

RAPPORT DE STAGE

3-ème Année Bachelor ARC
Architecte-Ingénieur

Réalisé par: LOUIS DEBRAY
Maître de stage: QUENTIN TOURTELIER
Directeur du Bureau d'étude - R&D

Du 8 avril au 7 juillet 2024



VESTACK
37 rue Bergère, 75009 Paris

Objectif principal : Conception architecturale et technique de gammes de modules dit « catalogue » répondant aux spécificités de la construction hors-site et bas carbone
Réalisation d'un cahier des charges exhaustif conçu en collaboration avec la direction marketing et le bureau d'étude central.

Objectif annexe :

- Alimentation de la base données technique à des fins d'automatisations.
- Réalisation de maquettes 3d sur Revit.
- Réalisation de perspectives

CONTENU

| | |
|---|----|
| REMERCIEMENTS | 3 |
| I- PRESENTATION DE VESTACK | 4 |
| II- RESUME DU STAGE | 5 |
| III- LE MACRO-PROCESSUS DE VESTACK | 6 |
| IV- GAMME DIMENSIONNELS DES MODULES DU TERTIAIRE..... | 6 |
| A- Le Module Vestack standardisé | 6 |
| B- Les contraintes propres aux modules | 7 |
| C- Rappel sur les normes INRS..... | 8 |
| D- LES ASSEMBLAGES DE MODULES, TYPES DE MODULES, ET FONCTION DE MODULE..... | 9 |
| E- LES GAMMES..... | 11 |
| V- STRUCTURE | 14 |
| A- Intégration de la structure primaire | 14 |
| B- Autopsie d'un module (détails des complexes) | 15 |
| C- Système de fondations | 16 |
| VI- CONTREVENTEMENTS..... | 17 |
| VII- CONCLUSION..... | 19 |
| VIII- ANNEXES | 20 |

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier dans un premier temps Mr Quentin Tourtelier mon maître de stage, pour sa sympathie, son dynamisme, sa pédagogie et finalement la confiance qu'il a placé en moi tout au long du stage.
Grace au temps qu'il m'a consacré et ses qualités de pédagogue j'ai pu comprendre rapidement les premières bases théoriques du système constructif particulier à l'entreprise Vestack.

Je suis également reconnaissant envers toutes l'équipe Vestack, pour m'avoir intégré dans leur équipe et m'avoir permis de garder le cap dans la réalisation de ce cahier des charges. Par leur gaieté et leur enthousiasme, j'ai eu la chance de travailler dans des conditions idéales.

Pour finir, je remercie les co-fondateurs de Vestack Sylvain Bogeat, Nicolas Guinebertière, Jean -Christophe Pierro, sans qui je n'aurais pas eu cette expérience.

Ce stage fut pour moi très enrichissant et gratifiant dans toutes les tâches que j'ai réalisées et les échanges que j'ai pu avoir. J'en ressort grandi avec un bagage technique passionnant.



I- PRESENTATION DE VESTACK

Vestack est une start-up née en 2019, elle conçoit des bâtiments modulaires dans une approche DFMA (Design For Manufacturing) à base de matériaux biosourcés destiné à des promoteurs immobiliers, des bailleurs sociaux. L'approche DFMA, repose sur les 3 principes suivant :

1. La réduction et la simplification des opérations d'assemblage en réduisant le nombre de pièces qui constituent un produit
2. L'estimation précoce et précise du coût des différentes propositions de conception pour une prise de décision informée
3. Les avantages de l'application de cette méthode a été prouvée et a permis pendant ces 30 dernières années à des centaines d'entreprises industrielles de fabriquer des produits à moindre coût et de meilleure qualité.

Face aux défis environnementaux, on ne peut plus construire comme on l'a fait jusqu'à présent. Et Vestack s'affirme comme étant un acteur majeur de la transition écologique et participe activement à la mise en œuvre d'un avenir durable.

« Alors que le secteur de la construction est l'un des plus polluant au monde, le bâtiment représente ¼ des émissions de gaz à effet de serre mondiale. C'est également un métier archaïque. Très peu de gain de productivité ces dernières années, une pénibilité du travail sur le chantier et également un cout de l'accès au logement très chère. Construire bas carbone ça coute très cher environ 20 à 25 % plus chère et personne ne veut payer pour ces surcouts » Affirme Sylvain Bogeat co-fondateur de Vestack.

« Les deux piliers technologiques qui nous distinguent sur le marché, d'une part la conception digitalisée, on travaille sur la conception de jumeaux numériques du bâtiments et l'automatisation de sa conception. D'autre part la construction de bâtiments en usine, donc des modules qui vont faire 4 mètres de large et jusqu'à 12 mètres de long. Et puis on les transporte par camion et on les empile comme un jeu de lego sur chantier » Nicolas Guinebertière deuxième co-fondateur de Vestack

« Bâtiments destiner à des hébergements collectifs, des lotissements, des bureaux, des bâtiments scolaires deux fois plus rapidement, neutre en carbone et sans surcout par rapport à la construction en carbone » Jean - Christophe Pierron » troisième co-fondateur de Vestack.



II- RESUME DU STAGE

Sous la tutelle de Mr Tourtelier le directeur du Bureau d'étude – R&D de Vestack, j'ai eu le privilège de participer à la réalisation d'un cahier des charges techniques.

Ce document préparé au sein du secteur R&D a pour volonté de proposer une orientation technique, et cherche à clarifier le système constructif, sous forme d'un cahier des charges. Il a pour destinataire les architectes qui collaborerons avec Vestack ...

Il a pour objet la définition des travaux de conception et de réalisation d'un bâtiment tertiaire (bureaux) et s'appuie sur les méthodes constructives définies au sein du secteur R&D, et les règles d'urbanisme en vigueur.

Le document s'oriente en deux grandes parties. La première concerne la conception de gammes de modules d'un bâtiment de bureaux. Et la deuxième, la description technique des modules en passant de la structure, à la façade et aux corps d'état technique et architecturaux.

Premièrement, il m'a fallu comprendre le système constructif des modules produits chez Vestack. Mon maître de stage m'a beaucoup aidé à comprendre le fonctionnement physique des modules et les lois et normes sous-jacentes à ce système constructif.

Il m'a fallu ensuite résumer l'ensemble des contraintes qui s'appliquent aux modules. Pour créer finalement des gammes de modules dans le tertiaire. Et décrire de manière synthétique et schématique l'ensemble technique des modules 'standardisé' du tertiaire.

Ces travaux rassemblent à mon gout deux facettes qui me plaisent particulièrement. Ils allient à la fois la conception d'espace très contraint faisant naître des solutions créatives et également l'aspect technique qui cherche à trouver l'ensemble des solutions technique comme la structure des modules, l'ancre au sol, le couturage, le levage des modules.

INTERSHIP SUMMARY

Under the guidance of Mr. Tourtelier, the director of the R&D Study Office at Vestack, I had the privilege of participating in the creation of a technical specification document. This document, prepared by the R&D department, aims to provide technical guidance and clarify the construction system in the form of a specification. It is intended for the architects collaborating with Vestack.

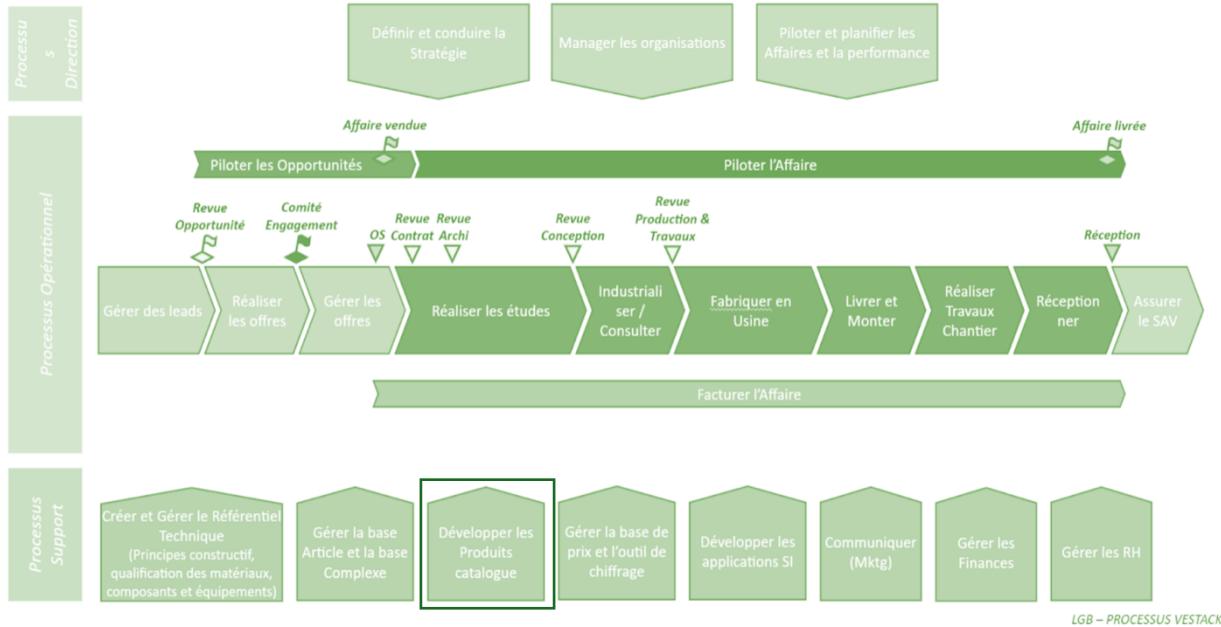
The purpose of the document is to define the design and construction work of a commercial building (offices) based on the construction methods established by the R&D department and the current urban planning regulations. The document is divided into two main parts. The first part concerns the design of ranges of office building modules. The second part provides a technical description of the modules, covering aspects such as structure, facade, and technical and architectural trades.

Firstly, I needed to understand the construction system of the modules produced at Vestack. My internship supervisor greatly assisted me in understanding the physical functioning of the modules and the laws and standards underlying this construction system. I then had to summarize all the constraints applicable to the modules to ultimately create ranges of office modules and provide a concise and schematic description of the 'standardized' technical aspects of these modules.

I find that this work combines two aspects that I particularly enjoy. It merges the design of highly constrained spaces, which fosters creative solutions, with the technical aspect, which involves finding all the technical solutions, such as the structure of the modules, anchoring to the ground, stitching, and lifting the modules.

III- LE MACRO-PROCESSUS DE VESTACK

Voici ci-contre le déroulé d'un projet chez Vestack, de l'étape d'appel d'offre, jusqu'à la réception du projet. Tout au long du projet le processus de support vient améliorer continuellement le processus opérationnel.



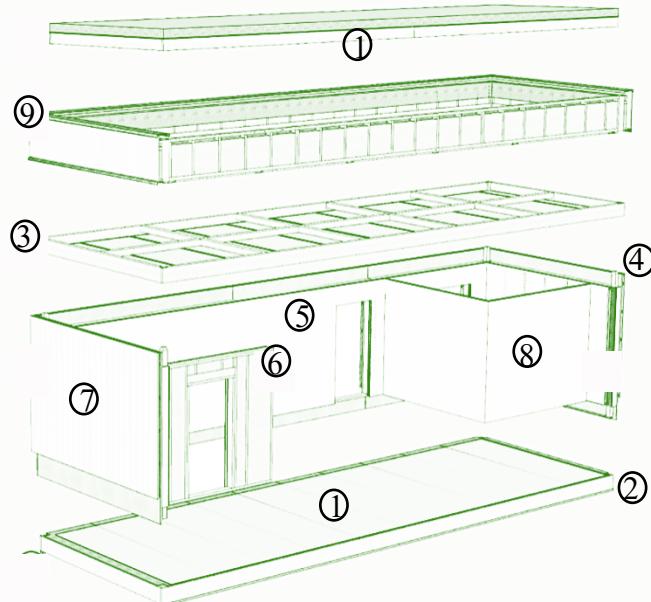
Mon stage intervient dans la partie support du développement des produits catalogue.

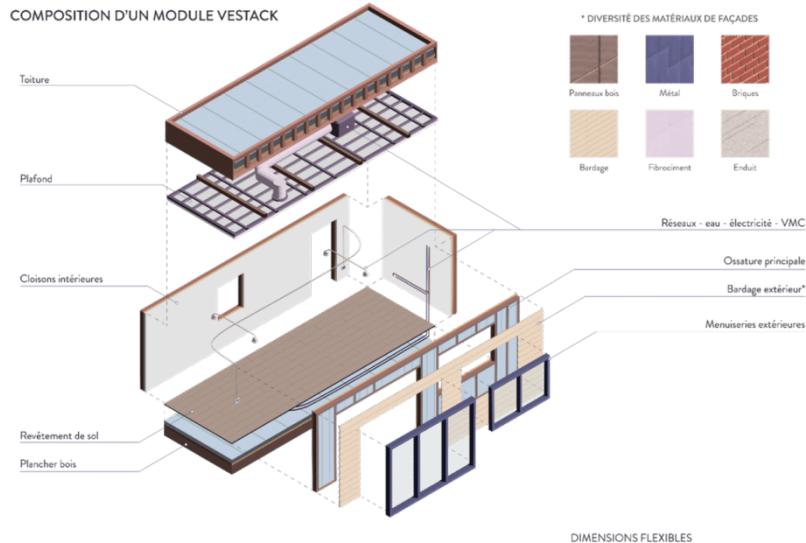
IV- GAMME DIMENSIONNELS DES MODULES DU TERTIAIRE

A- Le Module Vestack standardisé

Les modules Vestack sont divisés en 10 complexes / corps qui regroupent en eux même différents matériaux. Les combinaisons de matériaux au sein des complexes sont multiples et forment des complexes variés. Chaque complexe va avoir des spécificités physiques et techniques qui leur sont propres et qui permettent de répondre aux enjeux du site, aux contraintes structurelles et aux besoins du clients.

- 1- Revêtement sol
- 2- Plancher bas
- 3- Plancher haut
- 4- Faux plafond
- 5- Finition intérieur
- 6- Ossature bois
- 7- Finition extérieur
- 8- Cloison
- 9- Acrotère
- 10- Charpente





B- Les contraintes propres aux modules

J'ai résumé les contraintes principales concernant le dimensionnement des modules d'un bâtiment de bureau et les enjeux principaux qui en découlent dans le tableau ci-contre. Ce tableau cherche à orienter les recherches pour trouver des solutions à ces enjeux

| CONTRAINTE DE VESTACK POUR LES BUREAUX | | | |
|---|--|---|---|
| CONTRAINTE | BORNES CHIFFRES / PHYSIQUES | ENJEUX LIEES A CES CONTRAINTES | SOURCES |
| Gabarit routier | Largeur modules inférieur à 3m | Pour rester dans la catégorie 1 de convoi exceptionnel il faut que la largeur du module soit inférieur à 3 m. | Sur service-public.fr : https://entreprendre.service-public.fr/vosdroits/F23661 |
| Hauteur et HSP (Hauteur sous plafond) | -Dans les Bureaux la HSP est supérieure ou égale à 2,5 m -La hauteur des murs standards est de 2,805 m | Gestion des gaines dans le Faux Plafond avec un espace maximal de 305 mm pour les faire passer. | -Master R et D : Hauteur des murs (Document confidentiel, interne à Vestack conçu par le secteur R&D qui renseigne les avancées techniques standardisées des modules) https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%202023 |
| Utilisation du bois | -Pas de 0,3 m dans la largeur et la longueur du module pour optimiser le taux de chute. -Longueur des barres limitées à 13 m pour les capacités de machine. -Sections Limitées 200 mm *420 mm pour les capacités de machine. -Murs et poteaux structurels doivent être alignés. | Mise en place de poteaux si la portée est trop grande voir partie ... | -Master R et D : (Document confidentiel, interne à Vestack conçu par le secteur R&D qui renseigne les avancées techniques standardisées des modules) |

De l'ensemble de ces contraintes il en ressort les dimensions de modules en ossature 120 présents dans les abaques en annexe 1.

C- Rappel sur les normes INRS

Afin de réaliser les gammes de modules de bureaux, il m'a fallu respecter l'ensemble des normes de l'institut national de recherche et de la sécurité INRS. Ce sont elles qui font fois dans le dimensionnement des espaces de bureaux. En effet normes INRS couvrent la prévention des accidents du travail, et des maladies professionnelles mais également les prérequis quant aux espaces professionnels.

| Normes INRS : Répartition de l'espace pour l'ensemble des bureaux | | |
|--|--|---|
| Objectifs | Moyens | Références chiffrés |
| A- Un espace optimal par personne | -Calculer le ratio m^2 personne | Surfaces minimales recommandées* : <ul style="list-style-type: none"> - $10 m^2$ par personne, que le bureau soit individuel ou collectif - $15 m^2$ si l'activité est fondée sur des communications verbales (exemple : Centre d'appels téléphoniques) |
| | -Éviter les bureaux tout en largeur | <ul style="list-style-type: none"> -Longueur <2 fois la largeur (Pour les bureaux <$25 m^2$) -Longueur <3 fois la largeur (Pour les bureaux > $25 m^2$) |
| | Répartir l'espace en bureaux individuels et collectifs en fonction de nombreux critères tels que type de travail, niveau hiérarchique, communications téléphoniques, visiteurs extérieurs, relations transversales... | <ul style="list-style-type: none"> -Optimum pour un bureau collectif : 2 à 5 personnes correspond à un petit groupe de travail** -Pour les bureaux paysagers, éviter un effectif supérieur à 10 personnes pour chaque unité de travail |
| B- Une circulation aisée | <ul style="list-style-type: none"> -Couloirs d'une largeur suffisante et pas trop longs -Optimiser la distance et l'emplacement des bureaux par rapport aux ascenseurs, escaliers, toilettes, vestiaires, photocopie, rangements, appareils à boisson, salles de réunion, ordinateurs em libres-services -Prendre en compte l'accessibilité des personnes handicapées | Couloirs de largeur > 150 cm *** |

* m^2 utiles excluant les circulations et les autres locaux et à moduler en fonction de l'activité de travail

**Définition : objectifs et commandement commun de l'unité de travail, stabilité du groupe, faible effectif.

***Cette dimension correspond aux valeurs réglementaires en cas d'incendie pour un nombre de personnes compris entre 20 et 50. Elle permet également à 2 personnes de se croiser sans se gêner et l'évolution d'un fauteuil roulant pour handicapé

D- LES ASSEMBLAGES DE MODULES, TYPES DE MODULES, ET FONCTION DE MODULE.

Dans les bureaux on retrouve 5 types d'assemblages de modules :

- Assemblage de modules avec couloir excentré (1)
- Assemblage de modules avec couloir centré (2)
- Assemblage de modules en extrémité du bâtiment (3)
- Assemblage de deux modules sur la largeur (5)
- Assemblage de modules formant un coude (4)

De 4 types de modules différents :

- Module simple avec couloir excentré (1)
- Module mixte avec couloir centré (2)
- Module sans couloir (3) et (5)
- Module avec gestion de couloir particulière (4)

8 fonctions différentes :

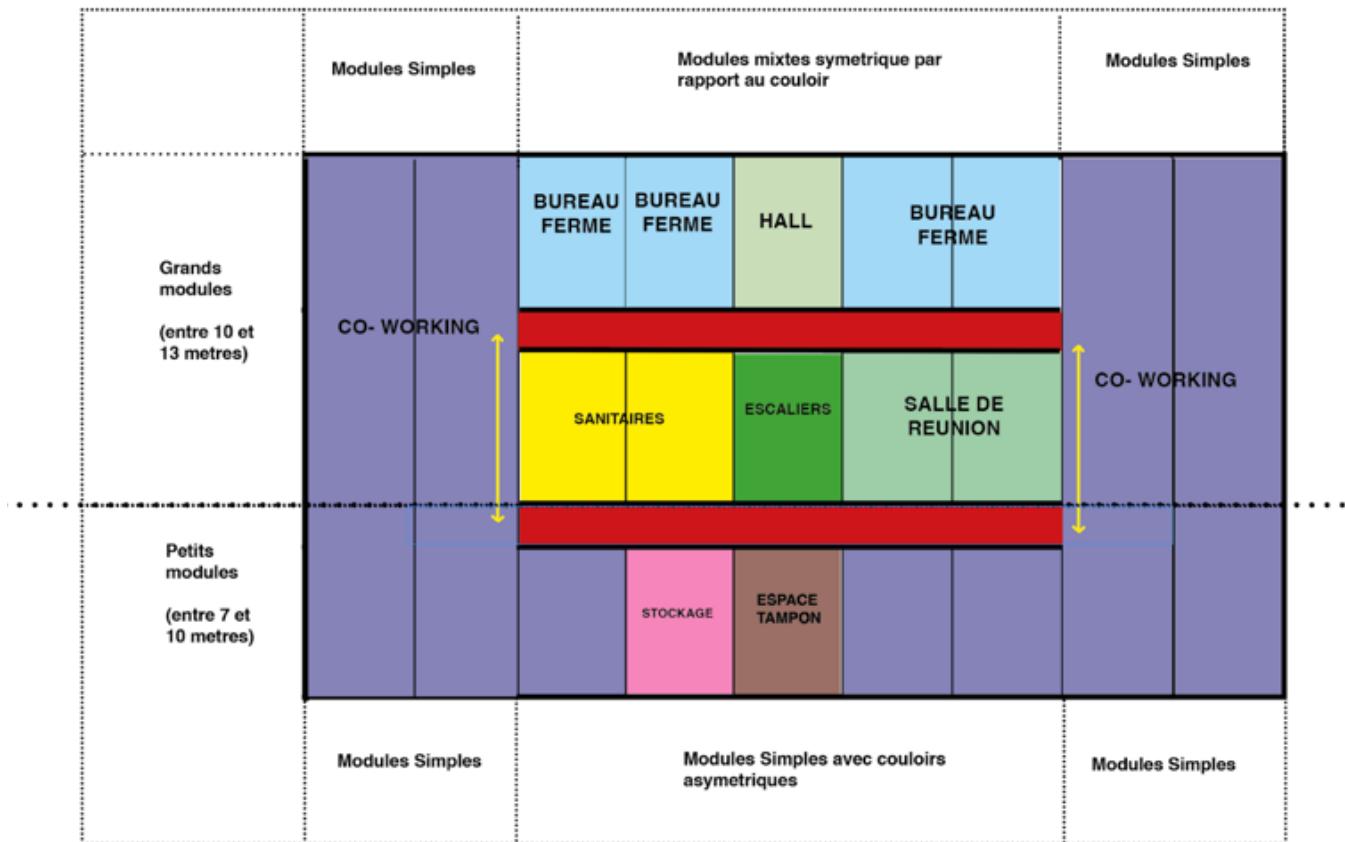
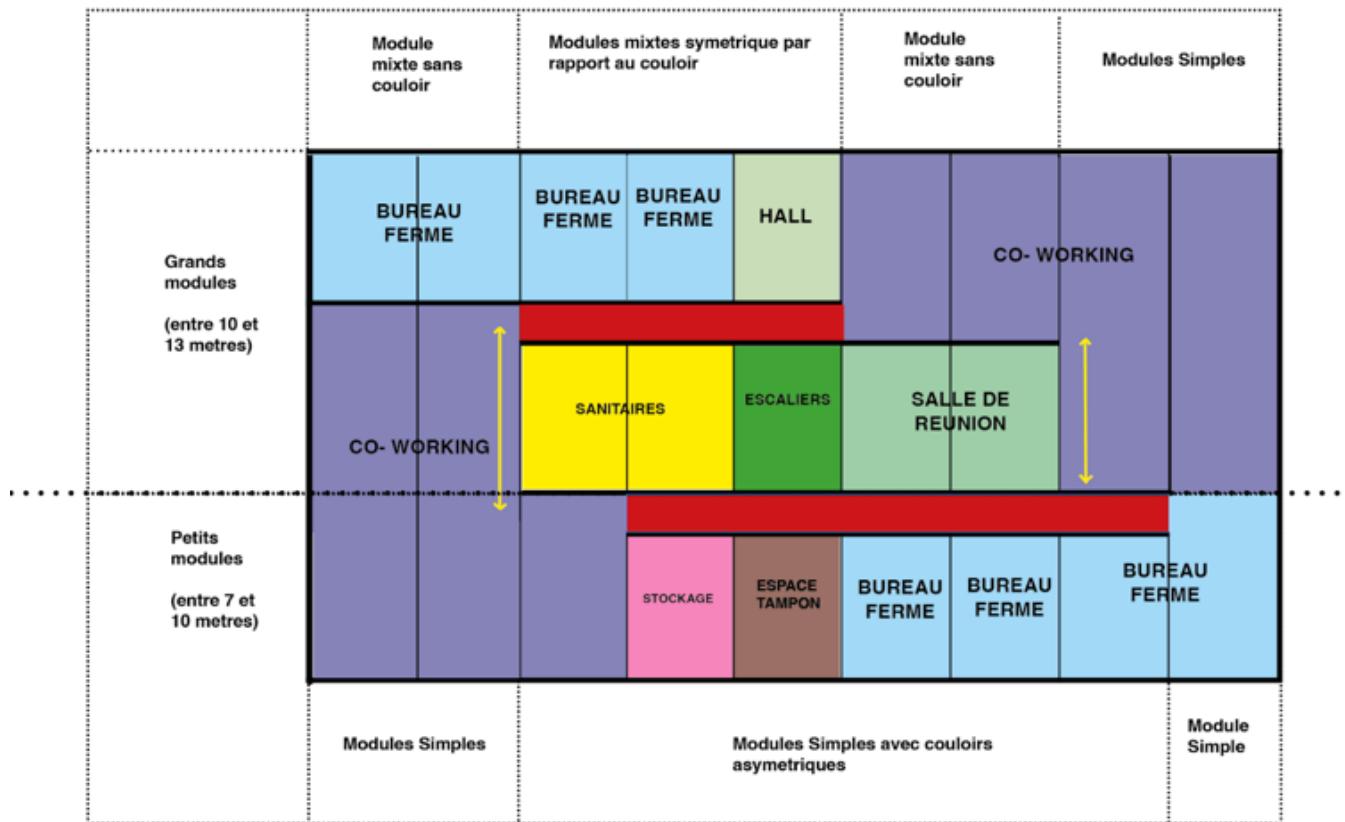
- Espace de coworking
- Sanitaire
- Bureaux simples
- Espace d'impression
- Espace de stockage
- Hall
- Escalier
- Espace de réunion

Quelques données :

Il existe alors $8 \times 8 = 64$ possibilités de modules mixtes

| | ASSEMBLAGES ET TYPOLOGIES | | | | |
|------------------------|--|---|---|------------------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| ASSEMBLAGES DE MODULES | | | | | |
| TYPLOGIE DE MODULES | | | | | |
| NOMENCLATURE | 'Unifonctionnel avec couloir le long de la façade' | 'Multifonctionnel, symétrie/asymétrie par rapport au couloir' | | 'Simples sans couloir' | 'Avec gestion du couloir particulière' |

Voici deux plans de RDC de bureaux, exemples de composition de modules.



E- LES GAMMES

a. MODULE BUREAUX FERMÉS

| Gamme de Bureaux Fermés (entre deux modules) | | | |
|--|--|--|---|
| Types d'assemblage | : Cloison : Mur | | |
| | | | |
| Types de modules | Module ouvert 2 long-pan de type 'unfonctionnel avec couloir le long de la façade' | Module ouvert 2 long-pan de type 'mixte symétrique par rapport au couloir' | Module ouvert 2 long pan de type 'mixte asymétrique par rapport au couloir' |
| Norme | Surface inférieure à 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur | Surface inférieure à 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur | Surface inférieure ou égale 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur |
| Schéma de la Gamme | | | |

| Gamme de Bureaux Fermés avec modules ouverts 1 long-pan | | | |
|---|--|--|---|
| Types d'assemblage | : Cloison : Mur | | |
| | | | |
| Types de modules | Module ouvert 1 long-pan de type 'unfonctionnel avec couloir le long de la façade' | Module ouvert 1 long-pan de type 'mixte symétrique par rapport au couloir' | Module ouvert 1 long pan de type 'mixte asymétrique par rapport au couloir' |
| Norme | Surface inférieure à 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur | Surface inférieure à 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur | Surface inférieure ou égale 25 m² donc longeur inférieure à 2 fois la largeur |
| Schéma de la Gamme | | | |

b. MODULE OPEN SPACE

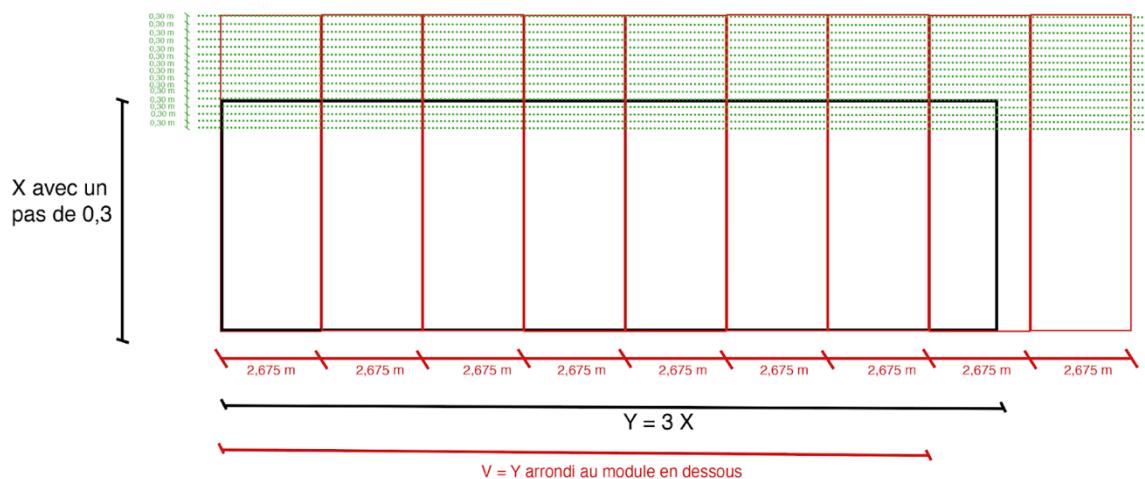
Nous nous sommes positionnés sur une gamme d'Open Space au sein d'une même dimension de module de largeur de 2,675 inférieurs à 3 mètres pour rester dans la catégorie de transport exceptionnel 1.

Un open space sera toujours composé de plusieurs modules décloisonnés assemblés les uns contre les autres sur le côté de la longueur du module.

Afin de dimensionner nos Open Space, il est intéressant de remarquer que la borne maximale du dimensionnement de l'open space est contrainte par la norme suivante :

- Pour un espace de plus de 25 mètres carré (ce qui est toujours le cas pour un open space) la dimension de la longueur de l'espace doit être inférieure à 3 fois la largeur afin d'éviter les bureaux tout en longueur.

Les abaques en annexe vous permettent de déterminer combien de modules au maximum on peut assembler côté à côté en fonction de la longueur des modules choisis afin de respecter la norme ci-dessus.



c. MODULES SANITAIRE H/F

| GAMME DE SANITAIRES PMR | GAMME DE SANITAIRES NON PMR | |
|-------------------------|-----------------------------|----------|
| 2 à 1 WC dont 1 PMR | 3 à 2 WC | 7 à 3 WC |
| | | |

Arrêté du 8 décembre 2014 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées des ERP et des installations ouvertes au public

Article 12 : Cet arrêté stipule que dans les établissements recevant du public (ERP), ce qui inclut les bureaux, un cabinet d'aisances pour les personnes handicapées doit être présent par groupe de dix cabinets d'aisances ou fraction de ce groupe, pour chaque sexe. Lorsque le nombre de cabinets d'aisance est inférieur à 10, il suffit d'un cabinet accessible pour les deux sexes.

d. MODULES ESCALIER

| GAMME ESCALIERS | |
|-----------------|--------------------------------|
| ESCALIER DROIT | ESCALIER DOUBLE QUART TOURNANT |
| | |

On passe à un module d'escalier droit à un module à deux quarts tournants lorsque la dimension du module diminue.

V- STRUCTURE

A- Intégration de la structure primaire

Les modules doivent nécessairement être constitués d'éléments structuraux de type barre tels que :

- Des porteuses en lamellé-collé portant de mur à mur dans le sens de la longueur du module
- Des poteaux en bois massif reconstitués ou collés afin de ne pas trop dégrader la hauteur sous plafond sous porteuse

La section de porteuses en GL24h utilisées est de 90x220

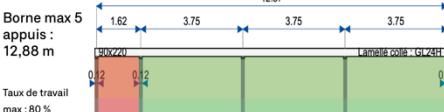
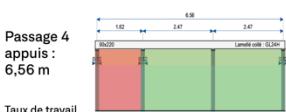
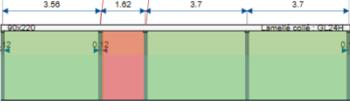
On précisera que lorsqu'un module possède un couloir, les poteaux se positionnent contre le couloir laissant un espace de 1m50 de largeur de couloir, de nu extérieur à nu extérieur des poteaux (les poteaux ne doivent pas entraver le passage de 1,5m).

Rappel hypothèse de calcul :

-Charge gravitaire reprise par la porteuse (plancher haut et plancher bas : 0,940 KN/m²)

Le tableau ci-dessous indique les prédispositions nécessaires des poteaux sous porteuses en fonction des dimensions de module standard.

INTEGRATION DE LA STRUCTURE PRIMAIRE

| MODULES AVEC COULOIR EXCENTRÉ ET SUR LE COTÉ | MODULES AVEC COULOIR CENTRÉ | MODULES AVEC COULOIR EXCENTRÉ |
|--|---|--|
|  <p>Borne max 5 appuis : 12,88 m Taux de travail max : 80 %</p>  <p>Passage 4 appuis : 6,56 m Taux de travail max : 60 %</p>  <p>Passage 3 appuis : 5,09 m Taux de travail max : 70 %</p> |  <p>Borne max 6 appuis : 12,88 m Taux de travail max : 65 %</p>  <p>6 appuis : 10,48 m Taux de travail max : 51 %</p>  <p>Passages 4 appuis : 10,48 m Taux de travail max : 77 %</p> |  <p>6 appuis : 12,58 m (5090-1620-5990) Taux de travail max : 70 %</p>  <p>6 appuis : 12,58 m (4490-1620-6590) Taux de travail max : 75 %</p>  <p>Passage 5 appuis : 12,58 m (3590-1620-7490) Taux de travail max : 85 %</p> |

Ce tableau permet d'observer le nombre d'appuis qui diminue en fonction de la diminution de la longueur des modules. On observe cette optimisation sur 3 typologies de modules en lecture horizontale (Modules avec couloir excentré sur le côté, modules avec couloir centré, modules avec couloir excentré).

On entre les différentes configurations dans le logiciel « Accord Express » ainsi que les différentes hypothèses de calcul.

Le taux de travail max axial agissant en tant qu'indicateur de validation pour la position des poteaux.

Formules du taux de travail axial max :

$$\left| \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right|$$

$\sigma_{t,0,d}$ Contrainte de traction.
 $f_{t,0,d}$ Limite caractéristique de résistance à la traction

$\sigma_{m,y,d}$ Contrainte de flexion.
 $f_{m,y,d}$ Limite caractéristique de flexion à la traction

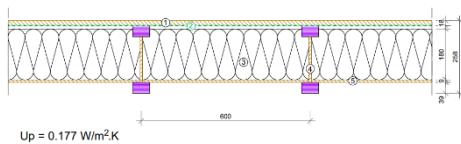
Formule du taux de travail de cisaillement max :

$$\frac{|\tau_{z,d}|}{f_{v,d}}$$

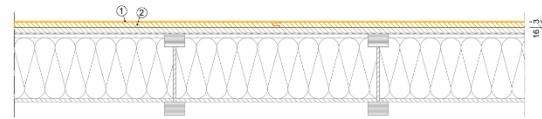
$\tau_{z,d}$ Contrainte de cisaillement.
 $f_{v,d}$ Limite caractéristique de résistance au cisaillement

B- Autopsie d'un module (détails des complexes)

-Le plancher bas



- ① Panneau de diaphragme PFLEIDERER PremiumBoard MFP P5 ép.18mm
- ② Membrane frein vapeur type SIGA Majox
- ③ Isolation LdV type ISOVER ISOFACADE 35R ép.18mm
- ④ Solvage poutre en I type INNOVOST 60x240mm²
- ⑤ Panneau de fond de caisson OSB3 ép.9mm

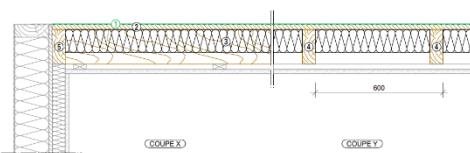


- ① Revêtement de sol souple PVC ép.3mm (pose sur site)
- ② Dallage PFLEIDERER PremiumBoard MFP P5 ép.16mm rainuré bouveté

| Code | Titre | |
|----------------|---|---------|
| L5 | Panier de fond de caisson-diaphragme (parcours de site) | PB001 |
| Date rédaction | | VESTACK |
| 01/02/2019 | | R&D |

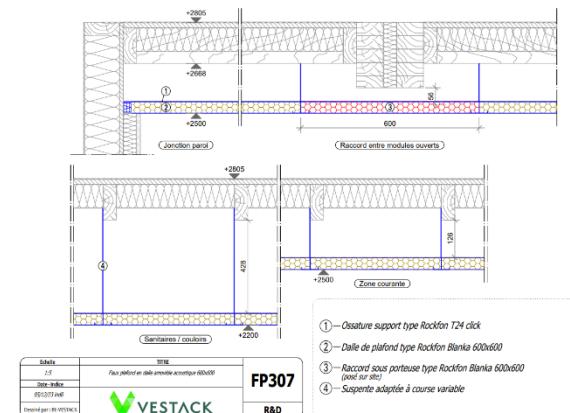
| Code | Titre | |
|----------------|------------------------------------|---------|
| L5 | Revêtement au sol sur isolant bois | SO 003 |
| Date rédaction | | VESTACK |
| 12/08/21 R&D | | R&D |

-Le plancher haut



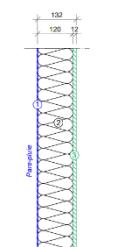
- ① Membrane frein vapeur type SIGA Majox
- ② Panneau de diaphragme PFLEIDERER PremiumBoard MFP P5 ép.18mm
- ③ Isolation en plâtre type ISOVER PB38 75mm
- ④ Solvage BMA C45x120mm²
- ⑤ Muraille BMA C45x120mm²

| Code | Titre | |
|----------------|-----------------------------------|---------|
| L5 | Panier haut membrané - Solvage L2 | PH001 |
| Date rédaction | | VESTACK |
| 05/03/2019 | | R&D |



- ① Ossature support type Rockfon T24 click
- ② Dalle de plafond type Rockfon Blanka 600x600
- ③ Raccord sous porteur type Rockfon Blanka 600x600 (pose sur site)
- ④ Suspente adaptée à course variable

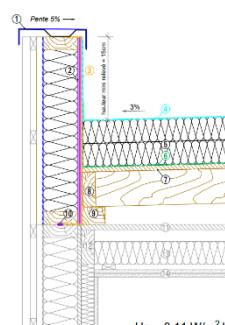
-L'ossature et le module de couronnement.



- ① Écran facade type SIGA Majcoat
- ② Ossature bois 45x120mm CL2 + isolant LDV 35 ép.120mm
- ③ Contreventement MFP P5 12 mm + Scotch PV

R = 3.43 m².K/W

| Code | Titre | |
|----------------|----------------------|---------|
| L5 | Ossature bois 45x120 | OB002 |
| Date rédaction | | VESTACK |
| 05/03/2019 | | R&D |



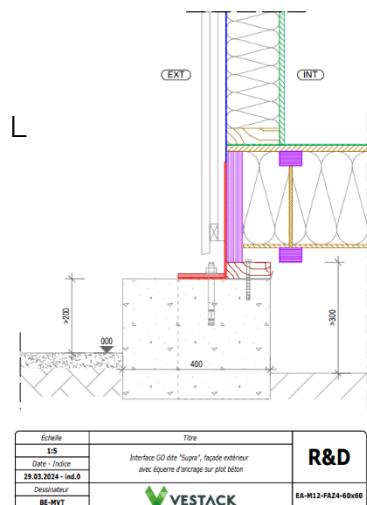
- ① Couverture aluminium RAL à définir
- ② Relié d'étanchéité CTBX 15mm*
- ③ Membrane pare-vapeur type SIGA Majox 25
- ④ Membrane étanchéité EPDM type FIRESTONE Rubberband*
- ⑤ Isolation panneau PIR type UNILIN Lithem Roof K (2x80mm)
- ⑥ Écran pare-vapeur V-Gard*
- ⑦ Panneau support étanchéité PFLEIDERER MFP P5 ép.18mm
- ⑧ Structure portante BMA C45x120mm²
- ⑨ Fourrure de pente 1% 60x80mm²
- ⑩ Joint étanchéité air comprimé 103-7

| Code | Titre | |
|----------------|--|---------|
| L5 | Coupe vertical - Débit chaleur nécessaire 12 | CH001 |
| Date rédaction | | VESTACK |
| 05/03/2019 | | R&D |

Attention réglementaire : Voir :
NF P1 42-4 P1-1 8.2.4 - Couche de bois ou en contreplaqué
NF P1 52-19-2018 V1 - Feutre RuberGard IPOM en référence
NF P1 52-19-2018 V1 - Feutre RuberGard IPOM en référence
Arrêté du 25 juil 1980 - Arrêté AMB - Procédé d'isolation - Annex II - 1.2.3 - Toiture à élément pénétrant
couche de bois ou en contreplaqué débris de bois.

C- Système de fondations

- Fondation Supra



La lisse d'implantation est installée à 200 mm du terrain fini.

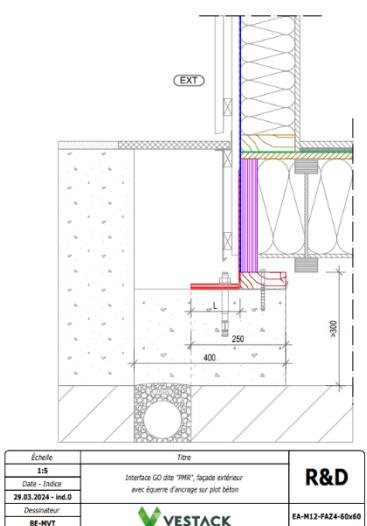
Le vide sanitaire est décaissé de manière à obtenir 300 mm de libre sous le plancher bas.

Cette interface nécessite la mise en place d'une rampe pour accessibilité PMR (pente 3%). Autrement un simple escalier 3 marche peut convenir.

Solution activable rapidement ne nécessitant que très peu de travaux de fondation.

Un habillage métallique ou enduit de propreté peut être exigé en pied de fondation afin de soigner l'aspect de la longrine et/ou dissimuler l'ancrage.

- Fondation PMR



Le pied de module est protégé du terrain par l'aménagement d'un caniveau périphérique.

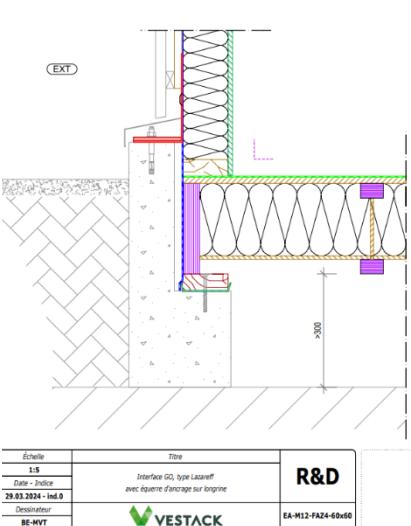
Celui-ci permet de répondre aux exigences de garde au sol demandé par le DTU 31.2 Le vide sanitaire est décaissé de manière à obtenir 300 mm de libre sous le plancher bas.

Cette interface permet un accès PMR mais nécessite la mise en place d'une grille caillbotis en périphérie de l'ouvrage. La maille de la grille est en 20x20mm² afin de convenir aussi bien aux usages d'habitations que d'ERP.

Un capotage métallique peut être installé en fond de caniveau afin de protéger le pare-pluie dans le temps.

Il peut aussi être installé un pare-pluie UV maintenu par des tasseaux CL3 ou des pastilles agrafées.

- Fondation Lazareff



Le pied de module est protégé du terrain par une planelle béton en érection de 200 mm par rapport au terrain naturel.

Le vide sanitaire est décaissé de manière à obtenir 300 mm de libre sous le plancher bas.

Cette interface permet un accès PMR mais doit cependant anticiper le passage des seuils. L'interruption de la planelle béton au passage des seuils nécessite un soin tout particulier en termes d'étanchéité à l'eau.

Un capotage métallique formant larmier doit être installé en saillie de bardage afin de recouvrir la planelle et empêcher toute pénétration d'eau entre le module et la fondation.

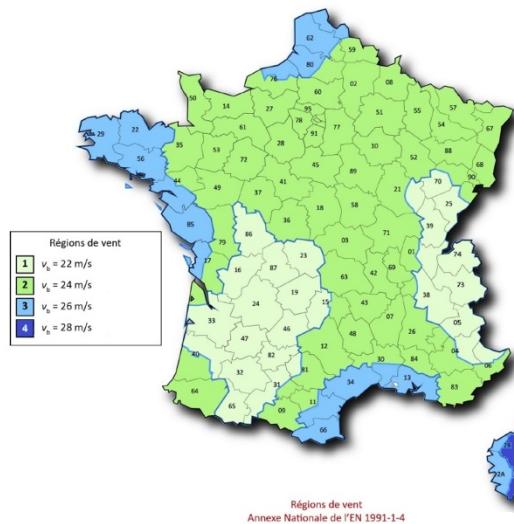
Ce système nécessite l'intégration de cours anglaises (1/150ème)

VI- CONTREVENTEMENTS

Dans les régions soumises à des vents forts, les murs d'un bâtiment modulaire subissent une pression importante. Les contreventements jouent alors un rôle essentiel en renforçant la stabilité de la structure en s'opposant à cette pression. Ainsi, il m'a été demandé d'élaborer des matrices précisant le nombre de murs de contreventement nécessaires en fonction des dimensions des modules et de la pression dynamique de pointe pondérée du vent. Cette dernière correspond à une caractérisation de la zone géographique en France où le bâtiment sera implanté.

A-Zonage du vent, division géographique en zones de vent :

La France est divisée en plusieurs zones de vent (zones 1, 2, 3 et 4, parfois 5 pour les zones cycloniques comme la Réunion). Ces zones sont définies en fonction de la vitesse moyenne des vents enregistrés et des risques spécifiques liés à des vents violents.



B-Pression dynamique de pointe pondérée (Norme NF EN 1991-1-4 ou Eurocode 1)

La pression dynamique de pointe du vent (q) est calculée en fonction de la vitesse du vent (v) et de la densité de l'air (ρ), selon la formule suivante :

- **Vitesse du vent (v) :**
 - Elle est définie pour des conditions spécifiques : 10 m de hauteur, terrain plat, 50 ans de période de retour.
 - Des ajustements sont faits pour tenir compte de la rugosité du terrain et de l'altitude.

- **Facteurs d'ajustement :**
 - **Rugosité** : Les zones urbaines, forestières ou plates influencent la vitesse du vent. Les coefficients de rugosité permettent de corriger la vitesse en fonction du terrain.
 - **Altitude** : Plus l'altitude est élevée, plus le vent est rapide. Un coefficient d'altitude est appliqué pour en tenir compte.
 - **Exposition** : La proximité de la mer ou d'obstacles naturels influence la force des vents.

C-Matrice des murs de contreventements pour un bâtiments Vestack (1. Étage, 2 Étages, 3 Étages)

1 étage

| Longueur (m) | LARGEUR (longueur d'un module (m)) | Pression dynamique de pointe pondérée (kN/m ²) | | | | | | | |
|--------------|------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0,7 | 0,9 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2 | 2,7 |
| 3 | 1,2 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 3,1 | 3,5 |
| 4 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 2,4 | 3,1 | 3,4 | 4,6 | |
| 5 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 3,1 | 3,1 | 3,4 | 4,3 | 5,8 | |
| 6 | 1,9 | 2,3 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | 4,3 | 4,8 | 6,0 | 8,1 |
| 7 | 2,1 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | 4,3 | 4,8 | 5,5 | 6,8 | 9,2 |
| 8 | 2,4 | 3,1 | 3,4 | 4,3 | 4,8 | 5,5 | 6,7 | 7,9 | 10,4 |
| 9 | 3,1 | 3,5 | 4,3 | 4,6 | 5,5 | 6,7 | 7,9 | | |
| 10 | 3,1 | 4,3 | 4,3 | 5,5 | 6,0 | 6,8 | 9,1 | 11,5 | |
| 11 | 3,3 | 4,3 | 4,7 | 5,6 | 6,7 | 7,9 | 9,4 | | 13,1 |
| 12 | 4,1 | 5,3 | 5,4 | 6,5 | 7,7 | 8,9 | 10,5 | | 14,0 |
| 15 | 4,5 | 5,8 | 6,7 | 7,9 | 9,1 | 10,3 | 13,2 | | 17,6 |
| 18 | 6,2 | 7,4 | 7,7 | 9,8 | 11,0 | 12,8 | 15,8 | | 21,2 |
| 21 | 6,7 | 8,1 | 9,1 | 10,7 | 13,0 | 14,4 | 18,0 | | 24,9 |
| 24 | 7,2 | 9,2 | 10,3 | 12,8 | 14,4 | 16,4 | 20,5 | | 27,7 |
| 27 | 8,1 | 10,4 | 11,5 | 14,0 | 16,4 | 18,8 | 23,6 | | 31,2 |
| 30 | 9,1 | 11,5 | 13,2 | 15,4 | 18,0 | 20,5 | 26,1 | | 34,6 |
| 33 | 10,3 | 13,1 | 14,1 | 16,9 | 20,0 | 22,5 | 28,5 | | 38,2 |
| 36 | 10,7 | 14,0 | 15,4 | 18,8 | 21,5 | 25,0 | 30,9 | | 41,8 |
| 39 | 11,6 | 15,2 | 16,7 | 20,0 | 23,6 | 27,3 | 33,3 | | 45,4 |

2 étages

| Longueur (m) | LARGEUR (longueur d'un module (m)) | Pression dynamique de pointe pondérée (kN/m ²) | | | | | | | |
|--------------|------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 0,7 | 0,9 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2 | 2,7 |
| 3 | 2,1 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | 4,3 | 4,8 | 5,9 | 8 | |
| 4 | 3,1 | 3,6 | 4,3 | 4,8 | 5,6 | 6,7 | 7,9 | 10,7 | |
| 5 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 5,9 | 6,9 | 7,9 | 10,3 | | 14 |
| 6 | 4,3 | 5,5 | 5,9 | 7,1 | 8,3 | 9,5 | 11,8 | | 16,4 |
| 7 | 5,5 | 6,7 | 6,9 | 8,3 | 10,3 | 11,5 | 14 | | 18,8 |
| 8 | 5,6 | 7,1 | 7,9 | 9,5 | 11,5 | 13 | 16,4 | | 21,4 |
| 9 | 6,7 | 8 | 9,1 | 10,7 | 12,9 | 14,3 | 17,8 | | 24 |
| 10 | 6,9 | 9,1 | 10,3 | 11,8 | 14 | 16,4 | 20 | | 27,3 |
| 11 | 7,9 | 10,3 | 11,5 | 13,3 | 15,3 | 17,6 | 22,4 | | 29,7 |
| 12 | 8,3 | 10,7 | 11,8 | 14,3 | 16,7 | 19 | 23,7 | | 32,1 |
| 15 | 10,4 | 14 | 15,2 | 17,8 | 21,2 | 23,7 | 29,7 | | 40,6 |
| 18 | 12,9 | 16,4 | 17,8 | 21,4 | 25,3 | 28,6 | 35,7 | | 48,1 |
| 21 | 15,2 | 18,8 | 21,2 | 25,3 | 29,7 | 33,3 | 41,8 | | 56,3 |
| 24 | 16,7 | 21,4 | 23,7 | 28,6 | 33,3 | 38,2 | 47,8 | | 64,8 |
| 27 | 18,8 | 24 | 27,3 | 32,1 | 38,2 | 43 | 53,9 | | 72,2 |
| 30 | 21,2 | 27,3 | 29,7 | 35,7 | 41,8 | 47,8 | 59,9 | | 80,5 |
| 33 | 22,9 | 29,7 | 33,3 | 39,4 | 45,8 | 52,7 | 66 | | 88,3 |
| 36 | 25,3 | 32,1 | 35,7 | 43 | 50,3 | 57,5 | 71,3 | | 96,3 |
| 39 | 27,3 | 34,8 | 38,7 | 46,6 | 54,1 | 62,5 | 77,3 | | 104,7 |

3 étages

| Longueur (m) | LARGEUR (longueur d'un module (m)) | Pression dynamique de pointe pondérée (kN/m ²) | | | | | | | |
|--------------|------------------------------------|--|------|------|------|------|-------|----|-------|
| | | 0,7 | 0,9 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2 | 2,7 |
| 3 | 3,3 | 4,3 | 4,7 | 5,6 | 6,7 | 7,9 | 9,3 | 13 | |
| 4 | 4,4 | 5,6 | 6,7 | 7,9 | 9,1 | 10,3 | 12,8 | | 16,8 |
| 5 | 5,5 | 7 | 7,9 | 9,3 | 10,8 | 12,8 | 15,6 | | 21,2 |
| 6 | 6,7 | 8,4 | 9,3 | 11,5 | 13,3 | 15,2 | 18,8 | | 25,4 |
| 7 | 7,9 | 10,3 | 10,8 | 13,3 | 15,3 | 17,6 | 21,7 | | 29,7 |
| 8 | 9,1 | 11,5 | 12,8 | 15,2 | 17,6 | 20 | 25,2 | | 33,6 |
| 9 | 10,3 | 13 | 14 | 16,8 | 20 | 22,4 | 28,5 | | 38,2 |
| 10 | 10,8 | 14 | 15,6 | 18,8 | 21,7 | 25,2 | 31,1 | | 42 |
| 11 | 11,9 | 15,4 | 17,6 | 20,5 | 23,9 | 27,4 | 34,5 | | 46,6 |
| 12 | 13,3 | 16,8 | 18,8 | 22,4 | 26,2 | 29,9 | 37,5 | | 50,4 |
| 15 | 15,4 | 21,2 | 23,6 | 28,5 | 32,6 | 37,5 | 46,6 | | 63,6 |
| 18 | 20 | 25,4 | 28,5 | 33,6 | 39,4 | 45,4 | 56,3 | | 75,7 |
| 21 | 22,8 | 29,7 | 32,6 | 39,4 | 45,7 | 52,7 | 65,3 | | 88,2 |
| 24 | 26,2 | 33,6 | 37,5 | 45,4 | 52,7 | 59,9 | 74,7 | | 101,1 |
| 27 | 28,7 | 38,2 | 42 | 50,4 | 58,7 | 67,2 | 84,1 | | 113,4 |
| 30 | 32,6 | 42 | 46,6 | 56,3 | 65,3 | 74,7 | 93,8 | | 126,5 |
| 33 | 35,9 | 46,6 | 51,5 | 62,4 | 72 | 82,1 | 102,6 | | 138,6 |
| 36 | 39,4 | 50,4 | 56,3 | 67,2 | 78,4 | 90,2 | 112 | | 151,2 |
| 39 | 43 | 55,1 | 61,2 | 73,3 | 85,4 | 97,5 | 121,7 | | 164 |

VII- CONCLUSION

Mon stage chez Vestack a été une expérience riche et transformative, me plongeant au cœur d'une start-up dynamique dédiée à la révolution du secteur de la construction par des méthodes écologiques et innovantes. Sous la supervision de Monsieur Tourtelier, directeur du Bureau d'étude – R&D, j'ai eu l'opportunité de travailler sur un projet crucial : l'élaboration d'un cahier des charges techniques destiné aux architectes partenaires de Vestack.

Ce projet a nécessité une compréhension approfondie du système constructif modulaire de Vestack, qui repose sur l'approche DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) et utilise des matériaux biosourcés. Le cahier des charges avait pour objectif de définir clairement les orientations techniques pour la conception et la réalisation de bâtiments de bureaux, en respectant les méthodes constructives établies par le département R&D et les réglementations urbanistiques en vigueur.

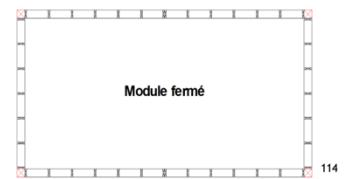
Ce projet m'a offert une vision complète du processus de standardisation et de préfabrication des bâtiments modulaires, tout en mettant en avant les défis liés à l'innovation dans le secteur de la construction durable. J'ai apprécié l'équilibre entre créativité et technicité que ce travail exigeait, m'obligeant à trouver des solutions pratiques tout en respectant les objectifs écologiques de Vestack.

En conclusion, ce stage chez Vestack a été extrêmement enrichissant, me permettant de développer des compétences techniques et de gestion de projet dans un contexte innovant. J'ai acquis une meilleure compréhension des enjeux de la construction modulaire et durable, et j'ai pu contribuer à un projet ambitieux visant à transformer l'industrie de la construction. Cette expérience a non seulement renforcé mes compétences, mais elle a également confirmé mon intérêt pour les approches durables et les innovations technologiques dans le domaine de l'architecture et de l'ingénierie.

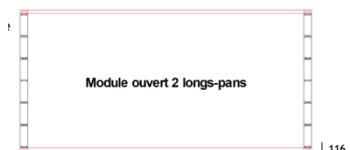
VIII- ANNEXES

Abaques des dimensions des modules déduits de l'ensemble des contraintes propres aux modules

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.19 | 15.9 | 17.1 | 18.3 | 19.5 | 20.7 | 21.8 | 23.0 | 24.2 | 25.4 | 26.6 | 28.0 | 29.2 | 30.4 | 31.6 | 32.8 | 34.0 | 35.2 | 36.4 | 37.6 | 38.8 | 40.0 | 41.2 | 42.4 | 43.5 | 44.7 | 45.9 | 47.1 | 48.3 | 49.5 |
| 3.89 | 14.7 | 15.8 | 16.9 | 18.0 | 19.1 | 20.2 | 21.3 | 22.4 | 23.5 | 24.6 | 25.9 | 27.0 | 28.1 | 29.2 | 30.3 | 31.4 | 32.5 | 33.6 | 34.7 | 35.8 | 37.0 | 38.1 | 39.2 | 40.3 | 41.4 | 42.5 | 43.6 | 44.7 | 45.8 |
| 3.59 | 13.5 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.5 | 18.6 | 19.6 | 20.6 | 21.6 | 22.8 | 23.8 | 24.8 | 25.8 | 26.8 | 27.9 | 28.9 | 29.9 | 30.9 | 31.9 | 32.9 | 33.9 | 35.0 | 36.0 | 37.0 | 38.0 | 39.0 | 40.0 | 41.1 | 42.1 |
| 3.29 | 12.3 | 13.2 | 14.1 | 15.1 | 16.0 | 16.9 | 17.8 | 18.8 | 19.7 | 20.8 | 21.7 | 22.6 | 23.5 | 24.5 | 25.4 | 26.3 | 27.2 | 28.2 | 29.1 | 30.0 | 30.9 | 31.9 | 32.8 | 33.7 | 34.6 | 35.6 | 36.5 | 37.4 | 38.3 |
| 2.99 | 11.1 | 11.9 | 12.8 | 13.6 | 14.4 | 15.3 | 16.1 | 16.9 | 17.8 | 18.7 | 19.6 | 20.4 | 21.2 | 22.1 | 22.9 | 23.8 | 24.6 | 25.4 | 26.3 | 27.1 | 27.9 | 28.8 | 29.6 | 30.4 | 31.3 | 32.1 | 32.9 | 33.8 | 34.6 |
| 2.69 | 9.9 | 10.6 | 11.4 | 12.1 | 12.9 | 13.6 | 14.4 | 15.1 | 15.9 | 16.7 | 17.5 | 18.2 | 19.0 | 19.7 | 20.4 | 21.2 | 21.9 | 22.7 | 23.4 | 24.2 | 24.9 | 25.7 | 26.4 | 27.2 | 27.9 | 28.6 | 29.4 | 30.1 | 30.9 |
| 2.39 | 8.7 | 9.4 | 10.0 | 10.7 | 11.3 | 12.0 | 12.6 | 13.3 | 13.9 | 14.7 | 15.4 | 16.0 | 16.7 | 17.3 | 18.0 | 18.6 | 19.3 | 19.9 | 20.6 | 21.3 | 21.9 | 22.6 | 23.2 | 23.9 | 24.5 | 25.2 | 25.8 | 26.5 | 27.1 |
| m ² | 4.19 | 4.49 | 4.79 | 5.09 | 5.39 | 5.69 | 5.99 | 6.29 | 6.59 | 6.94 | 7.24 | 7.54 | 7.84 | 8.14 | 8.44 | 8.74 | 9.04 | 9.34 | 9.64 | 9.94 | 10.24 | 10.54 | 10.84 | 11.14 | 11.44 | 11.74 | 12.04 | 12.34 | 12.64 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.13 | 15.6 | 16.8 | 18.1 | 19.3 | 20.6 | 21.8 | 23.0 | 24.3 | 25.5 | 26.9 | 28.2 | 29.4 | 30.7 | 31.9 | 33.1 | 34.4 | 35.6 | 36.9 | 38.1 | 39.3 | 40.6 | 41.8 | 43.0 | 44.3 | 45.5 | 46.8 | 48.0 | 49.2 | 50.5 |
| 3.83 | 14.5 | 15.6 | 16.8 | 17.9 | 19.1 | 20.2 | 21.4 | 22.5 | 23.7 | 25.0 | 26.1 | 27.3 | 28.4 | 29.6 | 30.7 | 31.9 | 33.0 | 34.2 | 35.3 | 36.5 | 37.6 | 38.8 | 39.9 | 41.1 | 42.2 | 43.4 | 44.5 | 45.7 | 46.8 |
| 3.53 | 13.3 | 14.4 | 15.5 | 16.5 | 17.6 | 18.6 | 19.7 | 20.7 | 21.8 | 23.0 | 24.1 | 25.1 | 26.2 | 27.3 | 28.3 | 29.4 | 30.4 | 31.5 | 32.6 | 33.6 | 34.7 | 35.7 | 36.8 | 37.9 | 38.9 | 40.0 | 41.0 | 42.1 | 43.1 |
| 3.23 | 12.2 | 13.2 | 14.1 | 15.1 | 16.1 | 17.0 | 18.0 | 19.0 | 20.0 | 21.1 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 24.9 | 25.9 | 26.9 | 27.9 | 28.8 | 29.8 | 30.8 | 31.7 | 32.7 | 33.7 | 34.6 | 35.6 | 36.6 | 37.5 | 38.5 | 39.5 |
| 2.93 | 11.1 | 11.9 | 12.8 | 13.7 | 14.6 | 15.5 | 16.3 | 17.2 | 18.1 | 19.1 | 20.0 | 20.9 | 21.8 | 22.6 | 23.5 | 24.4 | 25.3 | 26.1 | 27.0 | 27.9 | 28.8 | 29.7 | 30.5 | 31.4 | 32.3 | 33.2 | 34.1 | 34.9 | 35.8 |
| 2.63 | 9.9 | 10.7 | 11.5 | 12.3 | 13.1 | 13.9 | 14.7 | 15.5 | 16.2 | 17.2 | 17.9 | 18.7 | 19.5 | 20.3 | 21.1 | 21.9 | 22.7 | 23.5 | 24.3 | 25.0 | 25.8 | 26.6 | 27.4 | 28.2 | 29.0 | 29.8 | 30.6 | 31.4 | 32.1 |
| 2.33 | 8.8 | 9.5 | 10.2 | 10.9 | 11.6 | 12.3 | 13.0 | 13.7 | 14.4 | 15.2 | 15.9 | 16.6 | 17.3 | 18.0 | 18.7 | 19.4 | 20.1 | 20.8 | 21.5 | 22.2 | 22.9 | 23.6 | 24.3 | 25.0 | 25.7 | 26.4 | 27.1 | 27.8 | 28.5 |
| m ² | 4.19 | 4.49 | 4.79 | 5.09 | 5.39 | 5.69 | 5.99 | 6.29 | 6.59 | 6.94 | 7.24 | 7.54 | 7.84 | 8.14 | 8.44 | 8.74 | 9.04 | 9.34 | 9.64 | 9.94 | 10.24 | 10.54 | 10.84 | 11.14 | 11.44 | 11.74 | 12.04 | 12.34 | 12.64 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.16 | 14.9 | 16.1 | 17.3 | 18.5 | 19.7 | 20.9 | 22.1 | 23.2 | 24.4 | 25.8 | 27.0 | 28.2 | 29.4 | 30.5 | 31.7 | 32.9 | 34.1 | 35.3 | 36.5 | 37.7 | 38.9 | 40.0 | 41.2 | 42.4 | 43.6 | 44.8 | 46.0 | 47.2 | 48.3 |
| 3.86 | 13.8 | 14.9 | 16.0 | 17.1 | 18.2 | 19.3 | 20.4 | 21.5 | 22.6 | 23.8 | 24.9 | 26.0 | 27.1 | 28.2 | 29.3 | 30.4 | 31.5 | 32.6 | 33.7 | 34.8 | 35.9 | 37.0 | 38.1 | 39.2 | 40.3 | 41.4 | 42.5 | 43.6 | 44.7 |
| 3.56 | 12.7 | 13.7 | 14.7 | 15.7 | 16.7 | 17.7 | 18.7 | 19.7 | 20.7 | 21.9 | 22.9 | 23.9 | 24.9 | 25.9 | 26.9 | 27.9 | 28.9 | 29.9 | 30.9 | 32.0 | 33.0 | 34.0 | 35.0 | 36.0 | 37.0 | 38.0 | 39.0 | 40.0 | 41.0 |
| 3.26 | 11.5 | 12.5 | 13.4 | 14.3 | 15.2 | 16.1 | 17.0 | 18.0 | 18.9 | 19.9 | 20.8 | 21.8 | 22.7 | 23.6 | 24.5 | 25.4 | 26.3 | 27.3 | 28.2 | 29.1 | 30.0 | 30.9 | 31.8 | 32.8 | 33.7 | 34.6 | 35.5 | 36.4 | 37.3 |
| 2.96 | 10.4 | 11.2 | 12.1 | 12.9 | 13.7 | 14.5 | 15.4 | 16.2 | 17.0 | 18.0 | 18.8 | 19.6 | 20.5 | 21.3 | 22.1 | 22.9 | 23.8 | 24.6 | 25.4 | 26.2 | 27.1 | 27.9 | 28.7 | 29.5 | 30.4 | 31.2 | 32.0 | 32.8 | 33.7 |
| 2.66 | 9.3 | 10.0 | 10.7 | 11.5 | 12.2 | 13.0 | 13.7 | 14.4 | 15.2 | 16.0 | 16.8 | 17.5 | 18.2 | 19.0 | 19.7 | 20.4 | 21.2 | 21.9 | 22.6 | 23.4 | 24.1 | 24.8 | 25.6 | 26.3 | 27.1 | 27.8 | 28.5 | 29.3 | 30.0 |
| 2.36 | 8.1 | 8.8 | 9.4 | 10.1 | 10.7 | 11.4 | 12.0 | 12.7 | 13.3 | 14.1 | 14.7 | 15.3 | 16.0 | 16.6 | 17.3 | 17.9 | 18.6 | 19.2 | 19.9 | 20.5 | 21.2 | 21.8 | 22.5 | 23.1 | 23.8 | 24.4 | 25.0 | 25.7 | 26.3 |
| m ² | 4.19 | 4.49 | 4.79 | 5.09 | 5.39 | 5.69 | 5.99 | 6.29 | 6.59 | 6.94 | 7.24 | 7.54 | 7.84 | 8.14 | 8.44 | 8.74 | 9.04 | 9.34 | 9.64 | 9.94 | 10.24 | 10.54 | 10.84 | 11.14 | 11.44 | 11.74 | 12.04 | 12.34 | 12.64 |

