



PR : Plateforme flottante

RESUME

Programmation préalable à la conception d'une plateforme flottante pour le suivi environnemental des villes côtières

Gautier Forgerit
Basma Khallouk

Introduction

- I. Benchmark
- II. Hypothèses et principe de conception de la plateforme
 1. Type de module
 - 1.1. Habitation
 - 1.2. Activités/ emploi
 - 1.3. Service
 2. Fonctions secondaires
 3. Contexte et localisation dans la baie de Guanabara
- III. Organigramme des modules par fonctions
- IV. Architectures des modules types
 1. Principe de fonctionnement
 2. Plan Autocad
- V. Estimation du poids propre des modules
- VI. Calcul de charges mortes et charges vives
- VII. Calcul de flottabilité
- VIII. D'une plateforme à une ville

Conclusion et perspectives

Introduction

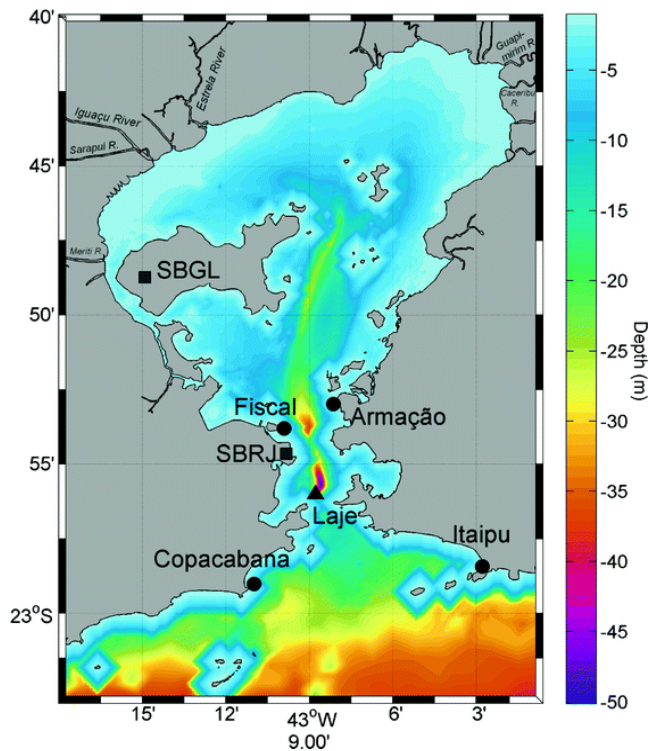
Parmi tous les problèmes, le XXe siècle a introduit de nouveaux problèmes pour l'humanité : le manque de terres convenables à l'habitat et aux activités agricoles, industrielles et commerciales. La part de la population vivante à proximité des côtes croît rapidement. Ce problème devient sérieux avec l'expansion des demandes et des besoins agricoles et industriels correspondant à cette population. Des pays comme le Japon, la Chine, la Corée, les Pays-Bas, la Belgique et le Brésil ont une densité de population très élevée. Nous avons fait des recherches sur des plateformes flottantes déjà existantes mais le problème de la majorité était le fait qu'elles ne sont pas réalisables puisque le coût est très important. Ce qui nous a amené à penser à ce projet dans le cadre de la coopération avec l'UFJ.

I. Benchmark

Il s'agit d'un projet qui cherche à définir et concevoir une plateforme marine mobile et semi-autonome afin d'obtenir un modèle faisable à construire tout en prenant en compte les contraintes techniques et respecter le cahier de charge. Notre périmètre d'études est la baie de Guanabara, elle est une baie du littoral brésilien de l'État de Rio de Janeiro, qui entre d'une trentaine de kilomètres dans les terres, et est large de presque autant.

→ La bathymétrie de la baie :

La profondeur de l'eau y est de 17 mètres à l'entrée de la baie, et de 8 mètres à la verticale du pont Rio-Niterói.



C'est l'un des plus vieux rêves de l'homme : vivre sur l'eau, habiter dans une ville flottante. La plus célèbre d'entre elles, c'est évidemment Venise. Six siècles se sont écoulés depuis sa construction. Aujourd'hui, les projets se multiplient. Un chantier pharaonique s'apprête à voir le jour en Polynésie française. On pourrait encore citer Monaco, dont les immeubles s'étendent sur la Méditerranée. C'est aussi, en partie, une cité posée sur la mer. Les villes flottantes vont désormais faire partie de notre environnement.

La réalisation de ce projet a nécessité une recherche approfondie sur les plateformes existantes ainsi que l'étude de la zone où nous allons placer la plateforme. Nous nous sommes rendu compte que

certaines projets de ville flottante existaient déjà cependant ils étaient soit trop ambitieux soit trop rudimentaires.



Figure 1 Projet Ville flottant de Vincent Callebaut

Nous pouvons par exemple illustrer cela en parlant des projets de l'architecte-designer Vincent Callebaut qui semble nécessiter d'énormes apports financiers et des années de construction.

II- Hypothèses et principe de conception de la plateforme

1. Type de module

Au début nous avons envisagé dans une première hypothèse de faire une seule forme dans toute la plateforme, mais vu qu'on doit exiger aussi sa capacité de se déplacer, la multiplicité des formes dans la plateforme était nécessaire. Nous avons fait le choix de trois types de module dans une seule plateforme pour pouvoir réaliser un espace de vie cohérent.

Avant de déterminer la structure du module nous avons réfléchi à sa place au sein de plusieurs autres modules. En effet nous voulions une plateforme de référence pouvant s'accrocher à plusieurs autres modules identiques afin de former une plateforme de plus en plus grande. Cette expansion nous l'avons voulue non limitée, à l'image de villes qui semblent en continuelle expansion. Ces plateformes ainsi liées les unes des autres seront architecturalement identiques mais se différencieront les unes des autres par leur aménagement répondant à des fonctions différentes.

Nous avons décidé de diviser le module en 3, une partie immergée, une partie semi immergée et une partie non immergée. Ensuite nous avons attribué à chaque partie une des fonctions primaires auxquelles doit répondre la plateforme : Habitation, activités et emplois ainsi que service. Nous les avons ensuite conçus et positionnés sur le module stratégiquement afin de réduire les coûts de construction, de limiter les contraintes mécaniques pouvant s'exercer sur la plateforme, de faciliter l'aménagement des espaces et enfin favoriser la flottaison et la stabilité du module. Nous allons vous détailler toutes les décisions sur l'architecture des modules.

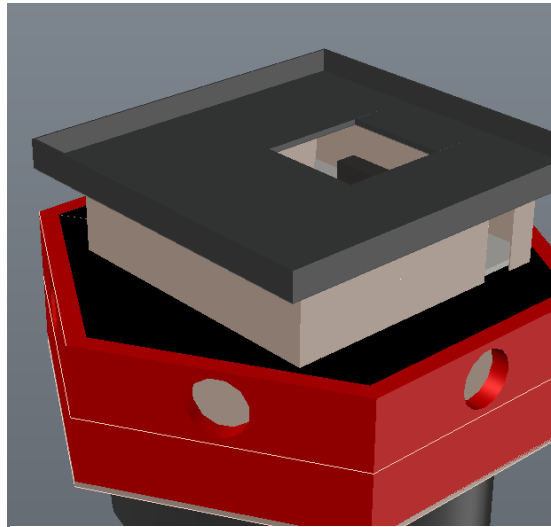


Figure 2 : Aperçu 3D des 3 modules assemblés

a. Habitation

Nous avons fait le choix d'une structure cubique de 3 mètres de haut et d'une largeur de côté de 10m. C'est effectivement dans un souci d'aménagement de cette partie habitable que nous avons privilégié une surface au sol carré. Une structure circulaire ou hexagonale aurait été une source de contrainte supplémentaire. C'est aussi l'une des structures les plus simples à construire puisque non courbée et avec un nombre de mur porteurs limitée. Pour les dimensions nous voulions une surface assez grande pour en faire un habitat suffisamment confortable en essayant tout de même d'optimiser l'espace afin de réduire au maximum la taille de la plateforme et son coût de fabrication. Nous avons donc pris comme référence le livre "Les éléments de projet de construction" de Neufert, référence du monde architectural.

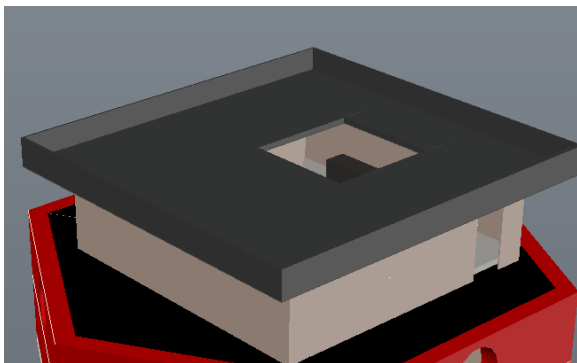


Figure 4: Aperçu 3D du module habitation + rooftop

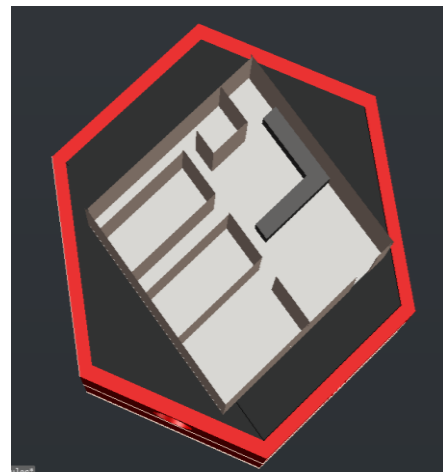


Figure 3 : Aperçu intérieur du module d'habitation

b. Activités/ emploi

Pour la fonction liée aux activités professionnelle nous voulions une structure se rapprochant le plus possible d'un cercle pour optimiser la surface au sol. Nous ne pouvions pas choisir une forme complètement circulaire puisqu'elle ne serait pas très pertinente du point de l'assemblage des différents modules entre eux. Nous avons donc choisi une forme hexagonale permettant de générer des structures fractales, particulièrement efficace pour une capacité d'expansion illimité de notre plateforme :



Figure 6 : Illustration du potentiel fractal de cette structure

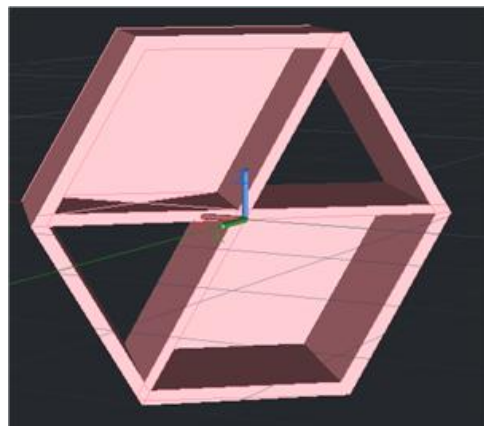


Figure 5 Illustration 3D du modèle hexagonale

La figure fractale est particulièrement efficace en urbanisme que ce soit pour les réseaux de transport (eaux, voiries, gaz) ainsi que pour l'aménagement du bâti. Un livre très intéressant de Gabriel Dupuy traite le sujet. "Villes, réseaux, Transport, la figure fractal".

Nous avons choisi une hauteur de 5 mètres de haut offrant un grand volume d'air censé favoriser la flottaison de la plateforme ainsi que pour pouvoir y utiliser des machines de grandes tailles.

c. Service

Nous avons choisi une forme elliptique pour la coque du bateau pour des raisons hydrodynamiques. En effet l'eau s'écoule de part et d'autre de la coque en créant un minimum de perturbation lors de son déplacement ou de sa prise aux courants marins. La partie totalement immergée sera consacrée à la fonction service (stockage, entretien etc..) puisqu'elle comportera toute les charges lourdes. On a pensé à ce positionnement de ces charges, dans un souci de stabilisation de la plateforme. Nous avons choisi une forme elliptique d'une largeur de 7m et d'une longueur de 14m. Ce rapport de $(a, a/2)$ permet une faible résistance hydrodynamique aux courants marins. Analogiquement, nous pouvons dire que cette structure elliptique fera office de "coque de bateau" de notre module. En

effet elle sera totalement immergée et profilée pour optimiser les freins hydrodynamiques dans un souci de consommation d'énergie lors de son déplacement ainsi qu'une réduction de la prise aux courants marins quand elle sera immobilisée.

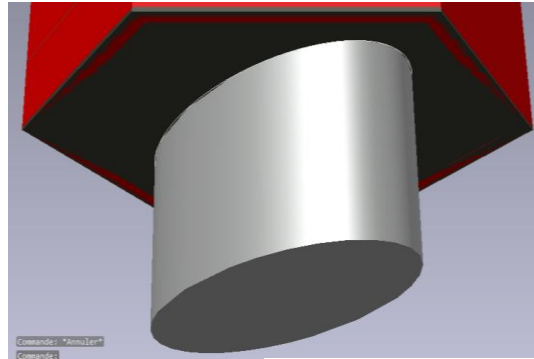
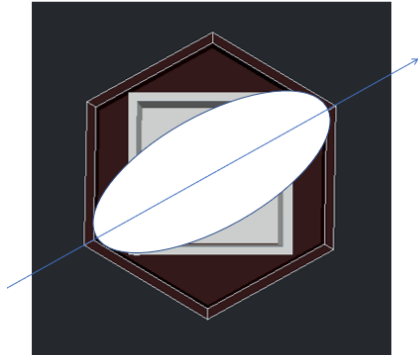
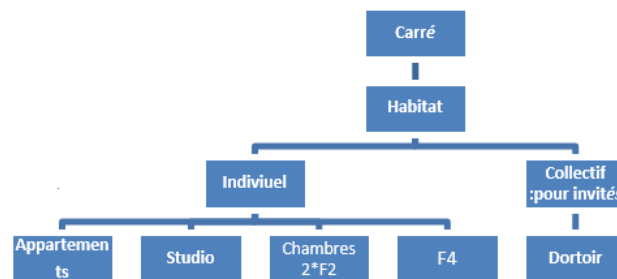


Figure 8 : Illustration du potentiel hydrodynamiques de la partie inférieure
Figure 7: Modèle 3D de la coque elliptique

III- Organigramme des modules par fonctions

1. Forme carrée :

Ce module est dédié principalement à la fonction habitation, nous avons envisagés plusieurs types d'architectures (voir arborescence ci-dessus). Ainsi, comme fonction secondaire nous avons prévu un rooftop comme un espace de détente ou bien pour y pratiquer l'agriculture. On peut aussi penser à un hélicoptère et à un système d'antennes. Ce module carré de 2 étages, nous servirait de module



Fonction primaire

Fonction secondaire

- Terrasse/jardin
- Hélicoptère/tour de contrôle
- Station météorologique
- Station radio/ VHF

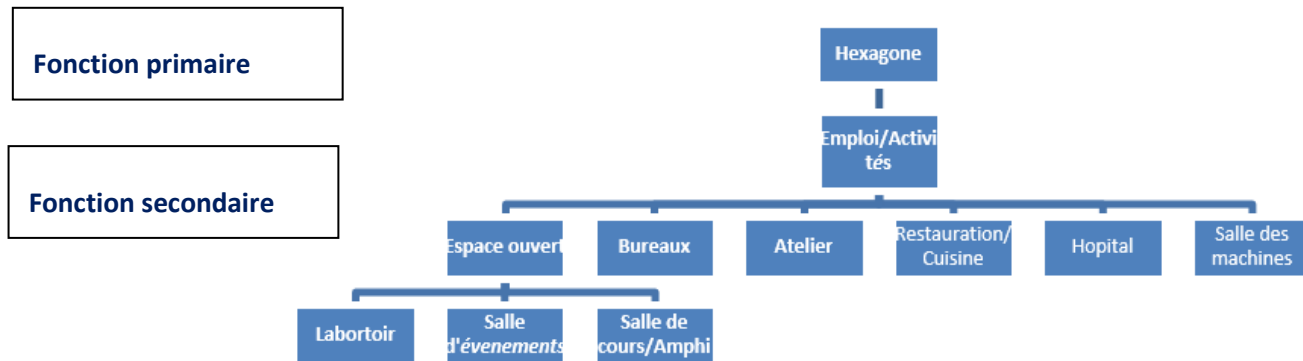
standard. C'est son aménagement qui permettrait d'en faire un habitat individuel déclinable en appartement F2, F3, F4, ou en studio ou bien en dortoir collectif visant à accueillir un grand nombre de personnes lors d'un événement par exemple.

2. Forme hexagonale :

Il est consacré pour une zone de travail, ou des salles multiusages (salle de cours, réunions, coworking, séminaires, conférences...). Concernant sa fonction secondaire, ce module pourra assurer le déplacement entre les différentes plateformes par bateaux.

→ L'espace hexagonal situé en dessous est consacré à un espace d'activités professionnelles, on pourra y aménager des bureaux, des ateliers, des espaces pédagogiques, une salle des machines, des laboratoires etc...

→ Le toit de la structure fera également office de sol pour la partie supérieur. L'espace non occupé par la surface du carré habitable servira à la voirie praticable par les piétons, des vélos ou bien par des engins motorisés. Elle sera aussi utilisée comme système d'accroche de module à module, de quai à bateau, d'espace public.



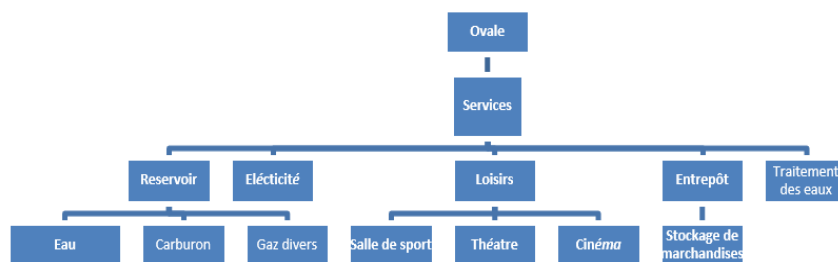
- Voierie/Espace publique
- Quais à bateaux
- Observatoire
- Diminuer la résistance aux courants marins

3. Forme elliptique :

Cette forme est accordée pour tout ce qui est lourd, le choix de la formule elliptique revient à des raisons hydrauliques.

La partie inférieure de forme elliptique sur 2 étages sera un lieu consacré à la fonction 0 service. Plus précisément on y placera tout ce qui représentera une charge lourde pour la plateforme afin de la stabiliser. On a pensé à un espace de stockage (vivres, eau, combustible), un espace de traitement des eaux usées, des pièces de loisirs nécessitant de grosses infrastructures (cinéma, théâtre, salle de sport...).

Fonctionprimaire



- Equilibre de la plateforme flottante
- Module de lestage/délestage
- Ancrage de la plateforme
- Diminuer la résistance aux courants marins
- Pouvoir directionner le déplacement de la plateforme

nction

IV- Architectures des modules types

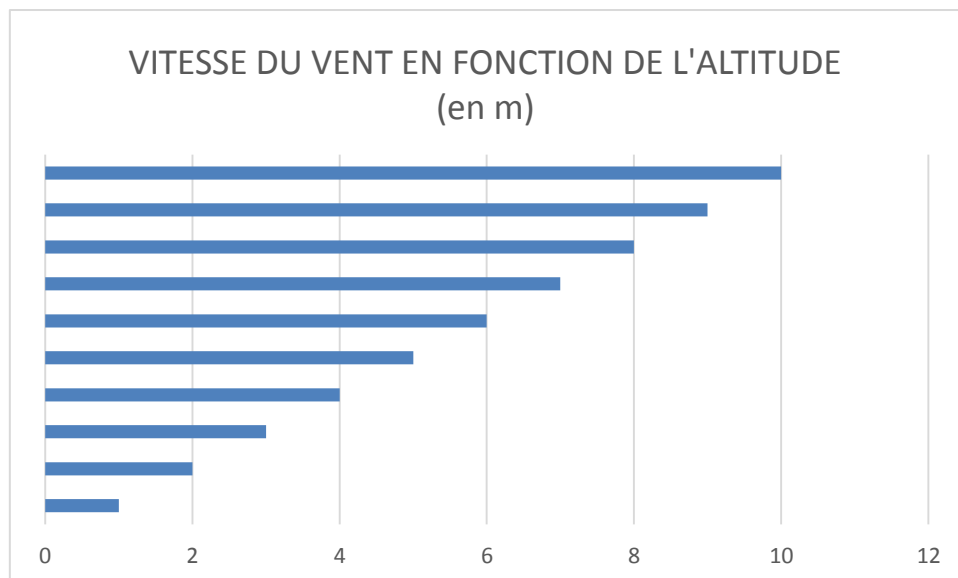
1. Surfaces :

Nous sommes partis dans l'idée de fournir une surface au sol de 100m² pour la partie habitation. Cette surface au sol permet un confort garanti selon NEUFERT. Une fois ces mesures établies nous

avons pu dimensionner les autres modules. La partie hexagone devait fournir assez d'espace au sol afin de dépasser de part et d'autre de la partie habitation de 3m afin de placer une voirie. On a choisi une hauteur de 5m dans la partie hexagonale afin de pouvoir y placer des machines encombrantes.

Module	Dimensions (m)	Surface (m ²)
Carré	10*10	100
Hexagone	8 / côté	166
Ellipse	Axe mineur : 14 Axe majeur : 7	77

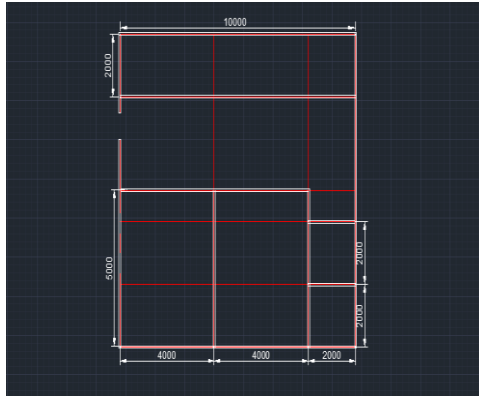
Nous avons limité le nombre d'étage d'habitation à 3. En effet cela constitue déjà une hauteur de bâti de 9 m. Pour limiter la prise au vent nous avons choisis de limiter la taille maximale de notre bâtiment à 10m. On sait en effet que la vitesse des vents varie avec l'altitude :



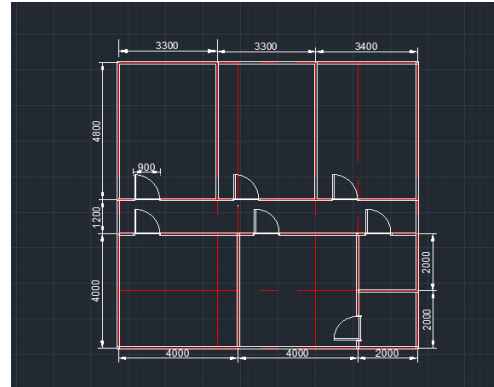
2. Plan Autocaddes différentes possibilités d'aménagement des modules

→ Module cubique :

-Fonction habitation type Appartement : 3 chambres (surface de 16m² chacune) séjour 16m², cuisine 16m², WC 4m², pièce de service 4m²



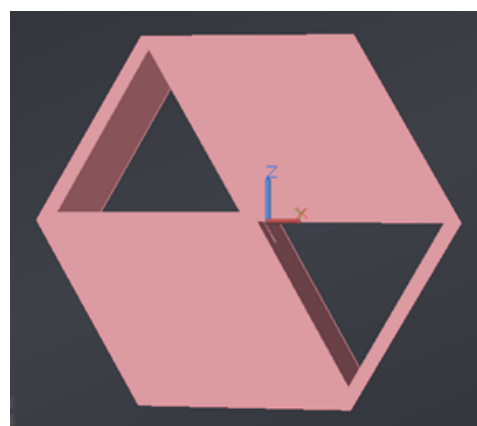
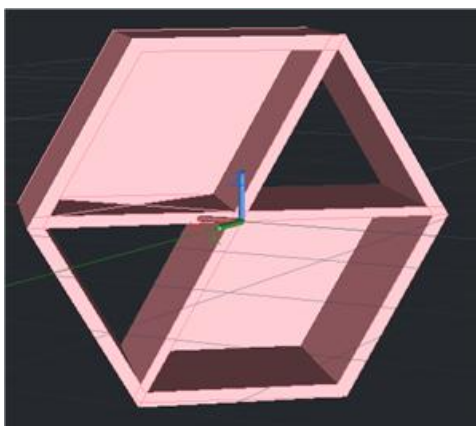
Fonction habitation collective type Dortoirs



Fonction habitation type Appartement F4

→ **Modèle hexagonale :**

Nous avons choisi un découpage de l'espace disponible en 2 losanges identiques et deux triangles. Cette structure symétrique permet d'offrir une bonne résistance aux charges appliqués sur le toit de la structure (voiries). De plus cela permet d'accueillir différentes activités dans la même structure. Les sols des 2 pièces triangulaires seront constituées d'un verre très épais pouvant servir à l'observation du paysage marin.



Fonction Emploi et activité

V- Estimation du poids propre des modules

- Le choix des matériaux :

- **Aluminium**

Léger et résistant, l'aluminium est l'alliage idéal. Une plateforme en aluminium c'est la garantie de légèreté et de robustesse. Ainsi qu'il offre une garantie d'entretien dans la durée. Les alliages d'aluminium résistent aisément à la pression exercée par l'air ou par l'eau et conserve, dans le temps, une parfaite stabilité. Rappelons notamment que cet alliage sert à fabriquer les ailes des avions, certaines parties des bateaux. Il présente aussi l'avantage d'être recyclable (Son recyclage ne requiert que 5 % de l'énergie nécessaire à sa production initiale.), il est incroyablement léger et n'exige que très peu d'entretien. Il possède par ailleurs d'indéniables qualités esthétiques. De manière générale, l'aluminium présente un écobilan (analyse de cycle de vie) très largement supérieur à celui des toitures conventionnelles. Son poids propre est de 2,3 à 2,6 kg/m².

- Léger et résistant
- Une parfaite stabilité
- Recyclable
- Poids propre : 2700 kg/m³

- **Acier**

Dans les techniques du bâtiment, l'acier est livré sous forme d'éléments prêts à être utilisés en association, souvent, avec d'autres matériaux. Sa modularité et sa flexibilité en font un acteur incontournable de la construction moderne. L'acier sert également à la fabrication des outils, tant manuels que motorisés, et des équipements de chantier : banches et coffrages divers, échelles, échafaudages, étais, etc. Matériau hautement créatif, l'acier permet de fabriquer toutes sortes de menuiseries, dans tous les styles possibles. L'acier s'utilise de plus en plus en couverture de toit et en bardage. De même, c'est le matériau d'ossature le plus courant pour les cloisonnements et les doublages isolants, en rénovation comme dans le neuf. Sa résistance mécanique permet de concevoir des ossatures légères, économiques, avec de longues portées et de vastes surfaces vitrées qui font bénéficier d'un maximum de lumière naturelle et d'apports gratuits de chaleur solaire.

Parmi ces caractéristiques :

- Modulaire et flexible
- Utilisable en couverture de toit et en bardage
- Résistance mécanique importante

- Poids propre : 8000 kg/m³

- **Fibre de verre**

L'utilisation de fibre de verre dans la construction permet : la réduction de l'entretien. Pas de calfatage, étanchéité. Les coques sont d'une seule pièce de PRVT (Polyester Renforcé au Verre Textile) sans joints ni solution de continuité permettant les rentrées d'eau à l'intérieur de la coque. Pas de retrait du bois après montage. Les coques en bois souffrent du retrait du bois qui sèche au soleil quand le bateau est mis à terre. Le PRVT ne souffre pas de retrait ou de gonflement, évitant ainsi les rentrées d'eau et le recalfatage. Inattaquable par les tarets, le PRVT est inorganique et ne pourrira pas. En tant que plastique, il ne sera pas rongé par les tarets. Electrolyse et corrosion réduite. Le PRVT est inerte. En tant que plastique, il ne peut être attaqué par la corrosion. Construction simplifiée et réduction du niveau de qualification requis après une formation de base.

- Résistance aux chocs
- Isolation acoustique et thermique
- Corrosion réduite
- Poids propre : 2600 kg/m³

VI- Type et calcul de charges mortes et charges vives

Afin de vérifier la flottabilité de notre plateforme il a fallu calculer le poids total. Nous distinguerons les charges vives des charges mortes. Les charges mortes sont constituées de tout ce qui compose la structure même de la plateforme. Les charges vives sont composées des vivres, du mobilier, des personnes à bord ainsi que des réserves d'eau et gaz

- ➔ Calcul charge morte par module en faisant l'hypothèse que le module habitation est entièrement fait en aluminium et l'hexagone et l'ellipse en fibre de verre.

module	Cube en aluminium	Hexagone en fibre de verre	éllipse en fibre de verre
masse volumique de la matière choisie (kg/m ³)	2700	2600	2600
épaisseur mur (cm)	8	10	10
Hauteur/ étage(m)	3	5	3
dimension base (m/coté)	10 *10	8 14 x 7	
Volume habitable (m ³)/étage	300	831,4	230,88
surface au sol (m ²)/étage	100	166,28	76,96
Volume matière/étages	35,66	53	38
Nombre étages	3	1	2
poids charge morte/étage (N)	944526,42	1351818	969228
Poids charge morte total (Tonnes)	2833,57926	1351,818	1938,456

→ Nous avons calculé les charges vives en faisant l'inventaire de celles-ci par module. On considère qu'une personne pèse 80kg. Le nécessaire salle de bain concerne tout son mobilier, les tuyaux et l'équipement des douches. Le nécessaire cuisine concerne tous son mobilier (frigo, congélateur, évier) ainsi que les équipements de cuisine. Le nécessaire activité pro comporte toutes les machines, les ateliers et les outils.

A	B	C	D	E	F
équipement module	Cube	Hexagone	Ellipse	charge vive (en tonnes)	
Lits	20	0	0	0,5886	
Nécessaire SDB	1	0	0	3,924	
Nécessaire Cuisine	1	0	0	9,81	
Nécessaire activités pro	0	1	0	98,1	
Réserve eau	0	0	1	196,2	
Réserve gaz	0	0	1	14,715	
Réserve nourriture	0	0	1	1,3734	
Véhicule	0	2	0	27,0756	
Moteur	0	0	1	4,905	
Occupants	20	25	10	43,164	
poids total charge vive(N)				399,8556	

VII- Calcul de flottabilité

Nous avons obtenu après le calcul des charges vives et mortes les résultats suivants afin de définir notre ligne de flottaison :

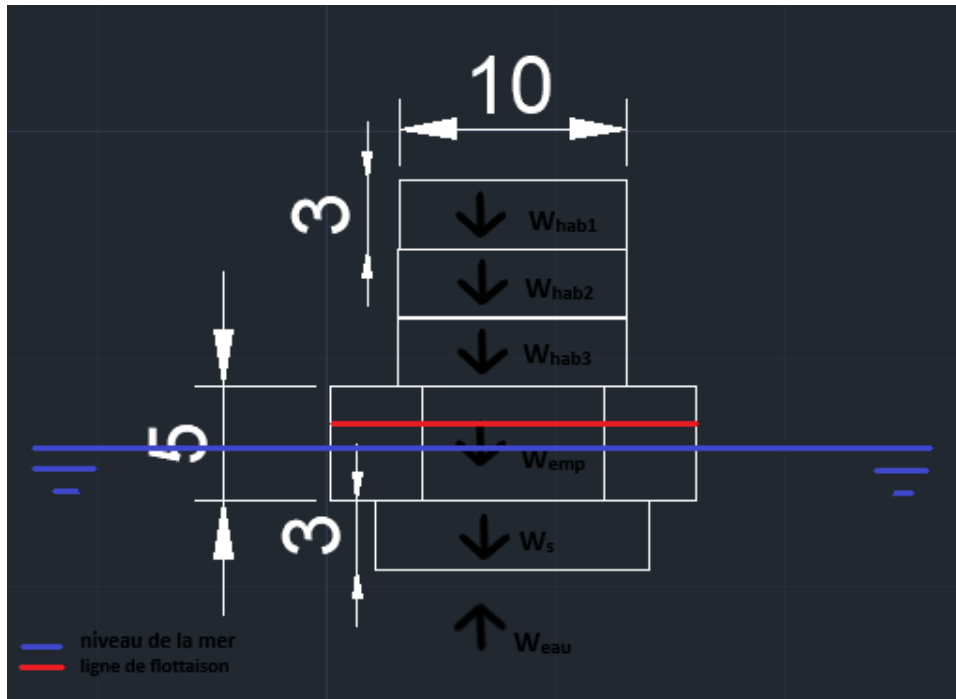
Poids total du module et de son équipement : 6523708 N soit **665 T**.

Volume totale : **2193 m³**

Masse volumique plateforme : **303kg/m³**

Afin de calculer la flottabilité de notre plateforme, il est primordial de définir la ligne de flottaison, qui représente le point d'équilibre de la partie immergée entre eau et air.

→La ligne de flottaison du module hexagone :



Pour calculer la hauteur H de cette ligne nous avons utilisé le **principe d'Archimède** :

$$F_a = F_p$$

$$\rightarrow \rho_l \times V_i \times g = \rho_p \times V \times g$$

$$\rightarrow V_i = (\rho_p / \rho_l) \times V$$

$$\rightarrow V_i = 648 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow V_{\text{hexagone Immergé}} = V_i - V_{\text{Ellipse}} = 186,51 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow H = V_{\text{hexagone Immergé}} / \text{Surface au sol de l'hexagone}$$

$$\rightarrow H = 1.12 \text{ m}$$

Avec :

F_a = Poussée d'Archimède

F_p = poids du module

V_i = Volume immergé à déterminer

g = constante gravitationnelle

V = Volume totale du module

ρ_p = Masse volumique plateforme

ρ_l = Masse volumique eau salée

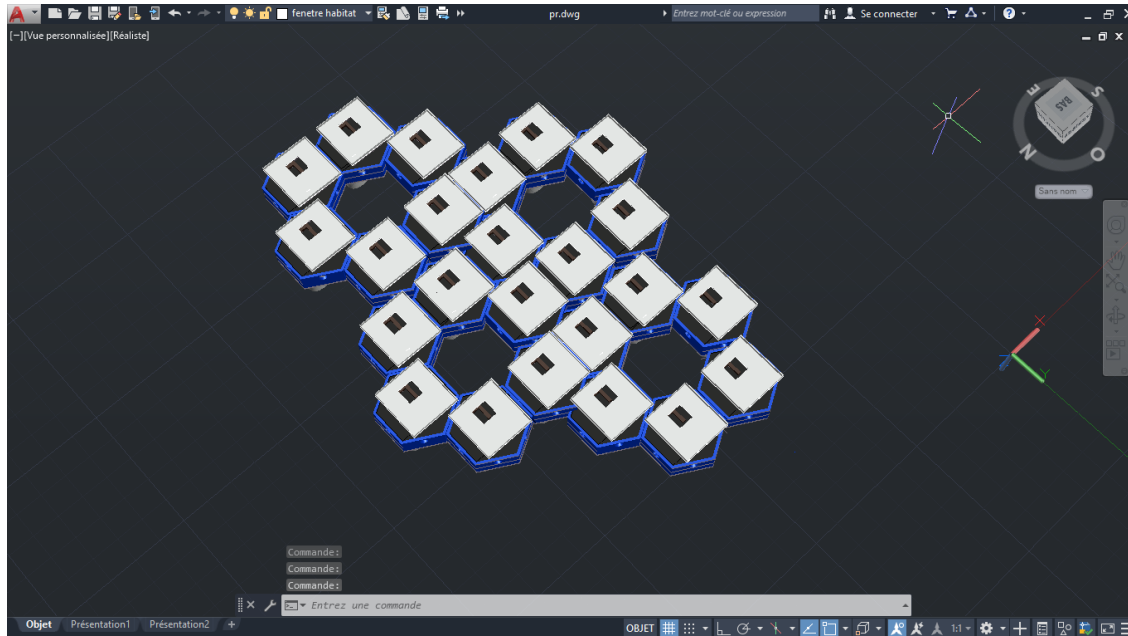
H = hauteur ligne flottaison

D'après nos calculs la ligne de flottaison sera située à 1m12 au-dessus de la coque elliptique.

On se retrouve donc avec un module hexagonal immergé à 1/5 -ème ce qui est en accord avec les résultats attendus.

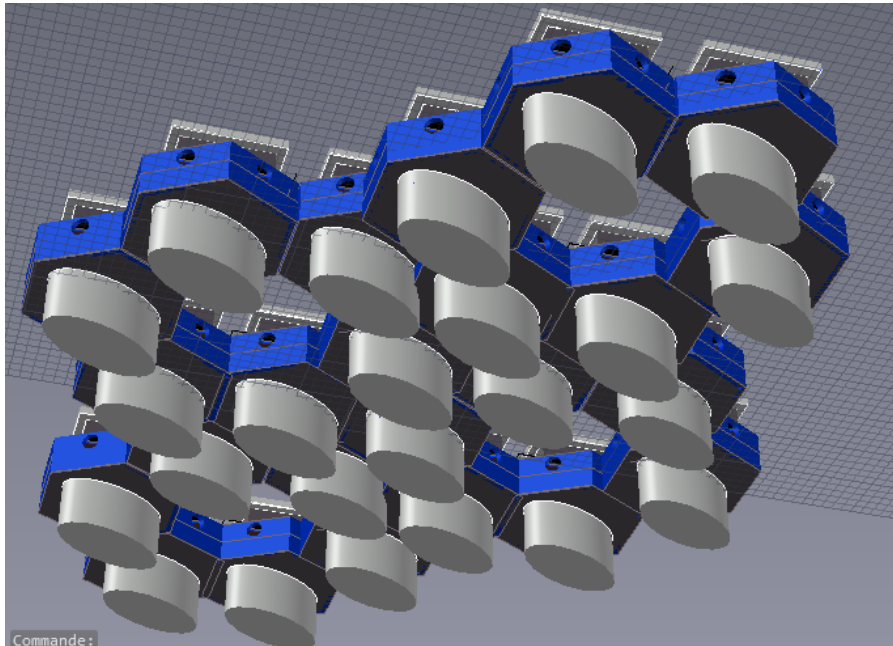
VII- D'une plateforme à une ville

Vue aérienne :



Notre plateforme est destinée à s'assembler à 5 autres plateformes afin de constituer un hexagone à un niveau d'échelle supérieur. Cette hexagone viendra s'assembler à 5 autres hexagones supplémentaires chacun constituer de 6 plateformes. Ce schéma pouvant être répété à l'infini procure à notre projet un potentiel d'expansion illimité à l'image des villes s'étendant indéfiniment sur les campagnes. Chaque plateforme peut avoir un rôle bien spécifique : moteur, réunion, entreprises, logement, laboratoire, recherche. C'est donc dans l'idée d'une ville entière modulable que nous avons conçu notre plateforme de base

Vue maritime :



Le parallélisme de tous les axes des parties elliptique permet au courant marin de moins s'opposer à la plateforme. De plus cela permettra à la plateforme de tourner sur elle-même plutôt que de dériver lorsque ses courants seront trop forts.

Pour pouvoir assembler les plateformes ensemble nous avons penser à utiliser le système d'accrochage utilisé pour les containers lors de leur stockage sur les porte-containers :



Conclusion et perspective :

Au cours de cette PR nous avons appris beaucoup de nouvelles techniques de calcul, elles nous ont apporté sûrement un plus au niveau de nos connaissances puisque c'était notre première expérience en conception et en projet très concret. Nous avons pu arriver à un résultat très important pour notre projet et nous sommes convaincu qu'il va être un pas primordial dans la réalisation du projet et sa mise en place. Nous souhaitons aussi poursuivre par la suite les différentes étapes du projet

Bibliographie et références :

- Livre d'architecture : Neuffert
- Guy Dupuis « « Villes, réseaux et transport » »