durant ce projet de master, a montré que le développement des appontements flottants peut contribuer à la relance de l'économie bleu. La réalisation de telles structures est sans difficultés ni contraintes particulières. Du point de vue coût, le rapport prix/qualité est remarquable, en comparaison avec l'appontement classique en béton armé. Le résultat obtenu lors de la comparaison des prix de réalisations des deux appontements, en matière de bénéfice est remarquable, il est de 36 %. Il s'agit d'un gain substantiel réalisé par cette nouvelle technique proposée.

En matière de délais de réalisation, l'appontement flottant ne demande qu'une semaine, un délai très remarquable. Par contre, l'appontement en béton armé, en considérant une entreprise performante, avec des conditions météorologiques de la mer stables, pour notre exemple, ne sera pas moins de 8 mois. Aussi, les moyens matériels ainsi que les matériaux mis en place pour l'appontement flottant sont simples et standards en comparaison avec l'appontement en béton armé.

C'est un créneau porteur et d'avenir pour le redéploiement, notamment, des secteurs de la pêche et de la plaisance maritime. Aussi, ce nouveau procédé, peut rationaliser nos bassins portuaires et augmenter ainsi nos capacités de flottilles, en gagnant les linéaires et plans d'eau inutilisés.

Recommandations

Dans le domaine de la réhabilitation des ouvrages, on peut envisager la technique en question comme solution de substitution aux infrastructures totalement dégradées ou bien ne pouvant assurer un fonctionnement normal.

Lancer des réflexions dans le domaine des structures flottantes, notamment, les atténuateurs de vagues et les thématiques liées à l'ingénierie des structures flottantes.

La maîtrise de « l'unité » appontement flottant en tant que module, permettra de développer : l'habitat et le restaurant flottant, la piscine flottante, et diverses activités sur les différents plans d'eau (mer, barrage, fleuves, etc...).

**LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.**

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

Z	:	Numéro atomique ;
M	:	Masse atomique ;
T_f	:	Température de fusion ;
P	:	Masse volumique ;
A	:	Coefficient de dilatation ;
c	:	Capacité thermique massique ;
K	:	Conductivité thermique ;
Σ	:	Conductivité électrique
R_{P 0,2}	:	Limite élastique (0,2 % de déformation plastique résiduelle) ;
R_m	:	Résistance mécanique ;
A %	:	Allongement à la rupture % ;
TIG	:	Tungsten Inert Gas ;
MIG	:	Metal Inert Gaz ;
MAG	:	Metal Active Gas ;
VLFS	:	Very Large Float Structur ;
PEBD	:	Polyéthylène basse densité ;
PEHD	:	Polyéthylène haute densité ;
G	:	Centre de gravité ;
GM	:	Distance métacentrique ;
M	:	Métacentre ;
C	:	Centre de poussé ;
L_f	:	Longueur du flotteur ;
l_f	:	Largeur du flotteur ;
h	:	Hauteur du flotteur ;
M	:	Masse du flotteur ;
α	:	Angle de gite ;
α₀	:	Angle de gite maximal autorisé ;
ASCE	:	American Society of Civil Engineers ;
AIPCN	:	Association internationale de navigation ;
L_{ht}	:	Longueur hors tout ;
f_b	:	Franc-bord ;
PVC	:	Polychlorure de Vinyle ;
PS	:	Polystyrène ;
PUR	:	Polyuréthane ;
PP	:	Polypropylène ;

ERP	:	Etablissement recevant du Public ;
D	:	Déplacement du navire ;
(i)	:	Angle max de la pente superficielle ;
A_s	:	Aire de la section des armatures de béton armé ;
E	:	Effet des actions ;
E_s	:	Valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé ;
G	:	Action permanente ;
I	:	Moment d'inertie de la section de béton ;
M	:	Moment fléchissant ;
N	:	Effort normal ;
Q	:	Action variable ;
ELS	:	État limite de service ;
ELU	:	État limite ultime ;
V	:	Effort tranchant ;
b	:	Largeur totale d'une section droite ou largeur réelle de la table d'une poutre en T ou en L ;
d	:	Hauteur utile d'une section droite
e	:	Excentricité ;
f_c	:	Résistance en compression du béton ;
f_t	:	Résistance en traction de l'acier de béton armé ;
f_y	:	Limite d'élasticité de l'acier de béton armé ;
h	:	Hauteur totale de la section droite ;
i	:	Rayon de giration ;
1/r	:	Courbure en une section donnée ;
X	:	Profondeur de l'axe neutre ;
γ	:	Coefficient partiel ;
δ	:	Incrément ;
ε_c	:	Déformation relative en compression du béton ;
ε_u	:	Déformation relative de l'acier de béton armé sous charge maximale ;
λ	:	Coefficient d'élanement ;
ρ	:	Masse volumique du béton séché en étuve, en kg/m ³ ;
σ_c	:	Contrainte de compression du béton ;
σ_{cp}	:	Contrainte de compression du béton due à un effort normal ;
σ_{cu}	:	Contrainte de compression du béton correspondant à la déformation ultime en compression ;
E^V	:	Effort vertical ;
E^H	:	Effort horizontal ;

X_{Gi}	:	Distance de G par rapport x ;
Y_{Gi}	:	Distance de G par rapport y ;
M^s	:	Moment stabilisant ;
M^r	:	Moment renversant ;
A_c	:	Effort d'accostage ;
F_r	:	Coefficient de sécurité au renversement ;
F_g	:	Coefficient de sécurité au glissement ;
Φ	:	Angle de frottement interne ;
S	:	Surcharge ;
M_{xx}	:	Moment par rapport à l'axe des x ;
M_{yy}	:	Moment par rapport à l'axe des y ;
A_s	:	Section d'armature ;
A_{s,min}	:	Aire de la section minimale d'armatures ;
A_t	:	Aire de la section des armatures d'effort tranchant ;
M_{max}	:	Moment max ;
V_{max}	:	Effort vertical max ;
σ_{adm}	:	Contrainte admissible ;
T	:	Contrainte de torsion ;
σ_{assise}	:	Contrainte admissible de l'assise ;
σ_v	:	Contrainte admissible verticale ;
γ'	:	Poids volumique déjaugé ;
φ	:	Angle de frottement interne ;
C	:	Cohésion ;
γ_d	:	Poids volumique ;
F	:	Effort vertical maximum sur l'embarcation ;
K	:	Coefficient de masse virtuelle ;
D	:	Déplacement de navire ;
I	:	Angle maximum de la pente superficielle ;
F_a	:	Effort vertical revenant à une aussière ;
W	:	Poids du bloc ;
V_c	:	Volume du bloc ;
B	:	Coefficient de frottement ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ordonnance n° 76-80 du 23 octobre 1976 portant code maritime Algérien modifiée et complétée par la loi 98-05 du 25 juin 1998, modifiée et complétée par la loi n° 10-04 du 15 août 2010.
- [2] Schéma Directeur Portuaire, Direction des Infrastructures Maritimes, septembre 2007, Ministère des Travaux Publics/ Algérie.
- [3] Atlas des ports Algériens, Direction des Infrastructures Maritimes et des Ports, Ministère des Travaux Publics et des Transports/Algérie, Mars 2018, 1^{ère} édition.
- [4] M. Ramdane, Aménagement d'un abri de pêche à Kristel dans la wilaya d'Oran/Algérie, Projet de Fin d'Etude de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2019/2020.
- [5] A. Baraka, Support de cours, béton armé I TEC 185, 2005/2006, Centre Universitaire de Béchar, Département de Génie Civil et d'architecture.
- [6] Guide d'utilisation du béton en site maritime CETMEF, Notice N° 08-01, Avril 2008.
- [7] Dossier pédagogique / l'âge de l'aluminium / la turbine CCSTI (Centre de Culture Scientifique Technique et Industrielle) / 2005-2006.
- [8] Précis de métallurgie (élaboration, structures-propriétés, normalisation) par J. Barralis & J. Maeder. Afnor. Edition Nathan. Septembre 2004.
- [9] Cahier IBS (Institut Belge de la Soudure). Métallerie 49 – spécial soudage – Avril 2003.
- [10] http://fr.wikipedia.org/wiki/alliage_d'aluminium ; wiki soudage TIG.
- [11] R. Varisellaz, Eléments de conception et de réalisation du soudage, Edition Dunaud, 1987.
- [12] M. Courbière, classement des alliages soudables et leur métallurgie, 1996.
- [13] X. Longaygue, D. Kaplan, T. Maurickx, Etude paramétrique de l'influence des facteurs d'hétérogénéité mécanique sur le comportement en service des assemblages soudés, Revue de Métallurgie, CIT, juin 1994
- [14] R. Varisellaz, Eléments de conception et de réalisation du soudage, Edition Dunod, 1987.
- [15] <https://fr.slideshare.net/akg024/floating-architecture>.
- [16] Hassan DIAB, Modélisation et optimisation des structures flottantes pour l'aide à la décision d'aménagement portuaire, Thèse de doctorat de l'UTT, année 2016.
- [17] <https://www.aquashell.fr/concept/>.
- [18] <http://houseboats.fr/pages/historique1.html>.
- [19] <https://www.aquashell.fr/concept>.
- [20] CM. Wang, Z.Y. Tay Département de génie civil, Université nationale de Singapour Kent Ridge, Singapour 119260.
- [21] <http://autonomie.larantides.com/>.

- [22] Large Floating Structures Technological Advances, C.M. Wang • B.T. Wang, ED. springer, Singapore, 2015, page 07.
- [23] Large Floating Structures Technological Advances, C.M. Wang • B.T. Wang, ED. springer, Singapore, 2015, page 9.
- [24] Large Floating Structures Technological Advances, C.M. Wang • B.T. Wang, ED. springer, Singapore, 2015, page 14.
- [25] Hassan DIAB, Modélisation et optimisation des structures flottantes pour l'aide à la décision d'aménagement portuaire, Thèse de doctorat de l'UTT, année 2016.
- [26] A. Bana et M. Maria, les aménagements de plaisance maritime, CETMEF, Notice PMVN N°02 03 / Septembre 2002.
- [27] Examen de normes sélectionnées applicables à la conception d'appontements flottants AIPCN - supplément au bulletin n°95 (juin 1997).
- [28] Rapport final de la Commission internationale pour la navigation de sport et de plaisance (AIPCN) Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation, annexe au bulletin n°25, vol. 3 (1976).
- [29] Guide de conception des pontons de plaisance Edité aux presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris (1992).
- [30] Annexe au décret n° 90-43 du 9 janvier 1990 et à l'arrêté du 9 janvier 1990 relatifs aux règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique et modalités de contrôle applicables aux établissements flottants ou bateaux stationnaires et aux bateaux en stationnement sur les eaux intérieures recevant du public/ France.
- [31] Arrêté du 31 mai 1994 fixant les dispositions techniques destinées à rendre accessibles aux personnes handicapées les établissements recevant du public et les installations ouvertes au public lors de leur construction, leur création ou leur modification, pris en application de l'article R. 111-19-1 du code de la construction et de l'habitation/France
- [32] Les chenaux d'accès - Directives initiales, AIPCN - supplément au bulletin n° 88 (Septembre 1995).
- [33] les pontons de plaisance, guide de conception, Ecole nationale des ponts et chaussés, Secrétariat d'Etat de la mer, France, 1992.
- [34] Z. Benkhelfallah & Y. Cher kit, Etude de la marina d'Alger, Projet de Fin d'Etude de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2016/2017.
- [35] Bill Curry, Layout & Design GUIDELINES for Marina Berthing Facilities, the California Department of Boating and Waterways, 2005.
- [36] ROM 0.2-90 Actions in the design of maritime and harbour works, Maritime Works Recommendations, Madrid April 1990.

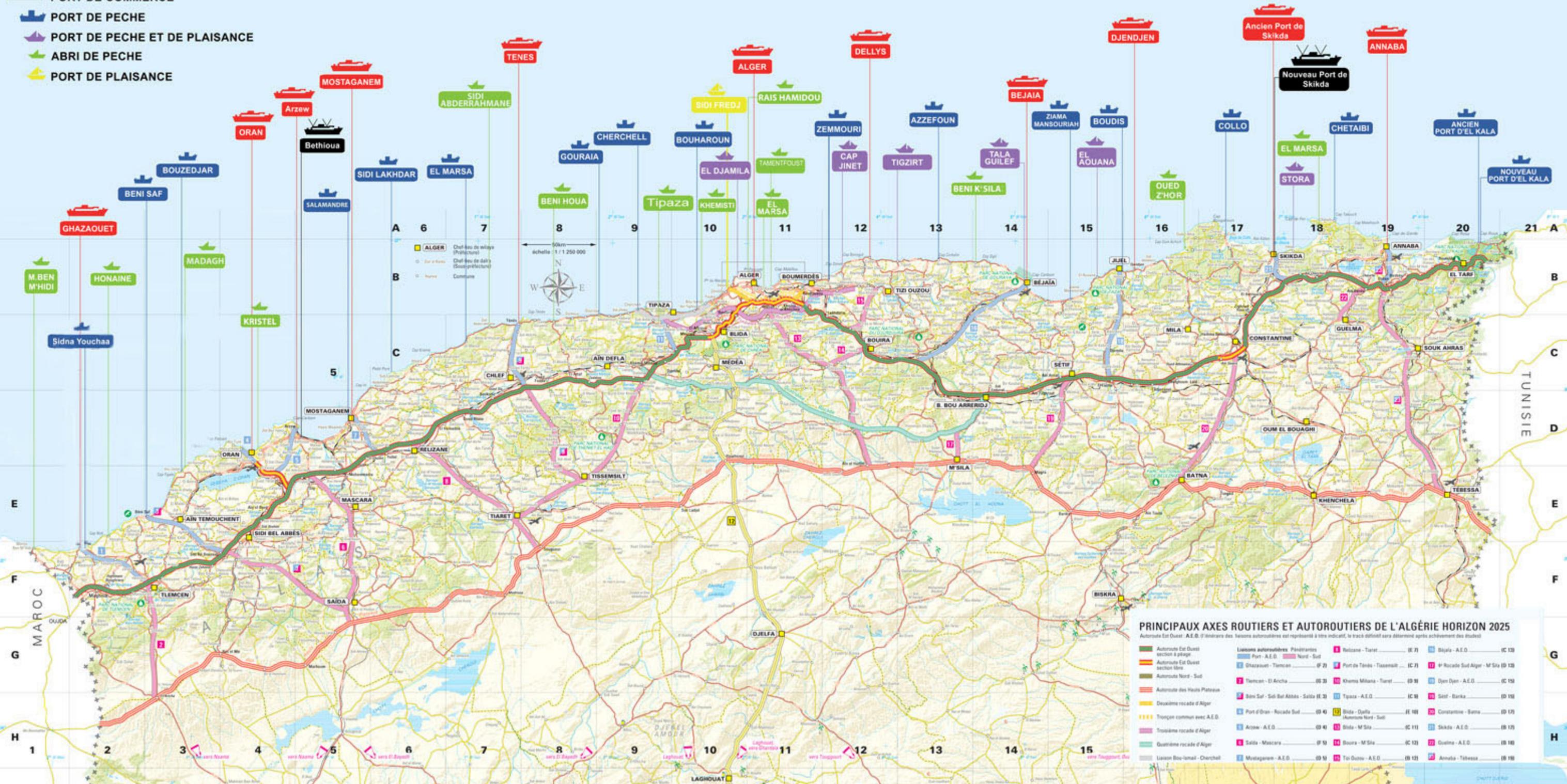
ANNEXE 1

CARTE DES PORTS D'ALGERIE



Carte des ports Algériens
 HORIZON 2017

- PORT PETROLIER
- PORT DE COMMERCE
- PORT DE PECHE
- PORT DE PECHE ET DE PLAISANCE
- ABRI DE PECHE
- PORT DE PLAISANCE



ANNEXE 2

APPONTEMENT EN BETON ARME

- **NOTE DE CALCUL**
- **PIECES GRAPHIQUES**

ANNEXE II NOTE DE CALCUL DE L'APPONTEMENT EN BETON ARME

1. Vérification de la stabilité

L'étude de la stabilité a été étudié sur un tronçon de 4 m situé entre les deux piles consécutives, pour le renversement, le glissement ainsi que le poinçonnement, et ce, dans les cas statiques et dynamiques. Cette note de calcul a été fournie par le BET LEM à titre de présentation. L'objectif de ce mémoire étant les appontements flottants.

Cas statique : Calcul des efforts :

Tableau 1.1 Récapitulatif des forces agissant sur l'appontement en B.A / Cas statique

Efforts	E^V (t)	E^H (t)	X_{Gi} (m)	Y_{Gi} (m)	M^S (t.m)	M^f (t.m)
Charges permanentes						
Poids total du mur.....g1	43,10	0,00	2,25	/	96,98	0,00
Surcharges (1.50 T/m ²).... q1	24,00	0,00	2,25	/	54,00	0,00
Amarrage (6 T)..... q2	0,00	6,00	/	5,10	0,00	30,60
Accostage (6 T)..... q3	0,00	6,00	/	4,30	0,00	25,80
$G = g1+q2+q3$	43,10	12,00			96,98	56,40
$Q = q1$	24,00	0,00			54,00	0,00
Combinaisons						
$G+1,2Q+Am+Ac$	71,90	12,00			161,78	56,40
$G+Am+Acc$	43,10	12,00			96,98	56,40

- Cas de charge n°1 : $G+1.2S+Am+Acc$

a - Vérification de la stabilité au renversement et au glissement, ci-après tableau

Tableau 1.2 vérification au renversement et au glissement

Coefficient de sécurité	au renversement $F_r =$ $\frac{M_s}{M_R}$	au glissement $F_g =$ $\frac{E^V}{E^H} tg \varphi$
G+1.2S+Am+Acc	2.86	4.68

b - vérification de la capacité portante du sol :

b.1- Au niveau de l'assise en enrochements

$$\sigma_{adm} = 60 \text{ t/m}^2$$

Tableau 1.3 vérification de la capacité portante au niveau de l'assise en enrochements

	e (m)	B = 2xe (m)	δ (° / rad)	σ_v (t/m ²)	σ_{Assise} (t/m ²)
G+1.2S+Am +Ac	1.46	2.96	0.16 / 9.47°	24.52	51.12

D'ou $\sigma_s = 24.52 \text{ T/m}^2 < \sigma_a' = 50.00 \text{ T/m}^2$

b.2 - Au niveau du sol de fondation (sol support) :

Le sol de fondation est un sol rocheux qui présente une résistance à la compression $R_c = 200 \text{ bars}$

Donc : $\sigma_{adm} = R_c/2 = 100 \text{ bars}$

Tableau 1.4 Poids de l'assise

Poids de l'assise	B'(m)	δ	E'v (t)
4.91 t	4.46	0.16	76.814

$$\sigma_v = 17.06 \text{ t/m}^2$$

En tenant compte de l'inclinaison de la résultante des forces, la contrainte admissible sera de :

$$\sigma_a' = \sigma_a \times e^{-\delta} \text{ , avec } \delta = tg^{-1} E_h \text{ ,}$$

donc $\sigma_a' = 85.21 \text{ bars}$,

Cas de charge n°2 : G+ Am + Acc

a - Vérification de la stabilité au renversement et au glissement

Tableau 1.5 Vérification de la stabilité au renversement et au glissement

Coefficient de sécurité	au renversement $F_r =$ $\frac{M_s}{M_R}$	au glissement $F_g =$ $\frac{E^V}{E^H} \text{tg } \varphi$
G+Am+Ac	1.72	2.80

b- vérification de la capacité portante du sol :

b.1- Au niveau de l'assise en enrochements

$$\sigma_{adm} = 60 \text{ t/m}^2$$

Tableau 1.6 vérification de la capacité portante du sol, Au niveau de l'assise en enrochements

	e(m)	B = 2xe (m)	δ (° / rad)	σ_v (t/m ²)	σ_{Assise} (t/m ²)
G+Am +Ac	0.94	1.88	0.27 / 15.55	15.26	45.80

D'ou $\sigma_s = 15.18 \text{ T/m}^2 < \sigma_a' = 47.67 \text{ T/m}^2$

b.2- Au niveau du sol de fondation (sol support) :

Le sol de fondation est un sol rocheux qui présente une résistance à la compression $R_c = 200 \text{ bars}$

Donc : $\sigma_{adm} = R_c/2 = 100 \text{ bars}$

1.7 vérification de la capacité portante du sol, Au niveau du sol de fondation

Poids de l'assise	B'(m)	δ	E'v (t)
3.72 t	3.38	0.27	46.81

$$\sigma_v = 13.85 \text{ t/m}^2$$

En tenant compte de l'inclinaison de la résultante des forces, la contrainte admissible sera de :

$$\sigma_a' = \sigma_a \times e^{-\delta} \text{ , avec } \delta = \text{tg}^{-1} \frac{E_h}{H_v} \text{ ,}$$

donc $\sigma_a' = 76.33 \text{ bars}$,

Cas dynamique

Le séisme développe une force d'inertie horizontale de 0.20 g, la combinaison de charge la plus défavorable est $G+SI + Am + Acc$

- Calcul des efforts sismiques

Tableau 1.8 Récapitulatif des forces agissant sur l'appontement en B.A / Cas dynamique

Efforts	E^V (t)	E^H (t)	X_{Gi} (m)	Y_{Gi} (m)	M^S (t.m)	M^r (t.m)
---------	-----------	-----------	--------------	--------------	-------------	-------------

Charges permanentes

Poids total du mur.....g1	46,33	0,00	2,25	/	104,25	0,00
Force due au séisme.....SI	0,00	10,78	0,00	3,41	0,00	36,74

Surcharges

Surcharges (1.50 T/m ²).... q1	24,00	0,00	2,25	/	54,00	0,00
Amarrage (6 T) q2	0,00	6,00	/	5,10	0,00	30,60
Accostage (6 T) q3	0,00	6,00	/	4,30	0,00	25,80

$G = g1+q2+q3$	46,33	12,00			104,25	56,40
$Q = q1$	24,00	0,00			54,00	0,00
SI		10,78				36,74

Combinaisons

$G + Q+SI$	70,33	22,78	0,00	0,00	158,25	93,14
------------	-------	-------	------	------	--------	-------

a-Vérification de la stabilité au renversement et au glissement

1.9 Vérification de la stabilité au renversement et au glissement cas dynamique

Coefficient de sécurité	au renversement $F_r = \frac{M_S}{M_R}$	au glissement $F_g = \frac{E^V}{E^H} \operatorname{tg} \varphi$
G+SI + Am + Acc	1.70	2.41

b- vérification de la capacité portante du sol :

b.1- Au niveau de l'assise en enrochements

$$\sigma_{adm} = 60 \text{ t/m}^2$$

Tableau 1.10 vérification de la capacité portante du sol Au niveau de l'assise en enrochements

	e(m)	B = 2xe (m)	δ (° / rad)	σ_v (t/m ²)	σ_{Assise} (t/m ²)
G+Am +1/2Ac	0.93	1.81	0.31 / 17.94	25.32	44.01

D'ou $\sigma_s = 25.32 \text{ T/m}^2 < \sigma_a' = 44.01 \text{ T/m}^2$

b.2- Au niveau du sol de fondation (sol support) :

Le sol de fondation est un sol rocheux qui présente une résistance a la compression $R_c = 200 \text{ bars}$

Donc : $\sigma_{adm} = R_c/2 = 100 \text{ bars}$

Tableau 1.11 vérification de la capacité portante du sol Au niveau du sol de fondation (sol support)

Poids de l'assise	B'(m)	δ	E'v (t)
3.77 t	3.32	0.35	43.87

$$\sigma_v = 16.48 \text{ t/m}^2$$

ANNEXE II NOTE DE CALCUL DE L'APPONTEMENT EN BETON ARME

En tenant compte de l'inclinaison de la résultante des forces, la contrainte admissible sera de :

$$\sigma_a' = \sigma_a \times e^{-\delta} \quad , \quad \text{avec } \delta = \text{tg}^{-1} \frac{Eh}{Hv} \quad ,$$

Donc $\sigma_a' = 73.32$ bars,

Calcul des éléments de la structure

Dalles et Pré dalles

A - Pré dalles type 1

- Calcul des sollicitations

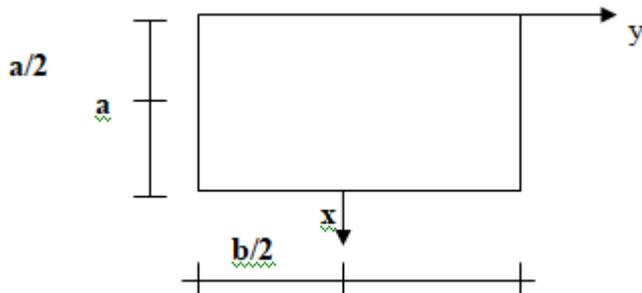
La dalle de l'appontement sera sollicitée aux actions de la surcharge, Béton coulé sur place et son poids propre.

Surcharges $S = 1.5 \text{ t/m}^2$

Le calcul sera fait à E. L.S : G+S, les sollicitations (moments, efforts tranchant) seront déterminées par le logiciel « Robot structural analysis professional (rsapro) 2017 »

$a = 2.30 \text{ m}$

$b = 3.60 \text{ m}$



Calcul du ferrailage

Les moments les plus défavorable dans le sens X et Y :

$M_{xx} = 1.02 \text{ tm/ml}$

$M_{yy} = 1.51 \text{ tm/ml}$

- Calcul du ferrailage

$b = 1 \text{ m}$, $h_t = 15 \text{ cm}$

Suivant xx :

$M_{xx} = 1.02 \text{ tm/ml} \implies A_s = 5.5 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

Suivant yy :

$M_{yy} = 1.51 \text{ tm/ml} \implies A_s = 7.5 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0,23 \frac{f_{t28}}{f_e} b d = 1.63 \text{ cm}^2 \implies A_s = 7.50 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

La section d'armature est de $A_s = 6.50 \text{ cm}^2/\text{ml}$ donc : HA12/15 cm, pour les deux sens

Les contraintes développées sont : $\sigma_b = 1.26 \text{ MPa} < 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa}$ (E.L.S)
Le ferrailage préconisé pour la dalle dans les deux sens est \Leftrightarrow HA12/15 cm dans les deux sens.

Poutres - Pile - Semelle :

- Calcul des sollicitations

La structure est sollicitée aux différentes charges et surcharges (verticales et horizontales) et aux actions sismiques.

Le calcul des sollicitations (effort normal, effort tranchant et moment fléchissant) dus aux différentes combinaisons de charges et surcharges sera effectué par l'intermédiaire d'un logiciel de calcul de structure basé sur la théorie des éléments finis.

- Combinaisons de charge

Cas statique : $G + S + A_m + A_{cc}$

Cas dynamique : $G + S_I + 0.5 (A_m + A_{cc})$ et $G + A_m + A_{cc} + S_I$

S_I : L'effort sismique (spectre de réponse RPA 99, zone III)

Poutre de rive

a- Poutre de rive : 109 X 20 (Phase 1)

Calcul des actions :

Poids Propre : 0.55 t/ml

Béton coulé sur place : 0.95 t/ml

Les sollicitations obtenues après calcul sont :

$$M_{\max} = -2.74 \text{ tm}$$

$$V_{\max} = 2.74 \text{ t}$$

Ferrailage Par rapport à l'axe Y :

Pour $M = -2.74 \text{ t.m}$ et $b = 109 \text{ cm}$, $h_t = 20 \text{ cm}$

La section d'armature est de $A_s = 12.06 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 6 \text{ HA16}$, les contraintes développées sont

$$\sigma_b = 6.1 \text{ MPa} < f_{cj} = 18 \text{ MPa}$$

Donc, une section $A_s = 12.06 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 6\text{HA16}$ est suffisante.

Ferraillage de l'acier transversal :

$$T = 2.74t$$

$$\tau_b = \frac{T}{b \times d} = 2.74 \times 10^3 / (109 \times 20) = 1.63 \text{ kg/cm}^2 < \text{Min} (0.10 f_{c28}, 30 \text{ kg/cm}^2) = 30 \text{ kg/cm}^2$$

L'Armature transversal $A_t \geq \frac{St \times 0.4 b_0}{F_e}$, pour $St = 20 \text{ cm}$ on a $A_t \geq 1.17 \text{ cm}^2$

Prenons $A_t = 2.26 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 02 \text{ cadre HA } 12.$

b -Poutre de rive : 109 X 65 (Phase 2)

Calcul des actions :

Poids Propre : 1.77 t/ml

Surcharge d'exploitation: 1.26 t/ml

Ferraillage Par rapport à l'axe Y :

- en travée $M/y = 1.75 \text{ t.m.}$,
- en appui $M/y = -3.50 \text{ tm}$

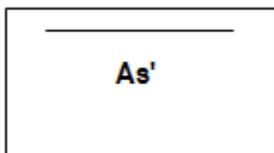
En appui :

Pour $M = -3.50 \text{ t.m}$ et $b = 109 \text{ cm}$, $ht = 65 \text{ cm}$

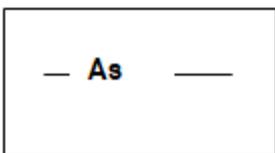
La section d'armature est de $A_s = 4 \text{ cm}^2$

$A_{s_{\min}} = 6.9 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 6 \text{ HA}14$, les contraintes développées sont

$$\sigma_b = 1.7 \text{ MPa} < f_{c_j} = 18 \text{ MPa}$$



En travée :



Pour $M = 1.75 \text{ t.m}$ et $b = 109 \text{ cm}$, $ht = 65 \text{ cm}$

La section d'armature est de $A_s = 2 \text{ cm}^2$

$A_{s_{\min}} = 6.9 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 6 \text{ HA}14$, les contraintes développées sont

$$\sigma_b = 1.2 \text{ MPa} < f_{c_j} = 18 \text{ MPa}$$

Donc, une section $A_s = 9.24 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 6\text{HA}14$ est suffisante.

Ferraillage de l'acier transversal :

$$T = 5.28\text{t}$$

$$\tau_b = \frac{T}{b \times d} = 5.28 \times 10^3 / (109 \times 58.5) = 0.82 \text{ kg/cm}^2 < \text{Min} (0.10 f_{c28}, 30 \text{ kg/cm}^2) = 25 \text{ kg/cm}^2$$

L'armature transversale $A_t \geq \frac{T}{f_e} \times 0.4 \times b_0$, pour $St = 20 \text{ cm}$ on a $A_t \geq 1.68 \text{ cm}^2$

Fe

Prenons $A_t = 2.26 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 02 \text{ cadre HA } 12.$

c - poutre de rive vertical :

$$M_{\max} = 8.60 \text{ tm}$$

$$A_s = 2.1 \text{ cm}^2$$

condition de non fragilité

$$A_s \geq 0,23 \frac{f_{t28}}{f_e} b d = 4.05 \text{ cm}^2$$



Donc une section de 4HA12 est suffisante (extérieur et inférieure)

b - Poutre chevêtre

Par rapport à l'axe Y : $M/y = 6.33 \text{ t.m}$,

Effort tranchant $V = 6.33 \text{ t}$

Ferraillage Par rapport à l'axe Y :

Pour $M = 6.33\text{t.m}$ et $b = 80 \text{ cm}$, $ht = 55 \text{ cm}$

La section d'armature est de $A_s = 7.9 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 4\text{HA}16$

Donc une section $A_s = 8.04 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 4\text{HA}16$ est suffisante supérieur et inférieur

Les contraintes développées sont :

$$\sigma_{b,\max} = 3.10\text{MPa} < 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa}$$

Ferraillage de L'acier transversal :

$$T = 6.33 \text{ t}$$

$$\tau_b = \frac{T}{b \times d} = 6.33 \times 10^3 / (80 \times 55 \times 0.9) = 1.59 \text{ kg/cm}^2 < \text{Min} (0.10 f_{c28} , 30 \text{ kg/cm}^2) = 25 \text{ kg/cm}^2$$

L'armature transversale $A_t \geq \underline{St \times 0.4 b_0}$, pour $St = 30 \text{ cm}$ on a $A_t \geq 2.16 \text{ cm}^2$

Fe

Prenons $A_t = 2.26 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow 02 \text{ cadre HA}12$

d - Piles :

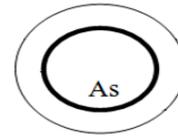
ELS : Fissuration très préjudiciable

Combinaison : G + Q + Am + Acc

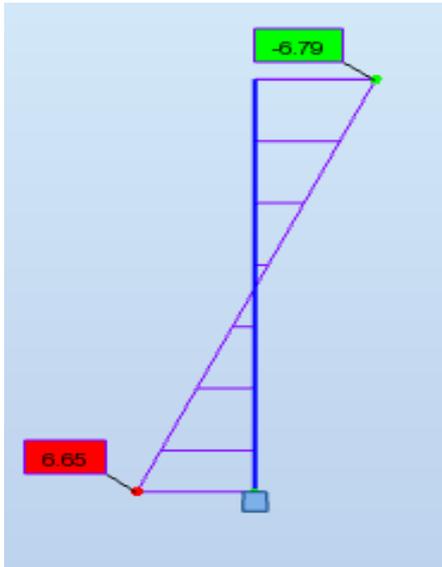
ELA :

Combinaison : G + SI + 0.5(Am+Acc)

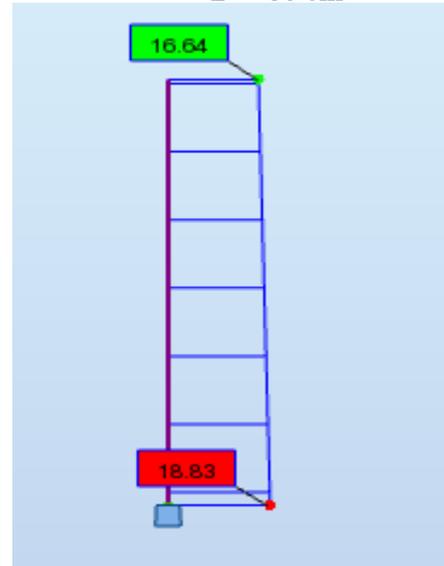
SI = 45 t (Effort Horizontale)



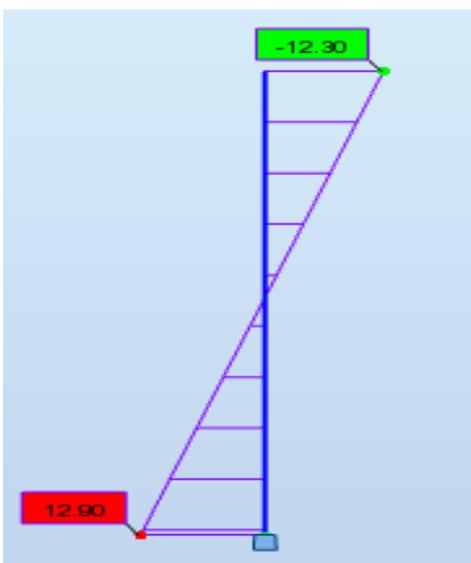
$D = 60 \text{ cm}$



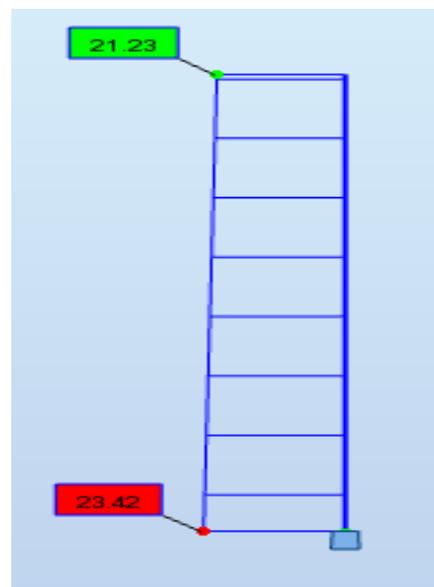
Moment M_{\max} a l'ELS



Effort Normal a l'ELS



Effort normal à l'ELA



Moment M_{\max} à l'ELA

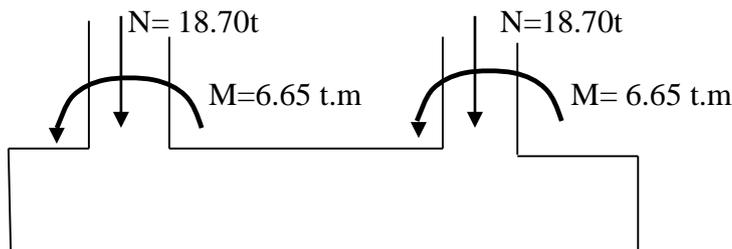
ANNEXE II NOTE DE CALCUL DE L'APPONTEMENT EN BETON ARME

Tableau 1.12 Récapitulation des sollicitation sus exposées

	M _{max} (t.m)	N (t)	As cm ²	Ferrailage
ELS	6.65	18.80	12	10HA16
ELA	12.90	23.42	10	10HA14

Donc le ferrailage se fera à l'ELS avec As = 20.01 (10HA16)

e - Semelle :



La semelle est sollicitée à son poids propre et aux différentes actions transmises par les piles, le calcul de la semelle par le modèle de la structure sous ces différentes actions a donné les sollicitations suivantes :

Mobilisation du sol :

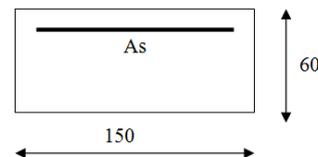
$$q_1 = \frac{N}{B.l} \cdot (1 + 6 \cdot \frac{e}{B}) = 35.75 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = \frac{N}{B.l} \cdot (1 - 6 \cdot \frac{e}{B}) = 3.04 \text{ t/m}^2$$

$$q_1 = \frac{3q_{max} + q_{min}}{4} = 27.53 \text{ t/m}^2$$

$$M_{max} = 9.96 \text{ t.m}$$

$$As = 16.23 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ soit } 8\text{HA } 16$$



N.B : les armatures supérieures et inférieures seront de 8HA16

Ferrailage de L'acier transversal :

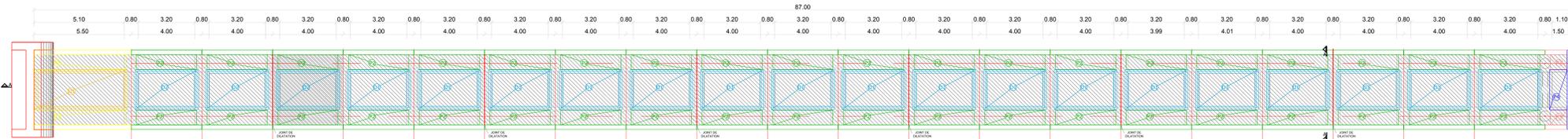
$$T = 17.8 \text{ t}$$

$$\tau_b = \frac{T}{b \times d} = \frac{17.8 \cdot 10^3}{150 \times 54} = 2.19 \text{ kg/cm}^2 < \text{Min} (0.10 f_{c28}, 30 \text{ kg/cm}^2) = 25 \text{ kg/cm}^2$$

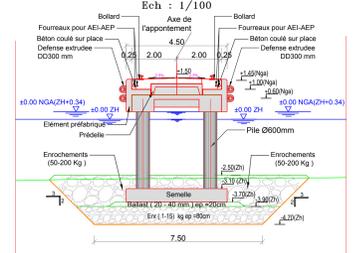
$$\text{L'armature transversal } A_t \geq \frac{St \times 0.4 b_0}{f_e}, \text{ pour } St = 20 \text{ cm on a } A_t \geq 3,75 \text{ cm}^2$$

Prenons $A_t = 4.52 \text{ cm}^2 \Leftrightarrow$ cadre HA 12 /20

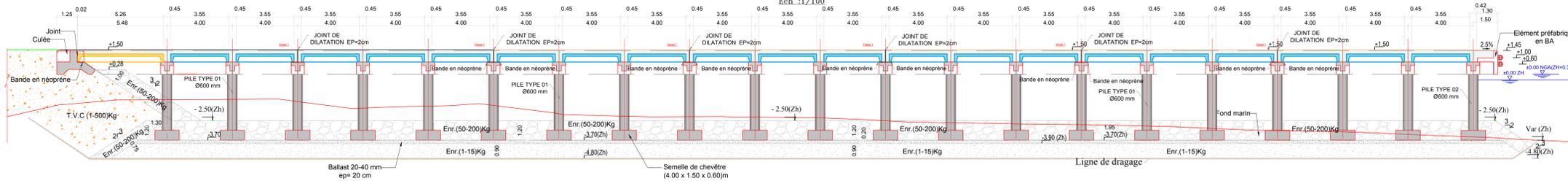
VUE EN PLAN
APPONTEMENT à -2.50 l=87 m l.
Ech.: 1/100



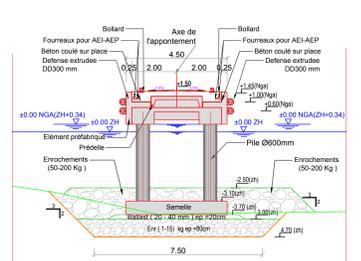
APPONTEMENT 1 à -2.50m
Ech : 1/100



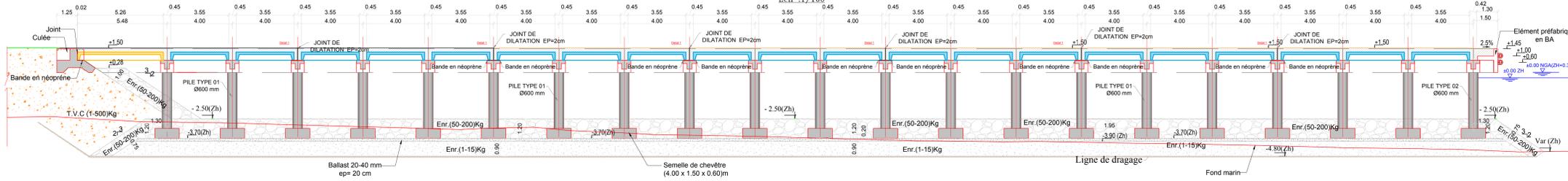
COUPE A-A
APPONTEMENT à -2.50 l=87 m l.
Ech.: 1/100



APPONTEMENT 2 à -2.50m
Ech : 1/100



COUPE B-B
APPONTEMENT à -2.50 l=87 m l.
Ech.: 1/100



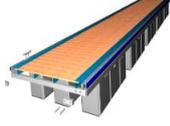
VUE EN ELEVATION
APPONTEMENT à -2.50 et à -3.50 l=87 m l.
Ech.: 1/100



ANNEXE 3

PROTOTYPE D'APPONTEMENT FLOTTANT EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

- **FICHE TECHNIQUE**
- **PIECES GRAPHIQUES**
- **ALBUM PHOTOS**



FICHE TECHNIQUE APPONTEMENT FLOTTANT PROTOTYPE MSE ALGERIE

النموذج الأولي عائم

Données techniques

البيانات التقنية

Description : Ponton flottant standard

المراسي العائمة

Date de construction : 27/03/2019

Longueur 6m طول

Largeur 2,5 m عرض

Structure Aluminium T6 هيكل

Franc bord 0,55 m بين حافة المنصة ومستوى المياه

Surcharge 250 kg/m2 الحمولة الزائدة

Flotteurs Polyéthylène القوالب العائمة

Platelage Caillebotis composite الأرضيات

Défense d'accostage PVC - EPDM قارب رسو الدفاع

Organes d'amarrage Taquets / Bollards en fonte aluminium الهيئات الراسية

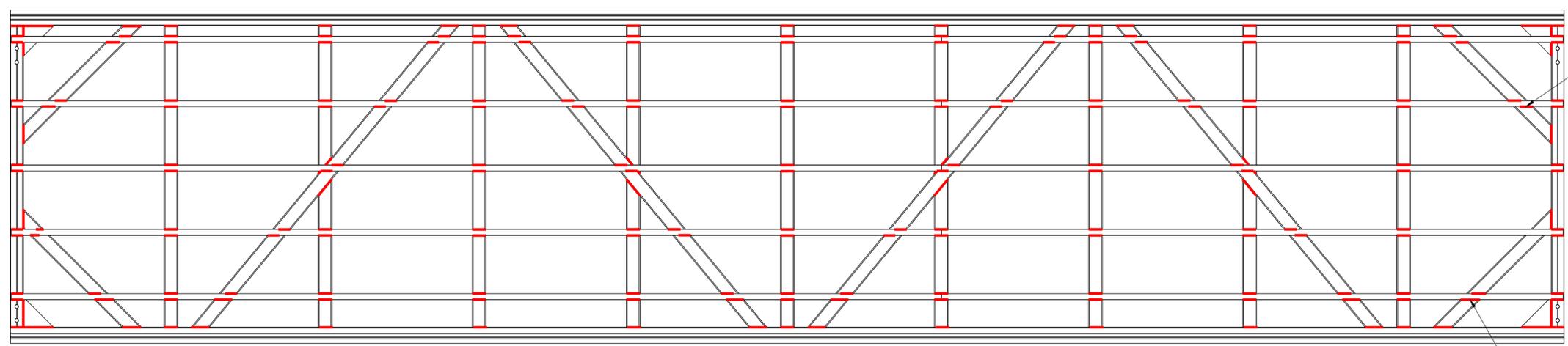
Types d'ancrages

أنواع المراسي

Chaînes aciers galvanisées et corps morts en béton

كتل خرسانية و سلاسل

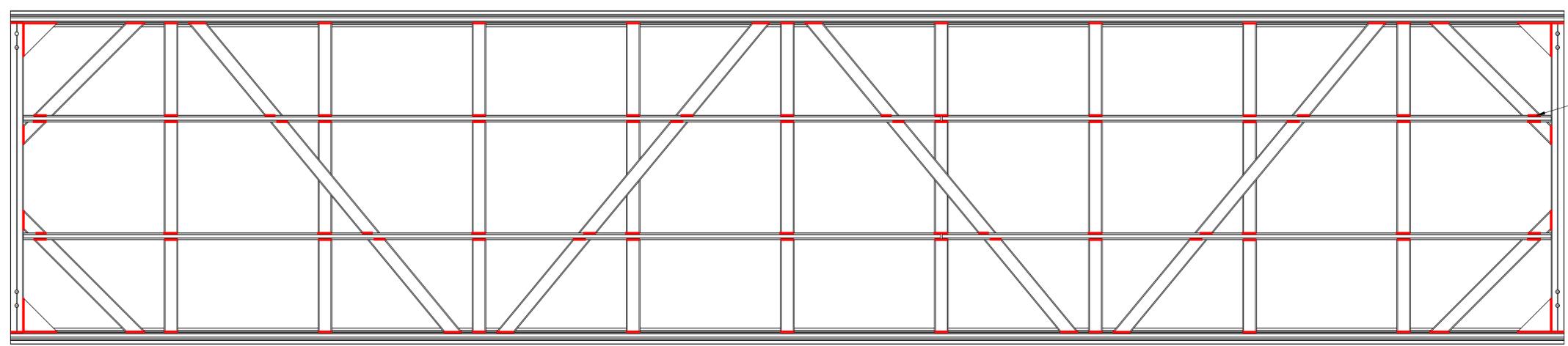
Vue de dessus



2/3 de la largeur sur les diagonales

soudure toute largeur sur diagonales côté galerie technique (visible)

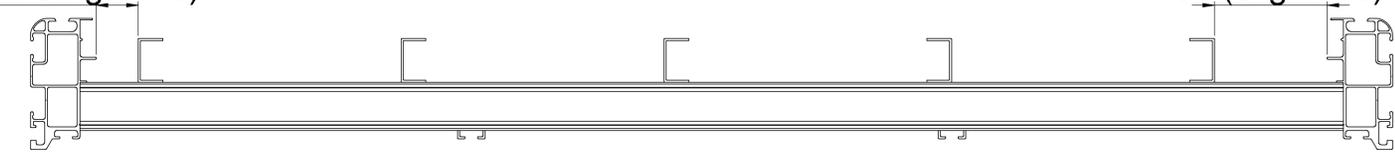
Vue de dessous



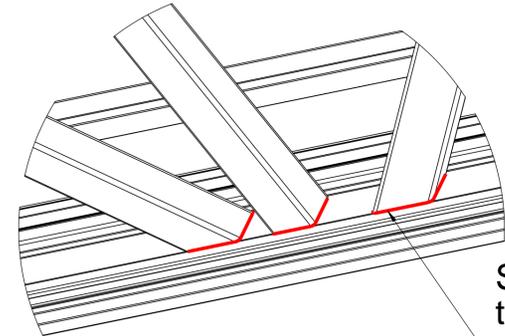
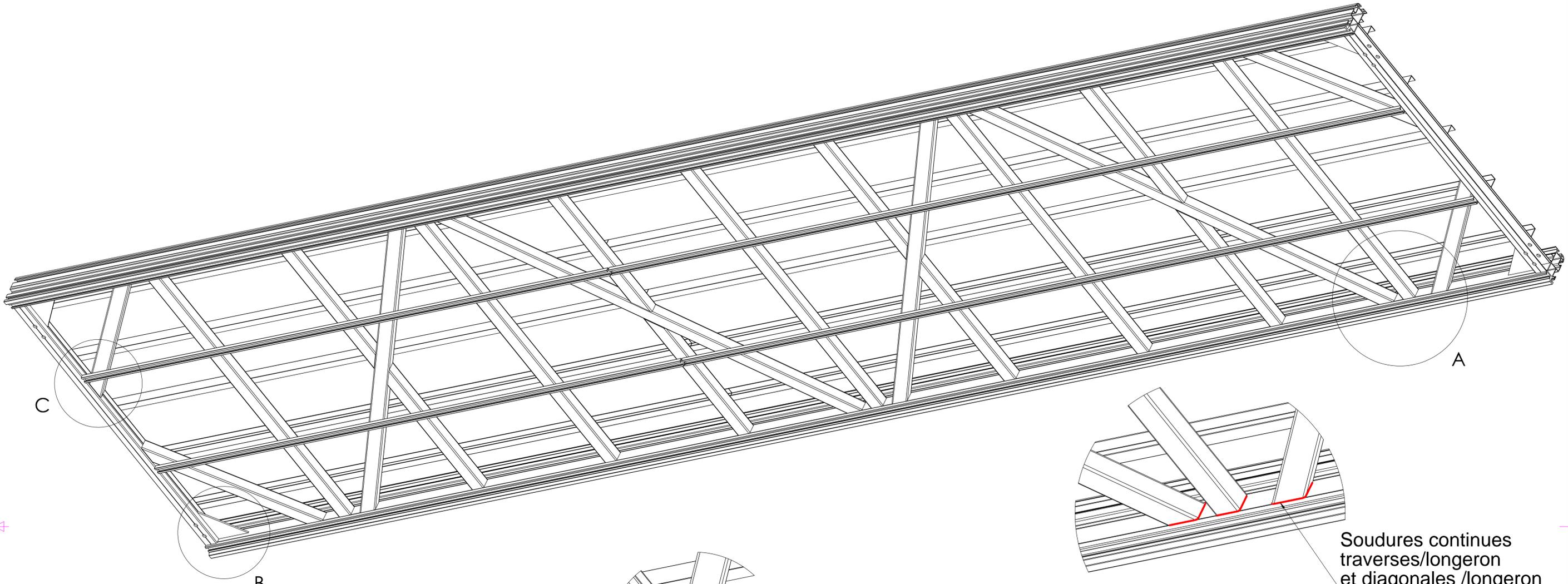
2/3 de la largeur sur les diagonales

60 (si pas de galerie)

160 (si galerie)

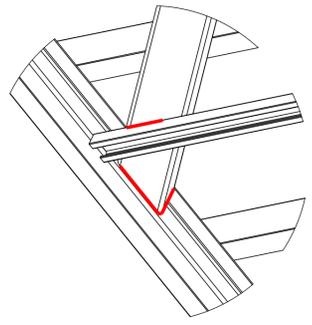


Dessiné par CAVAILLES C	Vérfié par JW	Approuvé par - date VG 10/02/2019	Nom de fichier Ponton 9mx2m	10/02/2019	Echelle 1:15
PONTON PROTOTYPE			SARL MSE ALGERIE		
Format A1		Indice	Feuille No. 1/2		

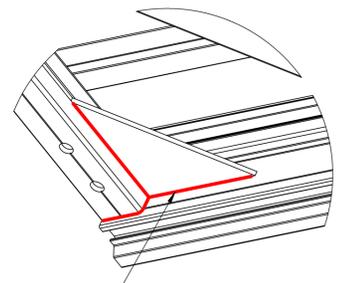


Soudures continues traverses/longeron et diagonales /longeron

DÉTAIL A ECHELLE 1 : 5

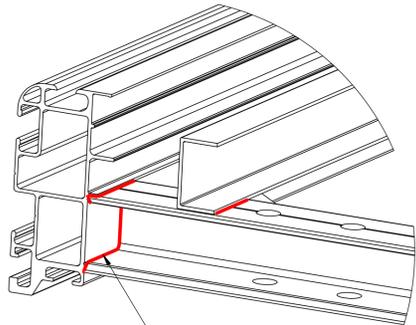


DÉTAIL C ECHELLE 1 : 5



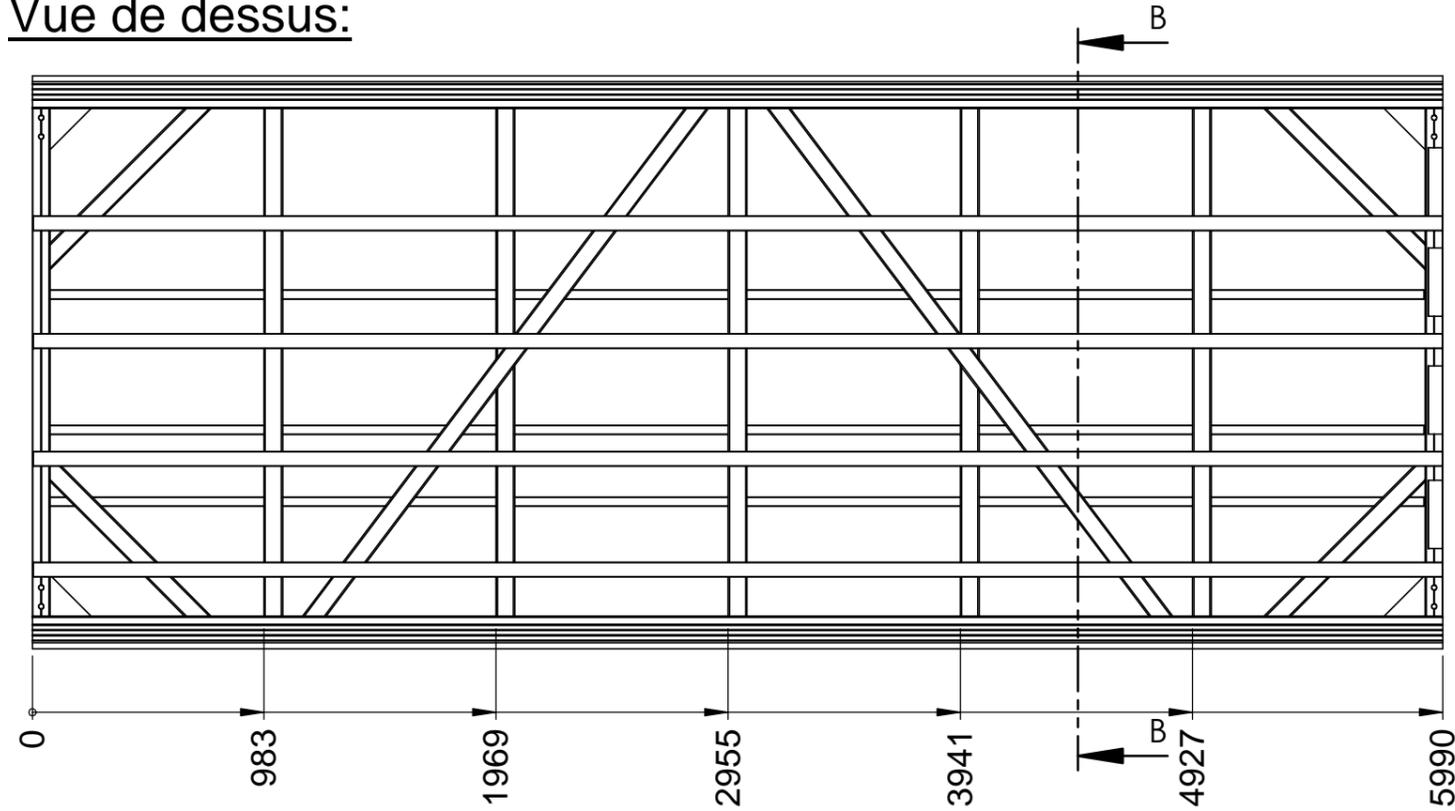
Goussets, soudures continues sur les deux faces

DÉTAIL B ECHELLE 1 : 5



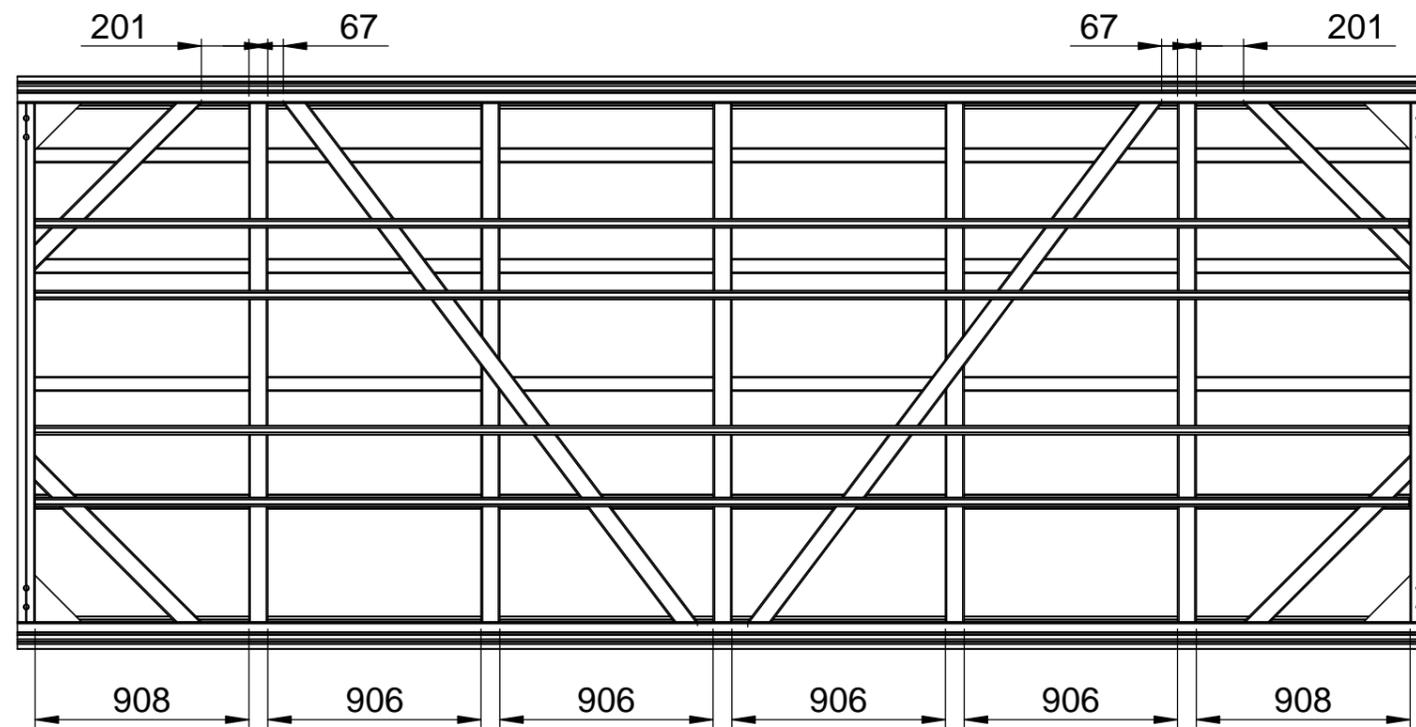
Soudure continues pour les U de liaison

Vue de dessus:



Les traverses sont réparties équitabement sur la longueur

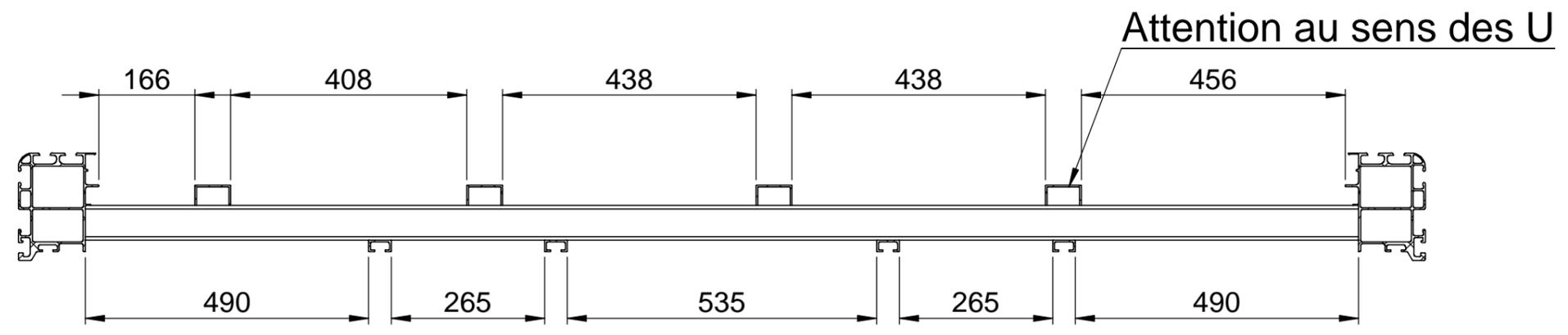
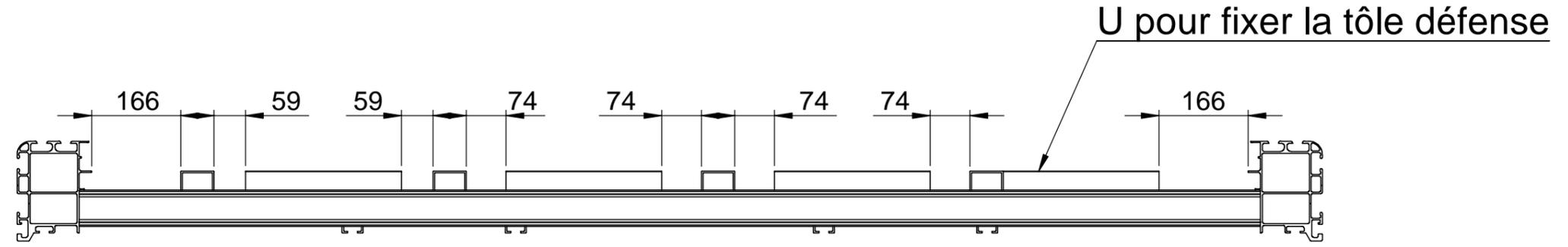
Vue de dessous:



Dessiné par CAVAILLES C	Vérfié par JW	Approuvé par - date VG 10/02/2019	Nom de fichier Ponton 6mlx2,5m - Soudure	10/02/2019	Echelle 1:30
SARL MSE ALGERIE PROTO			PONTON 6mlx2,5		
			D14-030	Format A3	Indice 8



Les U platelage sont répartis équitablement sur la largeur



COUPE B-B
ECHELLE 1 : 10



Dessiné par CAVAILLES C	Vérfié par JW	Approuvé par - date VG 10/02/2019	Nom de fichier Ponton 6mx2,5m - Soudure	10/02/2019	Echelle 1:30
SARL MSE ALGERIE PROTO			PONTON 6mx2,5		
			D14-030	Format A3	Indice 8



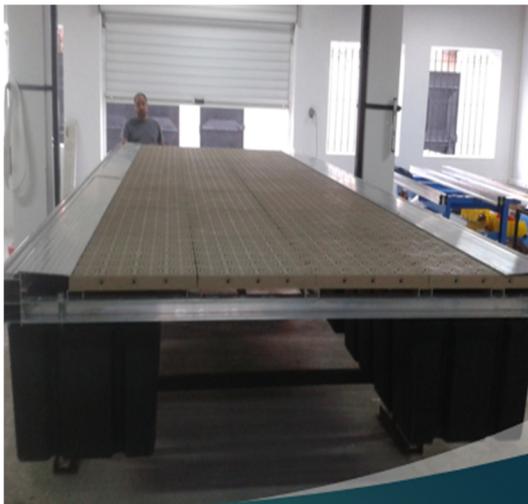
Structure principale en alliage d'aluminium



Soudage des pièces constituant le ponton



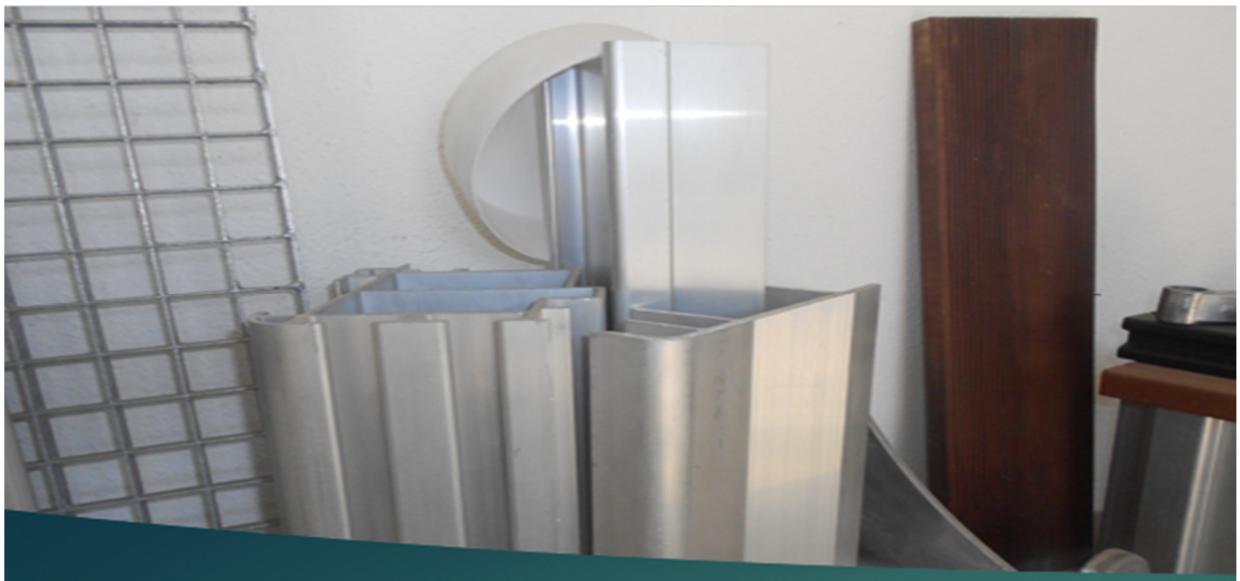
Vues du ponton finalisé, avec les taquets d'amarrage



Ponton en cours de finalisation



Diverses vues du ponton finalisé



Pièces en alliage d'aluminium utilisées pour la réalisation de la structure principale du ponton



Type de flotteurs utilisés pour la réalisation du ponton