

La réhabilitation écologique d'un conteneur en espace de stockage de patrimoine culturel



REMERCIEMENTS

Ce rapport est le fruit de 6 mois d'études que nous avons eu le plaisir de partager tous les quatre grâce à notre envie commune de développer des solutions innovantes pour la transition écologique. Nous profitons de ces quelques lignes pour remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près comme de loin, à mener à bien ce projet d'envergure.

Tout d'abord, il nous tient à cœur d'exprimer notre sincère reconnaissance envers notre tuteur universitaire, Monsieur **Jannick TESSIER**, pour son soutien permanent, sa bienveillance et ses remarques constructives. Son implication et sa disponibilité nous ont permis d'échanger régulièrement et de recevoir de précieux conseils.

Nous témoignons notre gratitude envers notre tutrice partenaire Madame **Cécile ROUDIT-LE ROUX**, chargée d'animation au Parc Technologique de Soye, sans qui ce tutorat n'aurait jamais vu le jour. Dynamique et investie, elle a su nous accorder sa confiance et être réactive face à nos demandes.

Nous tenons à remercier vivement Monsieur **Mickael SENDRA**, président de l'association **Mémoire de Soye**, pour son engagement et sa volonté de participer pleinement à ce projet. La visite des baraques et le partage de ses connaissances historiques nous ont permis de prendre conscience de l'importance et de l'intérêt de notre étude.

Nous remercions également Madame **Inès CHAMBERON**, chargée de mission Agro Mer/Terre au Technopole de Lorient, pour sa présence lors de nos différentes réunions. A l'écoute de notre réflexion, elle nous a notamment fourni le contact de l'association d'économie circulaire EC-56 située à Vannes.

Un grand merci à Monsieur **Christian GOUALOU**, enseignant à l'UBS, de nous avoir conseillé et fourni un livre et du matériel de mesures pour nos études de terrain, ainsi qu'à Monsieur **Thibaut LECOMPTE**, enseignant d'éco-conception à l'UBS, pour son aide en matière de thermique et la mise en relation avec ses étudiants de Master.

Merci également à **Florestan MOULIN** étudiant en Master à l'UBS, pour son apport d'expériences et son regard scientifique, mais surtout pour les différentes pistes qu'il nous a fourni quant à l'avancement de notre projet et l'existence du logiciel Pléiades qui nous a servi pour les simulations météorologiques.

Puis nous remercions Monsieur **RENTENIER**, Directeur Appui aux Entreprises et à l'Innovation chez AudeLor, et Monsieur **JOUNAY**, Directeur Administratif, Financier et des Ressources Humaines, pour leur écoute attentive et intéressée lors de notre entretien budgétaire.

Merci aux différents professionnels que nous avons contactés pour leur réactivité et leur temps, notamment **Isol'en Paille**, **Palettes Distri-Ouest**, **Levouest** et **LMG Levage Manutention**, ainsi que Madame **Bénédicte PERRIN**, instructrice en demandes d'autorisations et occupation des sols de Lorient Agglomération.

Nous remercions également nos proches qui nous ont soutenus et apportés leurs savoirs dans les domaines de la construction et du bricolage.

Enfin, nous remercions l'Université Bretagne Sud et plus particulièrement Madame **Sylvie Pimbert**, responsable de la licence Sciences de la Transition Ecologique et Sociétale, pour ses efforts permanents d'amélioration de la filière et la qualité des enseignements proposés.

SOMMAIRE

Introduction.....	5
1. Les informations permettant une réhabilitation.....	8
1.1.1. Conditions à respecter (musée)	8
1.1.2. Les demandes du client	9
1.1.3. L’historique du conteneur étudié.....	10
1.1.4. Les dimensions du conteneur et son poids	10
1.2. Etude comparative des matériaux	10
1.2.1. Isolation	11
1.2.2. Revêtement mur extérieur.....	12
1.2.3. Revêtement toit.....	13
1.2.4. Cloisons internes	14
1.3. Etudes du conteneur menées sur le terrain.....	15
1.3.1. L’étude thermique.....	15
1.3.2. Le choix du futur emplacement	16
2. Réhabilitation du conteneur Teknica	19
2.1. Présentation d’une solution	19
2.1.1. Choix des matériaux et techniques	19
2.1.2. Coût total de la réhabilitation	28
2.2. Présentation du projet	29
2.2.1. Maquette.....	29
2.2.2. Impact social.....	31
2.2.3. Avenir du projet.....	32
Conclusion	33
Bibliographie.....	34
Annexes	I

Introduction

La préservation du patrimoine, à valeur historique, éducative et émotionnelle, est un enjeu important pour les générations actuelles et futures. Cependant, le stockage de ces objets peut être un défi, car ils ont besoin d'un environnement contrôlé pour garantir leur sécurité et leur protection. Les conteneurs peuvent en ce sens offrir une solution alternative pour le stockage d'objets culturels, à condition qu'ils soient réhabilités selon les normes de conservation en vigueur.

La réhabilitation écologique de conteneurs est un processus complexe qui transforme ces structures abandonnées en un nouvel espace fonctionnel, respectueux de l'environnement, et adaptés aux besoins actuels. En réutilisant les conteneurs, nous pouvons les maintenir en bon état pendant de nombreuses années, réduire leur impact environnemental et créer une solution économique et écologique. Cette approche utilise des éco-matériaux, emploie des déchets ou des matières premières disponibles, et améliore l'efficacité énergétique du conteneur. De plus, la participation d'acteurs de proximité peut favoriser le développement du tissu économique local et garantir que le projet répond aux attentes.

Intéressés par les alternatives écologiques dans le domaine de la construction, nous sommes convaincus que l'avenir de ce secteur réside dans la mise en œuvre de pratiques durables et respectueuses de l'environnement. À travers ce projet concret, innovant et significatif, nous avons également à cœur de participer à la préservation de notre patrimoine culturel et historique local, véritable témoignage de notre passé et de notre identité collective. C'est un enjeu majeur car de nombreux sites patrimoniaux sont malheureusement menacés par la dégradation, l'urbanisation et la démolition.

Durant cette étude, nous nous sommes interrogés sur la façon de réhabiliter écologiquement un conteneur en espace de stockage de patrimoine culturel.

En guise de complément d'introduction, ce rapport débute par des éléments de contexte bibliographiques permettant de présenter le sujet dans sa globalité. À sa suite, nous développerons dans une première partie notre cahier des charges accompagné d'une étude comparative de matériaux ainsi que de nos études de terrain. La deuxième partie concentrera la présentation de nos solutions de réhabilitation du conteneur avec l'aspect budgétaire associé, et se clôturera par le volet social.

La conteneurisation est une révolution américaine diligentée par Malcom McLean en 1956. Cet états-unien, à la tête d'une compagnie de transport routier, a inventé le procédé du conteneur afin d'endiguer les embouteillages et la saturation des ports et entrepôts. Il décida de développer une méthode normalisée de chargement des marchandises transitant des camions aux navires, puis aux entrepôts. Pour l'expérimenter, il prit le contrôle d'une compagnie de fret afin de transformer et adapter les navires aux nouvelles normes en matière de conteneurs. Partant d'un camion remorque, il ne conserva que la remorque qu'il chargea sur un ancien pétrolier (Harford 2018; Charles 2020). Après de nombreuses expériences, sa conception finale est l'actuel conteneur maritime d'expédition que nous connaissons tous. De forme parallélépipédique, cette structure métallique est constituée d'acier Corten, un alliage de fer et d'un ensemble de minéraux, dont figurent notamment le cuivre, le chrome et le nickel, augmentant sa résistance aux chocs, aux conditions météorologiques et à la corrosion. Caractérisé par sa longueur standard applicable à 1 EVP (équivalent vingt pieds), correspondant à 6 mètres de longueur par 2,40 m de largeur et 2,60 m de hauteur, le conteneur est un véritable symbole de la mondialisation. Ce modèle régulé d'unitisation des charges constitue un atout logistique majeur car il est empilable et participe au multi-modalisme, pouvant être pris en charge par divers moyens de locomotion (camions, trains, bateaux) (Charles 2020; ACMContainer). De ce conteneur dit « classique » ont découlé des conteneurs spécialisés tels que les conteneurs frigorifiques, ventilés, à toit ouvert, pliants, isothermes, plats ou encore citernes. En plus de ces différentes typologies, les conteneurs maritimes sont modifiables sur-mesure (Marie-laure 2018; ContainerZ).

La vie d'un conteneur est jalonnée par de multiples étapes, à commencer par l'extraction de matières premières pour fabriquer sa structure métallique en acier Corten et son plancher en bois exotique engendrant de la déforestation. Cette phase est fortement émissive et a un impact environnemental lourd. Ces différentes pièces, une fois assemblées, vont permettre de fabriquer un conteneur prêt à l'emploi qui va, par la suite, être utilisé à des fins de stockage ou de transport maritime. L'espérance de vie d'un conteneur de stockage peut largement être supérieure à 15 ans, sous réserve qu'il soit entretenu régulièrement. En revanche, la durée de vie d'un conteneur maritime d'expédition est estimée à une douzaine d'années en raison des séries de voyages réguliers dans des contraintes extrêmes en haute mer, détériorant considérablement son armature (ContainerZ).

L'étape de la fin de vie d'un conteneur peut aboutir à une triple issue. La première correspond à la perte de conteneurs en mer suite au naufrage du bateau ou à de fortes tempêtes conduisant les caissons à passer par-dessus bord. Désormais dans les fonds marins, ces conteneurs constituent alors un véritable récif artificiel pour la vie aquatique (Marie-laure 2018; ContainerZ). Outre ce débouché, annuellement plus de 1,5 million de conteneurs seraient rendus inutilisables en tant que moyen de transport et correspondraient à des conteneurs dits « de dernier voyage », jugés en fin de cycle. De ce fait, le second dénouement se rapporte aux conteneurs délabrés, trop endommagés pour être réutilisés différemment, qui vont alors être détruits et broyés. Leurs matériaux constitutifs (acier, bois, métal) vont par la suite être récupérés et recyclés par l'industrie des fers et métaux. Enfin, la dernière issue s'applique à ces mêmes caissons « de dernier voyage » qui semblent, quant à eux, être dans de bonnes dispositions pour servir à divers usages : il s'agit de la seconde vie. Ces conteneurs pourront subir des modifications (découpes, traitements), être révisés puis revendus en tant que conteneurs d'occasion. Bien souvent, les anciens conteneurs maritimes sont employés par la suite en tant qu'unités de stockage statique (Marlot 2017; Marie-laure 2018; ContainerZ). Mais du fait de leur faible coût d'achat, leur robustesse, leur mobilité et leur disponibilité, les projets de recyclage, restauration, transformation et d'aménagement des conteneurs sont très variés. Les déclinaisons possibles sont nombreuses, allant d'applications industrielles ou commerciales aux installations de loisirs. Ainsi, un conteneur peut devenir un espace de travail (type bureau, atelier) ou de stockage (garage, vestiaire),

mais aussi un point de vente ambulant (bar, restaurant, commerce) et même une piscine ou une maison. Cette option est à la fois économique et écologique car elle permet d’offrir de belles structures à moindre coût et d’éviter les procédés de recyclage lourds et la pollution. Ainsi, construire en réutilisant des conteneurs, c’est comme restituer, ou en tout cas amortir, une partie des émissions de carbone du produit en l’intégrant dans un projet le plus écoresponsable possible. La construction en conteneurs implique donc une diminution de millions de tonnes de déchets engendrés par les conteneurs en fin de vie (Marie-laure 2018; ACMContainer; ContainerZ; Fossoux and Chevriot).

Quelle que soit la nouvelle vie du conteneur, cette structure métallique, plus ou moins abîmée par ses nombreux trajets, devra subir plusieurs rénovations. Malgré sa bonne résistance à l’eau, un conteneur dernier voyage se voit très souvent rongé par la rouille. En effet, les chocs dégradent son revêtement hydrophobe en acier Corten laissant place à la corrosion. Pour stopper sa propagation, il est requis de la poncer et d’y appliquer un produit stop rouille. Si la partie est trop attaquée, il est nécessaire de découper cette partie, puis de la remplacer en y ressoudant une nouvelle pièce d’acier. Concernant les joints des portes, il est important de surveiller leur état. Effectivement, ces joints sont très importants pour le conteneur, car ils le protègent non seulement des infiltrations d’eau, mais évitent également le passage de la poussière et d’êtres vivants comme les rongeurs ou les insectes. Il est indispensable de les changer lorsque leur aspect se dégrade, s’ils deviennent secs ou s’effritent. À propos du revêtement au sol, il est souvent composé de plancher en contre-plaqué marine. Il est donc très résistant à l’eau et dure bien dans le temps. Mais des infiltrations ou une masse trop élevée de marchandises peuvent l’abîmer et le déformer. Dans ces cas-là, il est nécessaire de le changer entièrement ou seulement la partie détériorée, facilement remplaçable (In’Box Container 2022).

L’aménagement d’un conteneur maritime rend ce dernier visible aux yeux de l’urbanisme. Malgré le fait qu’il ne soit pas reconnu en termes juridiques, il doit tout de même respecter la réglementation d’urbanisme. Au sens du droit de l’urbanisme, le conteneur est considéré comme une construction d’un bâtiment, par sa position fixe (Schneider Avocats 2019).

Dans notre cas, le conteneur va être aménagé comme pièce de stockage, semblable à une extension de bâtiment d’entreprise. Même s’il n’est pas utilisé comme lieu d’habitation, une personne peut y entrer et s’y tenir debout. À partir de cela, il doit respecter les mêmes réglementations qu’un conteneur habitable en matière de déclaration en mairie. Pour effectuer des travaux sur un conteneur, il est nécessaire de faire une demande d’autorisation d’urbanisme. Cette autorisation est variable selon le cas de figure, visible dans le tableau ci-dessous (Schneider Avocats 2019; Box’innov) :

	Non accolé à une construction déjà figurante		Si extension à une construction déjà existante		>150 m ²	Si construction de fondations ou d’une dalle en ciment	< 5m ²
	5m ² à 20m ²	>20m ²	Zone urbaine	Zone agricole			
Déclaration préalable de travaux	X		X	X			
Permis de construire		X	X	X	X (architecte obligatoire)	X	

Tableau 1: Déclaration administrative en fonction de la situation

Quel que soit le but fixé pour l’aménagement d’un conteneur, il faut obligatoirement se référer au Plan Local d’Urbanisme (PLU) de l’agglomération qui couvre la zone où se trouve le conteneur. Pour ce faire, des articles juridiques permettent de se renseigner sur les déclarations à effectuer en vue de la réhabilitation du conteneur : Articles R. 421-1, R. 421-2, R. 421-9 et R. 111-22. Des réglementations en termes de visuel extérieur, comme la couleur de la façade, les matériaux utilisés ou encore l’inclinaison du toit, seront à vérifier auprès du PLU. (Schneider Avocats 2019; SVP 2021)

Nous allons donc étudier, tout au long de ce rapport, diverses techniques de réhabilitation, de leurs caractéristiques à leur pose en passant par des études de terrain et les coûts d'aménagement.



1. Les informations permettant une réhabilitation

1.1.1. Conditions à respecter (musée)

L'objectif de ce projet est de stocker du patrimoine, datant de l'après-guerre, composé aussi bien de meubles que de documents. Utilisés pour des expositions, ces objets doivent être stockés dans un endroit sain et certaines conditions sont à respecter afin de les préserver dans les meilleures dispositions. Les documents papiers, les photos ou encore les peintures forment un patrimoine fragile, dont les modalités de conservation sont diverses et variées. Les meubles, essentiellement en bois, sont constitués d'un matériau altérable face au climat, à la faune et la flore.

Nous avons donc reporté dans le tableau ci-dessous une synthèse de nos recherches (Tomsin 2007; Deschaux 2017) :

Tableau 2 : Synthèse des conditions musées à respecter pour le stockage d'archives documentaires et de mobiliers

	Archives Documentaires 	Mobiliers 
Conditions de stockage		
Humidité Relative (HR)	Climat tempéré : 55 % d'HR avec comme écart valide de ± 5 %	
Air	Renouvellement d'air de 0,3 vol/h	
Température	18°C avec un écart de ± 1 °C (si variations peu brutales, températures acceptées : entre 16°C et 21°C)	
Luminosité	Eviter les UltraViolets et les InfraRouges, éclairage autorisée comprise entre 75 et 100 lux	
Pollution	Eviter : <ul style="list-style-type: none"> • Les polluants solides (poussières et aérosols) • Les polluants gazeux (provenant de matériels de bureautique et d'activités industrielles) 	
Faune et Flore	Protéger des : <ul style="list-style-type: none"> • Rongeurs • Rampants • Champignons et moisissures 	
Nécessaire de protéger contre les incendies et les dégâts des eaux.		

Il existe une formule pour calculer l'humidité relative d'une pièce, permettant alors de surveiller ses fluctuations :

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Quantité de vapeur d'eau présente dans } 1 \text{ m}^3 \text{ d'air à une température donnée}}{\text{Quantité maximale de vapeur d'eau pouvant être contenue dans ce m}^3 \text{ d'air de la même température}} \times 100$$

En fonction des comportements de l'air (humide ou sec) et de la température (élevée ou basse), il faut agir sur ces facteurs des façons suivantes :

Tableau 3 : Actions de régulation de la température et de l'humidité relative en fonction du contexte

Contexte	Objectifs	Actions
Un air trop sec	Augmenter l'humidité relative	Baisser la température
Un air trop humide	Baisser l'humidité relative	Augmenter la température

Contexte	Conditions	Actions
Un air trop sec	Mais une bonne température	Humidifier l'air
Un air trop humide	Mais une bonne température	Déshumidifier l'air
Une température trop basse	Mais une bonne humidité relative	Déshumidifier l'air
Une température trop élevée	Mais une bonne humidité relative	Humidifier l'air

1.1.2. Les demandes du client

La réhabilitation du conteneur est guidée par les exigences du président de l'Association Mémoire de Soye, Mickael SENDRA, qui est le futur utilisateur de cet espace de stockage, destiné à conserver un mobilier patrimonial de collection. En effet, le conteneur est voué à accueillir une série de meubles en bois conçus pour les sinistrés de la Seconde Guerre mondiale, appartenant à la collection René Gabriel, un designer français. Bien que ce mobilier d'urgence en chêne soit particulièrement fragile et vulnérable, il repose actuellement dans les baraques de Soye et est soumis à des conditions insalubres. Ainsi, la situation est critique et il faut rapidement trouver un lieu de stockage répondant aux besoins de conservation de ce mobilier prochainement classé au titre de monument historique. Nous allons donc vous présenter les demandes de Monsieur SENDRA afin que le conteneur puisse accueillir dans les meilleures conditions possibles ce mobilier rare.

Dans l'objectif d'être conforme aux normes de conservation musées, une stabilité thermique et hygrométrique est exigée à l'intérieur du conteneur. Dans l'idéal, une température constante à 17°C avec des variations de 2°C est ciblée. Cependant, dans notre cas, une marge de 10°C est tolérée. Pour répondre à cette stabilité, une isolation performante sera appréciée, de préférence à l'extérieur du conteneur pour ne pas empiéter sur le volume interne.

Le conteneur devra être raccordé à l'électricité afin d'alimenter une ampoule pour éclairer l'intérieur. Il devra également être équipé d'un système de ventilation afin d'augmenter le débit d'air, réduire l'humidité et la condensation.

L'intérieur du conteneur se composera d'un sas permettant de décontaminer les meubles des insectes nuisibles, tels que les xylophages, qui attaquent le bois. Cet espace de traitement est nécessaire afin que le mobilier infecté ne contamine pas le mobilier sain.

Le conteneur devra contenir des racks séparateurs pour stocker des fenêtres et des portes en toute sécurité. Des étagères figureront également sur ses parois et un établi serait le bienvenu afin d'entreposer de la quincaillerie.

Enfin, la réhabilitation du conteneur devra être la plus écologique possible par le biais du recyclage de matériaux éco-conçus ou encore d'équipements de récupération.

L'enveloppe budgétaire de ce projet n'a pas été définie mais des matériaux recyclés à moindre coût seront privilégiés. Ce projet de réhabilitation doit être réalisé le plus tôt possible, sachant que nous le pilotons jusqu'à fin mars.

1.1.3. L'historique du conteneur étudié

Nous arrivons à distinguer sur la façade du conteneur les lettres « tex », ce qui nous indique qu'il provient de la société bermudienne Textainer qui se concentre sur l'achat, la location et la revente de conteneurs de fret maritime depuis 1979. Ainsi, nous pouvons supposer qu'il a été utilisé à des fins de transport maritime pendant plusieurs années (Textainer).

Nous avons appris par Cécile ROUDIT-LE ROUX que le conteneur était précédemment utilisé par la pépinière d'entreprises de Lorient Agglomération CREA pour le premier projet Fablab « CREA FAB ». C'est en 2018 qu'il a été ramené à Teknica afin de stocker, jusqu'à notre arrivée, du matériel de jardinage (tondeuses, débroussailluses, bidons...).

1.1.4. Les dimensions du conteneur et son poids

Nous avons profité de notre première visite du site, le 19 octobre, pour mesurer à l'aide d'un mètre les dimensions du conteneur, à la fois à l'extérieur et à l'intérieur. Ces mesures paraissent sur la Figure 1 et la Figure 2 ci-dessous, elles nous ont permis de calculer la surface du conteneur, qui équivaut à 14 m² ainsi que son volume de 33 m³. À cela s'ajoute la masse d'un conteneur de 20 pieds à vide qui s'élève à environ 2 tonnes.

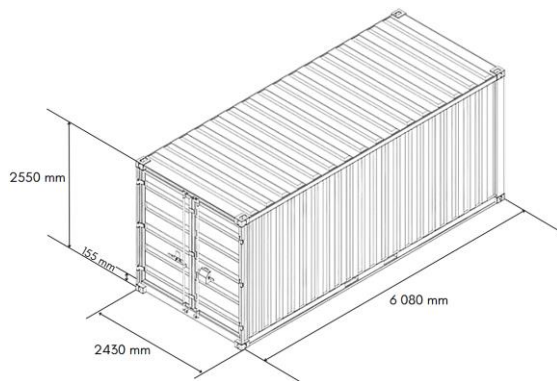


Figure 1 : Dimensions relevées à l'extérieur du conteneur

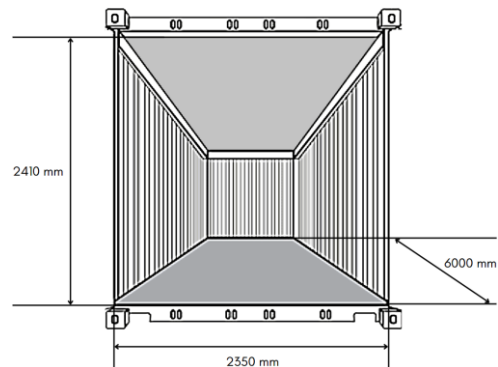


Figure 2 : Dimensions relevées à l'intérieur du conteneur

1.2. Etude comparative des matériaux

Dans le but de définir les méthodes de réhabilitations les plus efficaces, nous nous sommes intéressés aux différents matériaux dont nécessitera l'aménagement. Les quatre catégories étudiées sont ainsi : l'isolation des parois du conteneur, les revêtements extérieurs des parois et du toit ainsi que les cloisons internes.

Afin de comparer les différentes options à notre disposition, nous avons divisé les matériaux en deux grandes catégories. D'une part, les matériaux « standards », autrement dit, ceux utilisés de façon courante dans les constructions actuelles, et d'autre part, les matériaux dits « écologiques ». L'analyse des matériaux « standards » ont pour but d'apporter une comparaison par rapport aux matériaux « écologiques ». Il sera alors possible d'observer les caractéristiques communes à ces deux catégories ainsi que leurs nuances.

1.2.1. Isolation

Premièrement, les isolants thermiques sont des matériaux ayant pour attribut une faible conductivité thermique, c'est-à-dire, une grande capacité à s'opposer au passage du flux thermique qui le traverse. Dans le but de déterminer la capacité isolante d'un matériau, des caractéristiques additionnelles sont prises en compte, parmi elles nous retrouvons : l'inertie du matériau qui indique la capacité qu'il aura à stocker de la chaleur en fonction de sa masse volumique, et le déphasage indiquant le temps de latence entre le pic de chaleur journalier extérieur et celui à l'intérieur de la pièce.

Le tableau ci-dessous expose les différentes valeurs répertoriées pour la majorité dans le livre *L'isolation thermique écologique* par Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey. Nous avons choisi comme point de comparaison la résistance thermique. Celle-ci a été définie à 5 m²/K.W par rapport à l'unité équivalente (UF) pour 1 m² d'isolation apportant une résistance thermique de 5 m²/K.W. Nous avons calculé l'épaisseur nécessaire pour atteindre la résistance thermique de 5, l'inertie et le déphasage à partir des valeurs données dans l'Annexe 1.

Informations comparées	Matériaux « standards »			Matériaux « écologiques »				
	Laine de verre	Laine de roche	Polystyrène expansé	Bottes de paille de céréales	Fibre de bois	Liège expansé	Laine de coton (Métisse®)	Laine de chanvre
Résistance thermique R (m ² .K/W)	5	5	5	5	5	5	5	5
Épaisseur (m) UF	0.18	0.2	0.175	0.235	0.2	0.195	0.2	0.2
Conductivité thermique λ (W/m.K)	0.036	0.04	0.035	0.047	0.040	0.039	0.040	0.040
Inertie (J/(m ² .K))	168.3	187	253.75	399.5	390	360.75	280	300
Déphasage (heure)	3.37	8.26	3.38	9.71	6.44	10.29	4.31	4.88
Bilan carbone (kg CO ₂ éq /UF)	10.17	9.35	10,26	-26.44	-1.46	-27.06	1.80	-0.78
Prix (€/m ²) chez PointP *non-trouvés sur PointP	13	39	34	2.50*	40	100*	49	50

Tableau 4 : Extrait du tableau comparatif des caractéristiques d'isolants « standards » et d'isolants « écologiques ». Tableau complet en Annexe1

À partir des résultats obtenus dans ce tableau, nous avons pu constater que les matériaux standards ne paraissent pas si parfaits que nous pourrions l'imaginer. Leur conductivité thermique diffère de peu (sauf pour la botte de paille qui présente une conductivité thermique plus élevée). En revanche, concernant les autres critères, les matériaux « écologiques » semblent présenter de meilleurs résultats. Le choix idéal dépend alors des aspects souhaités dans le cahier des charges. Ainsi, pour chaque performance et éléments, des couleurs ont été attribuées. Sur une même ligne, ont été colorés en vert les matériaux les plus performants pour cette caractéristique, en rouge les matériaux les moins

performants et en jaune ceux intermédiaires. Cette vision colorimétrique permet une première approche, cependant, il faudra par la suite définir l'importance des critères afin de choisir l'isolant qui sera le plus adapté au projet.

L'isolation étant la partie la plus importante dans la réhabilitation, celle-ci sera pour notre étude de cas celle qui demandera le plus de calculs et de réflexions. En effet, les autres choix de réhabilitation qui sont les revêtements plus particulièrement, ne seront pas à négliger mais pour autant, ils n'auront pas de grands impacts à part principalement au niveau du coût économique et environnemental. C'est pourquoi, dans les prochaines parties de présentation des différentes solutions de matériaux pour chaque secteur de rénovation, les hypothèses de matériaux seront moins appuyées et détaillées par des chiffres et valeurs.

1.2.2. Revêtement mur extérieur

- *Revêtement bardage en PVC (polychlorure de vinyle)*

Le premier type de revêtement utilisé de façon courante dans les constructions et réhabilitations se trouve être le bardage en PVC. Effectivement, celui-ci a de nombreux avantages. Résistant aux intempéries, aux moisissures et aux rayons du soleil, ce matériau est ainsi durable. En revanche, en cas d'incendie il libère des gaz toxiques. Ce revêtement est pour autant régulièrement critiqué pour son impact environnemental, le PVC étant issu du pétrole. On peut tout de même noter qu'il est recyclable, et possède la même conductivité thermique que le bois (Gabriel 2012; Schneider and Dib 2016; Neowood 2020; Inies).

- *Revêtement en bois composite*

Le bois composite est aussi fabriqué à base de plastique. Ces fibres de plastique et de bois peuvent être en matière recyclée (jusqu'à 70 % pour le bois) améliorant ainsi son bilan environnemental. Ce bilan est en revanche détérioré par des adjuvants synthétiques polluants et par son absence de recyclabilité. Résistant, il peut subir des écarts de température très élevés. Etant imputrescible et insensible aux rayons ultra-violet, sa durabilité est forte. Pour finir, il est plus cher que le bardage bois classique mais sa couleur ne grise pas dans le temps, ainsi, il ne nécessite pas autant d'entretien (Gabriel 2012; Schneider and Dib 2016; Neowood 2020; Inies).

- *Revêtement bardage en bois*

La solidité et la légèreté sont les avantages propres à ce matériau naturel. Ses inconvénients majeurs sont les risques de moisissures et d'attaques d'insectes. Toutefois, une peinture ou une huile naturelle rend le bois imputrescible et résistant. Cet entretien doit être réalisé environ tous les 5 ans. Le dernier atout de ce matériau réside dans son impact environnemental faible, le bois pouvant être produit localement. Pour garantir l'aspect écologique du bois, des labels tels que FSC et PEFC¹ garantissent une bonne gestion des forêts. De plus, les finitions appliquées sur le

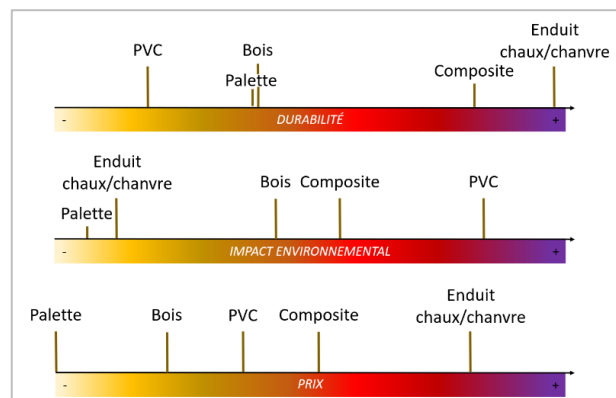


Figure 3: comparaisons de différents revêtements pour murs extérieurs

¹ Les labélisations FSC (Forest Stewardship Council) et PEFC (Programme de reconnaissance des certifications forestières) attestent d'une gestion durable et responsable des forêts.

bois doivent être compatibles avec le recyclage de la matière (Gabriel 2012; Schneider and Dib 2016; Neowood 2020; Inies).

- *Revêtement enduit chaux/chanvre*

Ce quatrième revêtement est un mélange de chanvre et de chaux. La chaux est issue du calcaire porté à haute température. Cette chauffe demande beaucoup d'énergie et dégage d'importantes quantités de dioxyde de carbone (CO₂). À l'inverse, le captage d'un peu de CO₂ a lieu lors du séchage de l'enduit. La culture du chanvre ne nécessite aucun traitement phytosanitaire, demande peu d'eau et participe au captage du CO₂. L'enduit obtenu s'adapte parfaitement à la paroi. De plus, il régule l'humidité de celle-ci. D'autres avantages sont notables : la chaux rend l'enduit incombustible, ce revêtement est aussi isolant. Le dernier inconvénient est la nécessité d'une finition terminale (Gabriel 2012; Schneider and Dib 2016; Neowood 2020; Inies).

- *Revêtement palette*

En plus d'être naturel, le bois de palette est issu de la récupération, aucune matière n'est nouvellement créée, ainsi son coût est en théorie très faible. Cependant, une grande quantité de palettes est nécessaire (environ 15 palettes pour 10 m²). Ensuite, des pesticides ou traitements chimiques ont pu être appliqués au cours de la vie de la palette. De plus, l'application d'un traitement sera demandée pour protéger les lattes (souvent de l'huile de lin). Enfin, le choix des palettes doit être avisé, si celles-ci sont marquées par un système de consigne, il serait dommage de les faire sortir de cette économie circulaire (Gabriel 2012; Schneider and Dib 2016; Neowood 2020; Inies).

1.2.3. Revêtement toit

- *Revêtement métallique*

Léger et étanche, le revêtement métallique est couramment employé sur les installations industrielles. Il est à l'inverse rarement utilisé pour les habitations car la grêle et une forte pluie peuvent entraîner des nuisances sonores. Résistant aux intempéries, à l'eau, aux changements de températures, au feu et aux moisissures, la durée de vie de ce matériau est élevée. Au fil du temps, le métal peut se corroder, cela aura un impact sur l'esthétique mais pas sur les capacités de l'enveloppe. Pour finir, le métal peut être issu du recyclage, et/ou par la suite recyclé (Calvat 2009).

- *Revêtement tuiles*

Les revêtements pour les toitures en tuiles de terre cuite présentent beaucoup de points positifs : elles sont isolantes, insensibles à l'humidité, résistantes au feu et imputrescibles. De plus, du fait de leur masse, les tuiles se soulèvent peu avec le vent. En cas d'intempéries, si des tuiles s'envolent ou s'abîment, elles sont facilement remplaçables unes à unes. Concernant l'impact environnemental, celles-ci sont fabriquées à partir d'argile, c'est donc une matière naturelle, elles sont aussi entièrement recyclables. Inversement, bien que la fabrication soit souvent locale, l'empreinte carbone de la production est élevée du fait d'une cuisson à haute température pendant plusieurs heures (Wesierski and Lyonnet 2017).

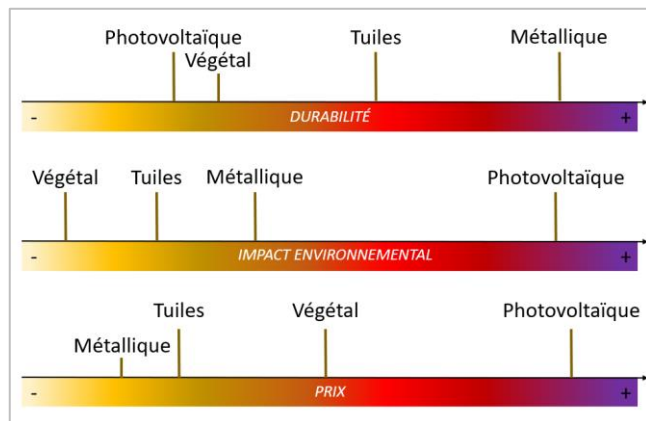


Figure 4: comparaisons de différents revêtements pour le toit

- *Revêtement végétal*

Il est également possible de disposer un revêtement végétal. Relativement au changement climatique et à l'intensification des îlots de chaleur en ville, la mise en place d'un couvert végétal permet la création d'un îlot de fraîcheur. Cette surface naturelle permet d'améliorer la gestion des eaux pluviales en limitant le ruissellement rapide de l'eau et participe à l'amélioration de la biodiversité environnante. De la présence de végétaux découle une participation au captage du CO₂ de l'atmosphère. D'un point de vue thermique, les végétaux isolent l'installation et le substrat apporte une inertie additionnelle. La masse de la terre doit être prise en compte lors de l'aménagement. Certains inconvénients sont tout de même à noter : l'installation est complexe, un entretien régulier des végétaux peut être nécessaire en fonction des essences et la réparabilité de la toiture peut s'avérer difficile en cas de problème. (Dunnett et al. 2011; Peiger and Baumann 2018)

- *Revêtement photovoltaïque*

Pour finir, il est possible de disposer sur la toiture des panneaux photovoltaïques. En expansion sur le marché, ces panneaux sont utilisés dans différents objectifs. D'une part, dans le but de fabriquer de l'électricité renouvelable et d'autre part, d'améliorer la résilience de l'aménagement. Ces installations sont recyclables à plus de 90% : constituées en majorité de verre, aluminium et plastique. Pour les plus petits composés comme le silicium, un recyclage est aussi effectué. Auparavant envoyés en Belgique pour le recyclage, une entreprise a actuellement ouvert ses portes dans le sud de la France pour effectuer cette reconversion (avec un objectif de 3000 tonnes en 2021). Du côté des inconvénients, les panneaux photovoltaïques nécessitent un investissement au démarrage et un nettoyage régulier pour assurer leur bonne performance (Calvat 2009).

1.2.4. Cloisons internes

Le conteneur devra également être composé de deux « pièces » qui ne doivent pas interagir car un de ces espaces que l'on appellera « sas », sera dédié à la désinfection des objets à stoker.

La cloison sera divisée en quatre composants : une paroi (plaque), une ossature (poteau), une fixation et une jointure.

Les parois sont pour la majorité des constructions en Placoplatre (BA13), faciles à poser par un appui de rails et d'ossatures métalliques. Une plaque en verre peut être également installée, cependant son coût et son impact environnemental est bien plus élevé. Pour obtenir un rendu similaire au verre, une paroi en plexiglas, à moindre coût, peut être installée. Enfin, une plaque de bois pourrait être choisie (OSB, contre-plaqué, bois de récupération, mélaminé...). Celle-ci pourrait être un matériau local, voire de récupération et à faible coût en fonction de sa qualité et de sa provenance.

Ces solutions doivent être maintenues par des ossatures (bois, PVC ou en métal). Leur prix est assez hétérogène, tout comme leur impact environnemental et leur chaîne de récupération. De plus, certaines ossatures ne sont pas complémentaires avec certains matériaux (les plaques en BA13 doivent être posées avec une armature métallique).

Enfin, la pose d'un joint entre le sol et la paroi, mais également aux jointures des murs et du plafond sera sûrement nécessaire afin d'éviter le transfert de bactéries ou insectes dans la zone de stockage. Pour cela, différentes solutions existent : silicone, mastic, mortier, joints en plastique.

1.3. Etudes du conteneur menées sur le terrain

Dans cette partie, nous allons aborder les deux études que nous avons menées sur site. La première consiste à faire un état des lieux de la capacité thermique du conteneur à conserver la chaleur. Dans la seconde, nous déterminerons le nouvel emplacement qu'il occupera.

1.3.1. L'étude thermique

Des relevés thermiques ont été réalisés le 17 novembre 2022 à 14h par un temps pluvieux, afin de repérer toutes traces de fuites mais aussi pour observer la capacité du conteneur à garder la chaleur. Pour ce faire, nous avons placé un chauffage d'appoint à l'intérieur de cette structure métallique et l'avons laissé chauffer pendant une demi-heure. Avec une caméra thermique fournie par l'Université Bretagne Sud, nous avons réalisé les clichés ci-dessous.

Etude extérieure :

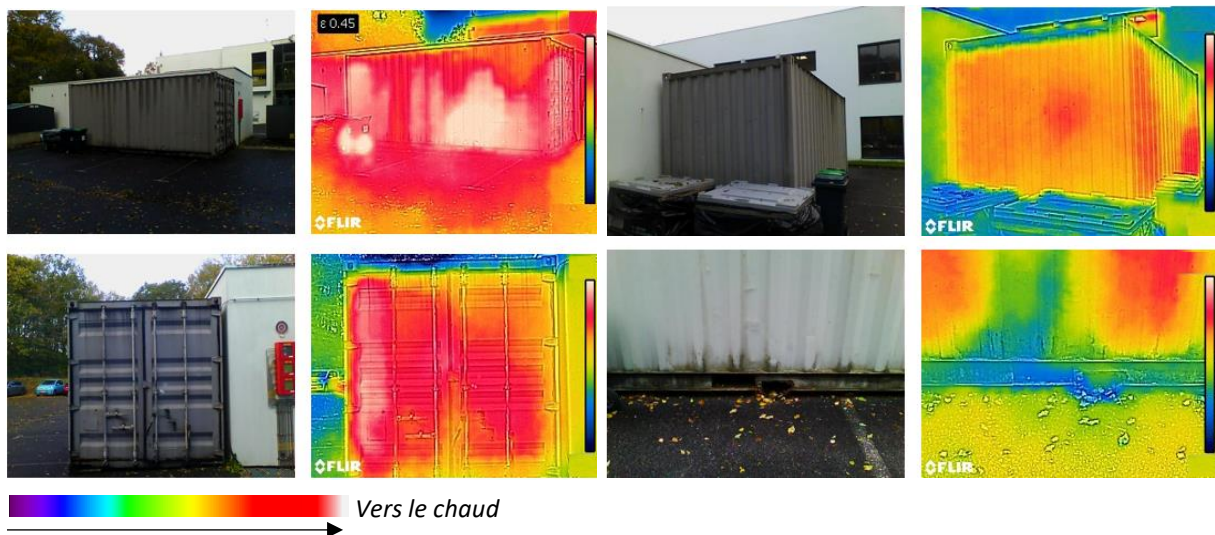


Figure 5 : Photographies extérieures et thermiques du conteneur

On observe que le conteneur, qui n'est pas encore isolé, retient très peu la chaleur. Elle y est plutôt uniforme sur les parois, mais on peut repérer qu'au niveau des parties supérieures et inférieures, une couleur bleue, représentant une zone plus froide est présente. Cela est dû au montage du conteneur. En effet, le sol et le plafond étant imbriqués dans les murs, ceci ajoute une épaisseur à chauffer. Plus épaisse et plus éloignée de la source de chaleur, cette partie reste plus froide que le reste.

Etude intérieur :

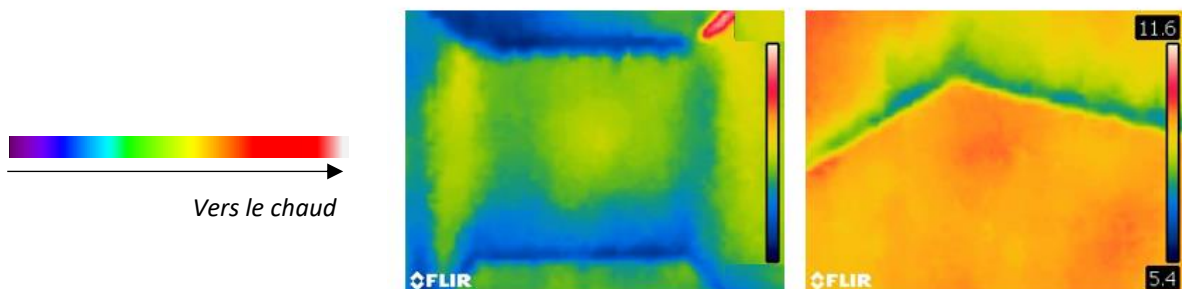


Figure 6 : Photographies thermiques de l'intérieur du conteneur

On observe, à l'intérieur du conteneur, qu'il existe une différence de température au niveau des jointures de l'ensemble parties de ce dernier : jonctions toit/mur, mur/sol, mur/mur, à l'instar de l'extérieur. Comme dit précédemment, c'est le montage qui en est responsable. Les jointures étant plus épaisses et plus éloignées, on observe un déphasage entre les parois et les angles. De plus, lors des mesures, nous avons pu remarquer que malgré l'air ambiant chauffé, les parois du conteneur restent glacées au toucher. Cela démontre que l'acier Corten du conteneur possède une forte effusivité, c'est-à-dire qu'il absorbe beaucoup d'énergie sans se réchauffer en surface, à l'inverse des matériaux possédant une faible émissivité comme les isolants. Pour finir, en ayant fait le tour de toutes les surfaces du conteneur avec la caméra thermique, aucune zone significativement plus froide n'a été relevée, démontrant que le conteneur est donc bien étanche.

Les résultats obtenus sur ce conteneur brut pourront servir de source de comparaison pour une future étude thermique une fois la réhabilitation terminée.

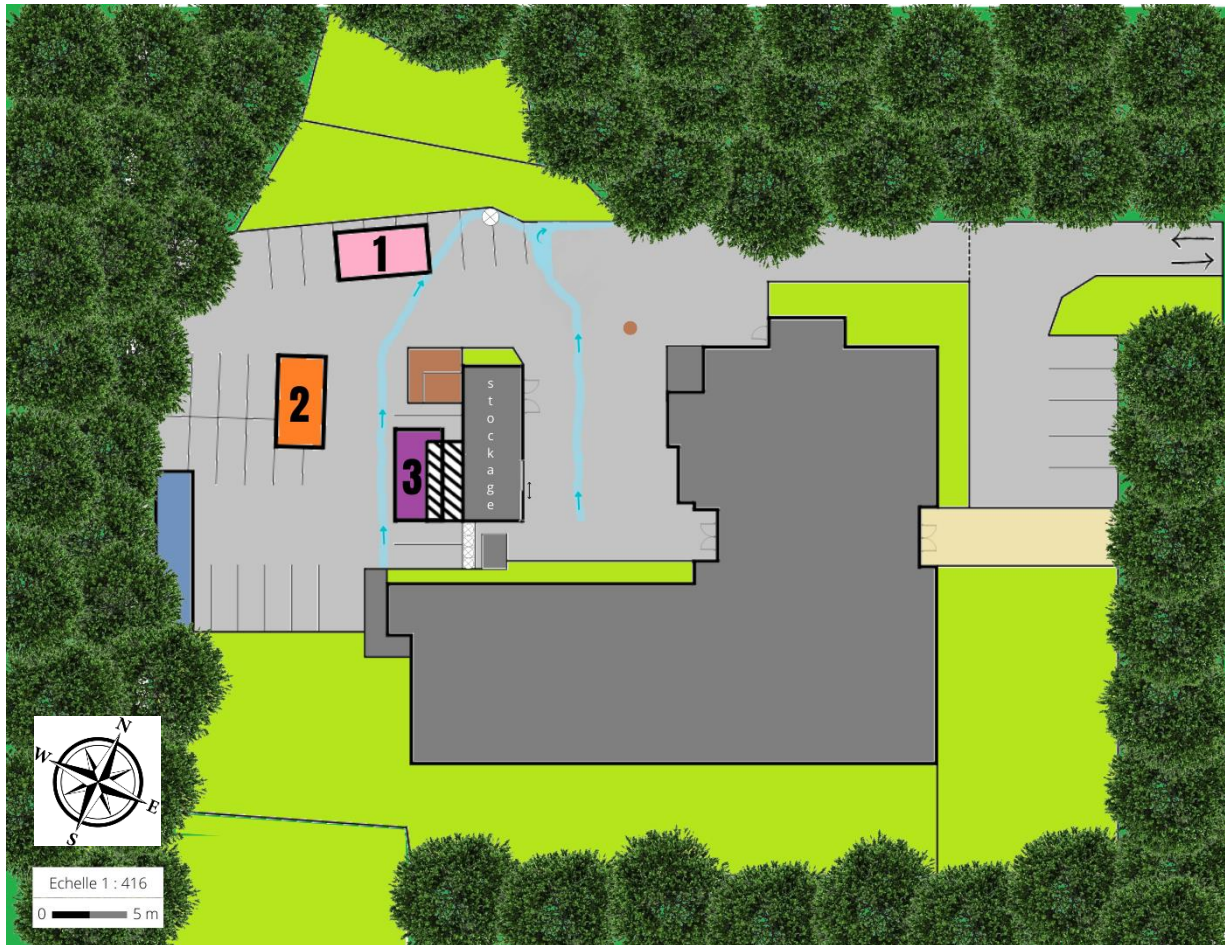
1.3.2. Le choix du futur emplacement

Le conteneur est initialement positionné sur le parking de la pépinière d'entreprises TEKNICA, accolé à un petit bâtiment de stockage. Pour des raisons logistiques, nous devons déplacer le conteneur afin de pouvoir l'isoler sur ses façades extérieures. Ainsi, une réflexion toute particulière a été accordée à sa nouvelle position afin qu'elle soit optimale.

Dans un premier temps, nous nous sommes rendus sur le terrain afin d'analyser spatialement le site et relever ses caractéristiques. Nos observations nous ont permis de réaliser la Figure 7, à savoir un plan de masse de la pépinière TEKNICA qui expose, à l'échelle, ses éléments constitutifs. Le conteneur étudié est surélevé par des parpaings et placé contre un bâtiment de stockage, comme précisé précédemment. Ce bâtiment de stockage est accessible par le sud via deux grandes portes métalliques coulissantes et il possède également deux portes à ouverture classique sur cette même façade. Ce dernier fait face au bâtiment principal en forme de L, haut de 10 mètres, qui est orienté au sud-est. Nous pouvons voir que le conteneur occupe actuellement trois places de stationnement, notre objectif sera donc de ne pas dépasser ce nombre de places occupées lors du choix de sa position finale. En effet, le site peut accueillir un peu moins d'une trentaine de véhicules et nos quelques passages sur le terrain nous ont montré que le parking était souvent complet.

Il est important de préciser l'aspect vallonné du terrain qui se caractérise par la présence de plusieurs pentes sur le parking. Par souci de lisibilité, nous n'avons pas pu représenter les dénivelés sur le plan de masse. Cependant, nous nous sommes rendus sur place par temps pluvieux et avons pu observer les conséquences de ces pentes. En effet, quand il pleut, deux filets d'eau assez importants se forment sur le parking de part et d'autre du bâtiment de stockage. Ces ruissellements s'écoulent en direction d'une grille d'évacuation des eaux pluviales qui, lors de notre passage en novembre, était obstruée par un amas de feuilles. Effectivement, le site est compris entre des parcelles enherbées présentant des dénivelés importants et des zones boisées, dont les arbres possèdent un feuillage caduc. Ces arbres, hauts d'environ 15 mètres, empiètent partiellement sur le côté ouest du parking et perdent leurs feuilles en automne, ce qui explique cette situation.

L'exposition du site est quant à elle complexe car, comme nous venons de l'évoquer, le parking est entouré d'un bâtiment haut de 10 mètres et d'arbres d'une hauteur de 15 mètres, lui apportant, par conséquent, énormément d'ombres. Ainsi, l'ensoleillement du parking est hétérogène et inégal selon l'endroit où l'on se place. Cette exposition dépend également des saisons et du moment de la journée qui sont associées à une variation de la hauteur du soleil, influençant l'ombre au sol.



Légende


















	Parcelles enherbées		Position initiale du conteneur du projet		Places de parking
	Emprise des bâtiments		Autre conteneur		Arbres à feuillage caduc
	Parking bitumé		1er choix d'emplacement du conteneur		Filet d'eau de pluie
	Allée		2e choix d'emplacement du conteneur		Plaque d'égout
	Dalle de béton avec cabanon		3e choix d'emplacement du conteneur		Sens du courant
	Grille d'évacuation d'eau pluviale		Entrée/Sortie du parking		

Figure 7 – Plan de masse du site TEKNICA avec les emplacements possibles du conteneur

Dans un second temps, nous avons déterminé plusieurs emplacements stratégiques afin d'accueillir le conteneur. Les critères de sélection qui ont été retenus sont l'ensoleillement, l'absence d'arbre aux alentours et de gêne occasionnée pour la circulation des véhicules sur le parking. Tous ces choix ont été faits en prenant en compte l'emprise au sol finale du conteneur, c'est-à-dire isolation et bardage compris.

Notre premier choix s'est directement tourné vers l'emplacement visible en rose sur la Figure 7. En effet, au regard de l'exposition du parking, ses pentes, l'absence d'arbres le surplombant et de l'écoulement de l'eau pluviale, nous avons pensé qu'il constituait en ce sens une position idéale pour le conteneur, sans gêne apparente. Ainsi, il occuperait trois places de parking, voire une quatrième pour l'ouverture des portes, et ne dérangerait aucunement la circulation de tous types de véhicules.

Le deuxième emplacement sélectionné, représenté en orange sur la Figure 7, a été désigné car il n'occupait que deux places de parking et ne gênait pas la circulation des véhicules. Cependant, cette position se trouvera très rapidement à l'ombre des arbres au cours de l'après-midi.

Enfin, le troisième emplacement n'est autre que la position initiale du conteneur, légèrement décalée de sorte qu'il ne soit plus accolé au bâtiment de stockage pour faciliter sa réhabilitation. Néanmoins, cette place est partiellement ensoleillée car elle se trouve dans l'ombre du bâtiment principal.

Dans un troisième temps, nous avons affiné notre choix en réalisant un relevé de masques solaires (outil permettant de calculer l'ensemble des éléments pouvant créer de l'ombre à un point précis) pour chacun des emplacements déterminés précédemment. Après avoir calculé la hauteur des composants pouvant perturber l'exposition solaire du conteneur, grâce à la technique de la croix de bûcheron (

Annexe 3), nous avons ensuite relevé les azimuts et les hauteurs angulaires de points significatifs (Annexe 4). Voici ce que l'on a pu observer :

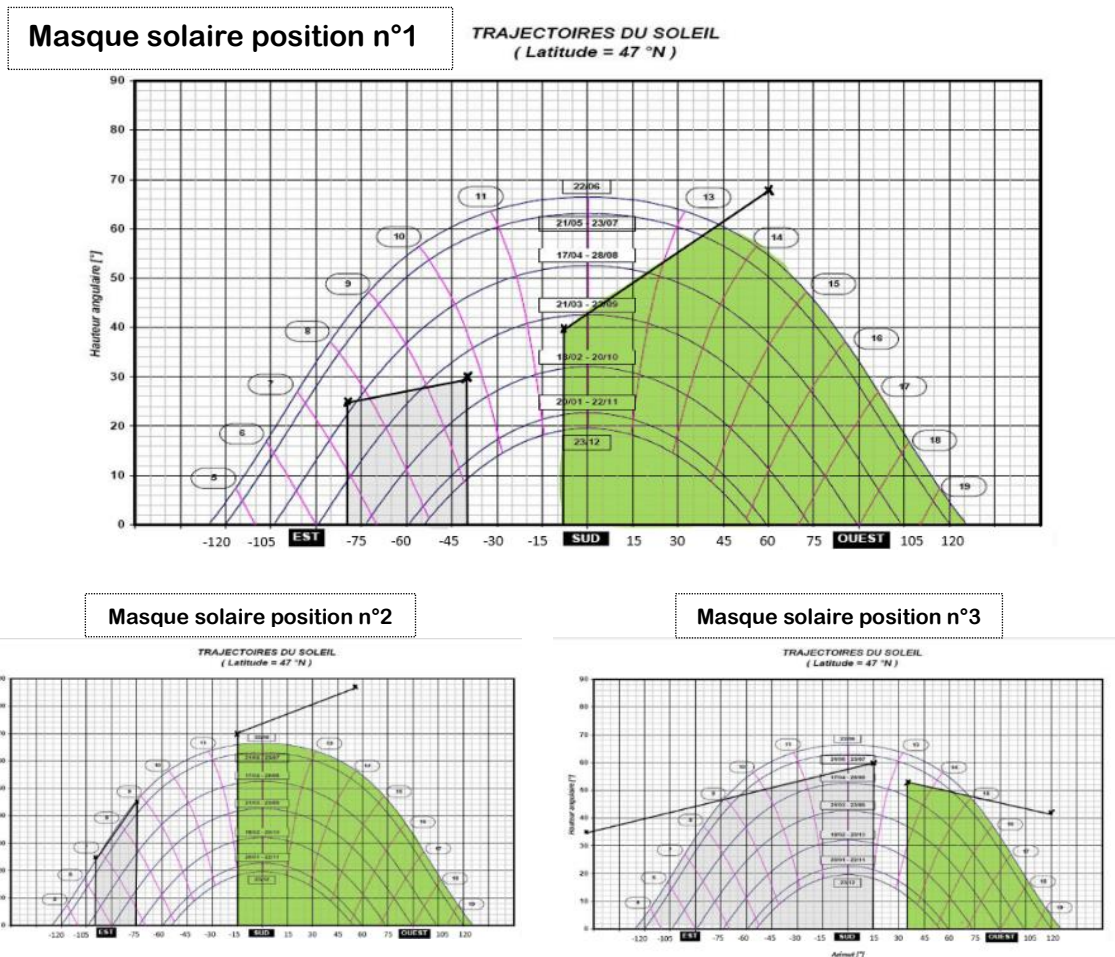


Figure 8 : Schémas des différents masques solaires

Les chiffres situés au-dessus des tracés roses, indiquent l'heure, et les courbes bleues indiquent les périodes de l'année. Ces trois schémas nous font facilement remarquer que peu importe l'emplacement, le parking de Teknica est très ombragé. Les deux éléments procurant ce masque solaire sont le bâtiment au sud-est et les arbres à l'ouest. À remarquer également qu'à la position n°3 (initiale), le bâtiment de stockage auquel le conteneur est accolé lui fait de l'ombre sur tout son côté droit (lorsque l'on se situe face aux portes).

Finalement, l'étude des masques solaires démontre que l'emplacement n°1 est le plus intéressant. Exposé au soleil le matin la plupart de l'année, il sera à l'ombre l'après-midi en été lors de fortes chaleurs. Malheureusement, il sera également à l'ombre l'après-midi, en hiver, lors de périodes plus humides. Afin de permettre aux eaux pluviales de s'écouler facilement vers la grille d'évacuation malgré la pente, et également éviter au conteneur d'être en contact direct avec le sol pour éviter les remontées d'humidité, nous avons décidé qu'il serait plus intéressant de le surélever.

2. Réhabilitation du conteneur Teknica

2.1. Présentation d'une solution

2.1.1. Choix des matériaux et techniques

Avant toute chose, il est important de préciser que la réglementation du PLU de Ploemeur a été respectée pour l'ensemble de la rénovation.

Isolation et surélévation

À travers cette partie, nous allons définir à l'aide de matrices de décision proposées par Monsieur TESSIER, les éléments que nous évaluerons les plus pertinents à utiliser pour réhabiliter le conteneur, au regard de différents critères préalablement établis dans le cahier des charges. Nous présenterons également des ordres de prix et de quantités associés, la provenance ainsi que les techniques de pose du matériau sur le conteneur.

Pour déterminer l'isolation appropriée pour la réhabilitation du conteneur, nous avons le choix entre huit composants que nous avons étudiés dans la partie 1.2.1 : laine de verre, laine de roche, polystyrène expansé, botte de paille de céréales, fibre de bois, liège expansé, laine de coton (Métisse®) et laine de chanvre.

Parmi ces matériaux, nous pouvons écarter de notre choix les trois ayant une empreinte environnementale trop importante par rapport aux autres. Ainsi, la laine de verre, la laine de roche et le polystyrène expansé sont déjà mis de côté. Si l'on prend en compte la question budgétaire, parmi les matériaux restants, un isolant ressort du lot : le liège expansé. En effet, celui-ci détient un prix trop élevé par rapport aux autres, et nous savons que le client cherche à dépenser le moins dans la mesure du possible.

Ainsi, il nous reste à déterminer notre isolant entre la botte de paille, la fibre de bois, la laine de coton et la laine de chanvre.

Pour compléter cette matrice, des critères d'évaluation doivent être pris en compte afin de comparer les produits. Plus il y aura de caractéristiques évaluées, plus le choix sera juste et proche de notre étude de cas. Voici ceux que l'on va prendre en compte : budget, impact environnemental, épaisseur, proximité des matériaux, difficulté de pose, difficulté de récupération, durabilité, inertie et le déphasage.

Ensuite, nous avons classé chaque caractéristique par rapport aux autres à l'aide d'un tableau de matrice de décision

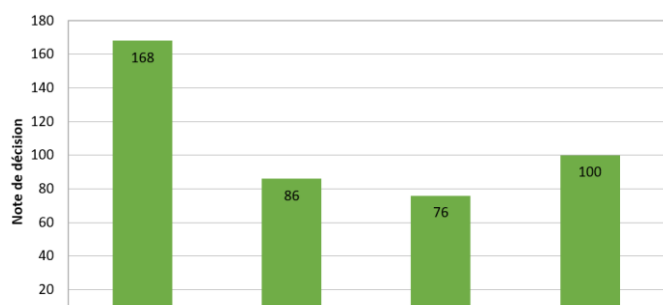


Figure 9 : Graphique présentant le résultat de la matrice de décision effectuée sur Excel (détails en Annexe 5 et Annexe 6)

afin d'obtenir une échelle d'importance de chaque catégorie. Pour finir, nous avons évalué, par une note comprise entre 0 et 5, chaque matériau en fonction de la caractéristique. Après avoir complété toutes ces informations, nous avons ainsi obtenu un résultat d'aide à la décision. À partir de ce résultat, nous pouvons en déduire qu'il sera préférable de prendre la botte de paille comme isolant. Ainsi, nous avons choisi ce matériau pour notre réhabilitation du conteneur en espace de stockage.

Dorénavant, nous allons détailler les différentes informations sur le plan technique qui sont nécessaires pour la rénovation du conteneur.

Nous avons basé tous nos calculs et dimensions en fonction de la taille du conteneur et des matériaux achetés neufs afin d'obtenir une vue d'ensemble du projet de réhabilitation. Ces mesures peuvent alors être modifiées en fonction des matériaux de seconde main récupérés s'ils ne correspondent pas aux mêmes dimensions.

Les schémas ci-dessous représentent les différentes coupes du conteneur isolées et surélevées par rapport au niveau du sol :

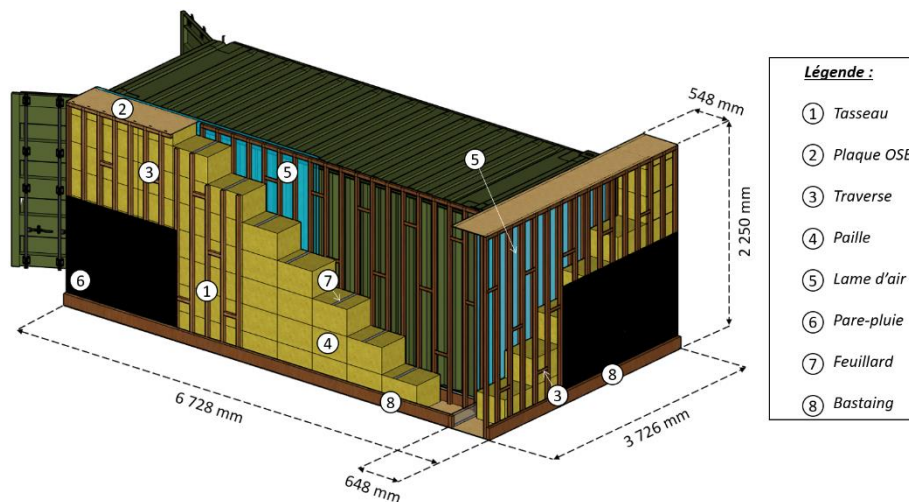


Figure 10 : Coupe de deux façades du conteneur isolées en paille

Le conteneur sera entièrement isolé par l'extérieur en bottes de paille sur trois façades : les deux grandes parois et l'arrière du conteneur. Au niveau des portes, pour des questions de praticité et de budget, nous avons choisi d'effectuer une isolation intérieure en laine de chanvre (deuxième choix d'isolant proposé dans la matrice).

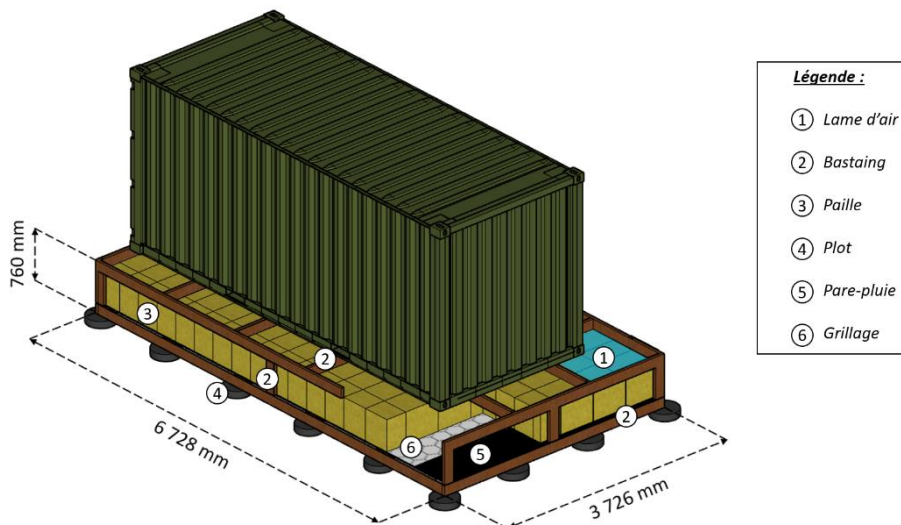


Figure 11 : Coupe du sol isolé en paille et surélevé par des plots

Concernant l'isolation au sol, celle-ci est également en bottes de paille. À la suite de l'étude préalable (1.2.1. Isolation), nous avons décidé de surélever le conteneur afin d'éviter tout contact sur les emplacements de stationnement et ainsi le protéger de l'humidité et des passages de l'eau de pluie, ce qui dégraderait l'isolation. Le conteneur et ses isolants seront alors élevés de 50 à 80 mm. Pour cela, des plots « terrasses » réglables posés à même le sol, sur lesquels sera posée une armature en bois, surélèveront la structure.

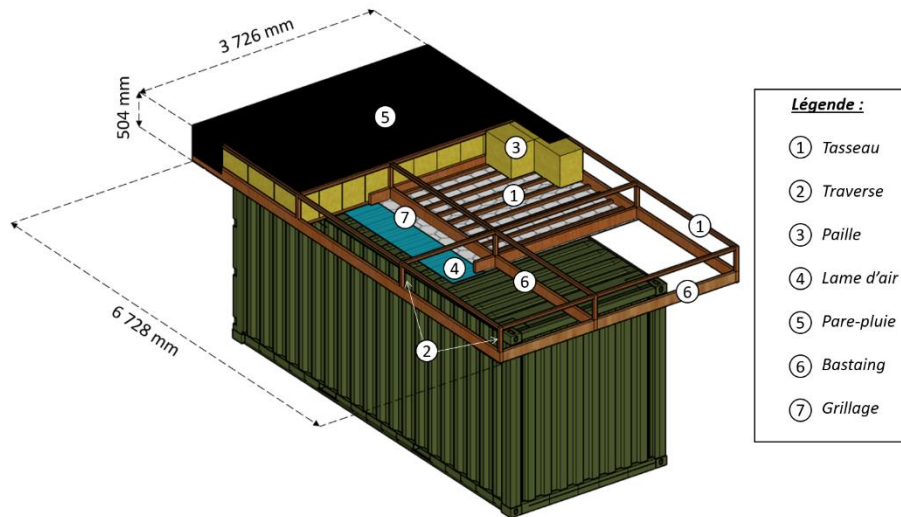


Figure 12 : Coupe du toit isolé en paille

Quant à l'isolation du dessus, celle-ci ne sera pas en contact avec le toit du conteneur afin de laisser une lame d'air entre les deux. Cette lame d'air, qui est présente sur toutes les faces du conteneur, d'une épaisseur d'environ 100 mm, permet une légère circulation de l'air, de ce fait la condensation entre les bottes de pailles et les parois du conteneur sera limitée. De plus, cet espacement apporte une protection supplémentaire contre le risque incendie. L'armature sera posée sur l'isolation des trois parois. Afin de pouvoir maintenir correctement la paille, un grillage sera installé sur la structure bois (constituée de bastaings et tasseaux).

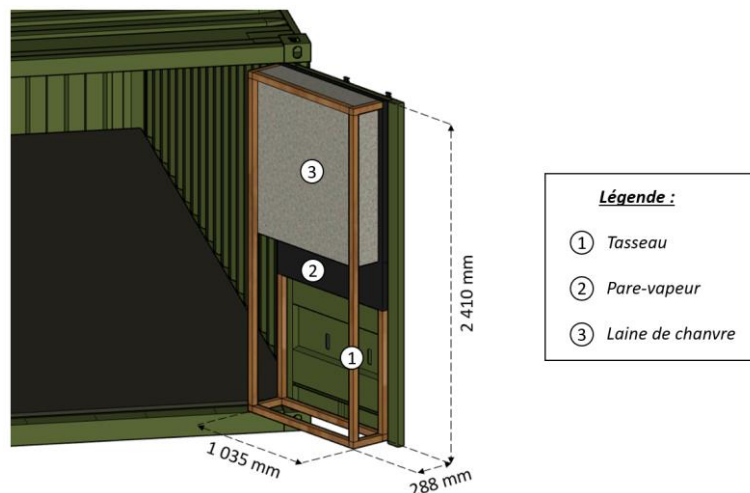


Figure 13 : Coupe de l'isolation intérieure en laine de chanvre présente au niveau des deux portes du conteneur

Comme évoqué précédemment, au niveau de l'entrée principale du conteneur, l'isolation est intérieure et en chanvre. Pour pouvoir ouvrir les portes, l'isolant ne pourra pas faire la largeur complète de celles-ci, ce qui créera malheureusement un pont thermique. Cependant pour des raisons budgétaires, éviter un pont thermique à cet endroit demandait une isolation extérieure coûteuse.

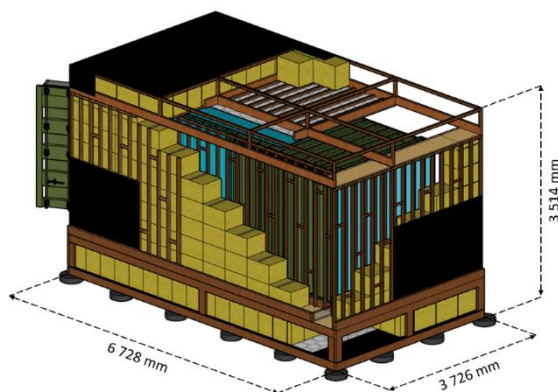


Figure 14 : Rendu final avec l'isolation et la surélévation sur toutes les faces

Sur cette dernière représentation, nous pouvons observer une vue d'ensemble des parois isolées et des dimensions finales de la structure (sans les revêtements). À première vue, la quantité de bois est conséquente, cependant, celle-ci est nécessaire pour maintenir une solidité de la structure face aux intempéries. La méthode utilisée pour isoler et utiliser le moins de bois possible est la technique du GREB (Groupe de Recherches Ecologiques de la Baie). D'autres techniques existent comme celles en coffrage dans lesquels les bottes de paille sont déposées, mais celle-ci requiert plus de bois, soit un budget plus élevé.

En somme, voici le matériel nécessaire ainsi que les fournisseurs et les ordres de prix associés :

Tableau 5: Récapitulatif des quantités de matériaux nécessaires à l'isolation, ainsi qu'une comparaison de leur prix en seconde main et en neuf.

Matériaux et dimensions	Quantité	Seconde main	Neuf
Tasseaux de bois résineux 44 mm × 44 mm × 2400 mm	236	Leboncoin → 1416 €	Leroy Merlin → 2354 €
Panneaux d'OSB3 9 mm × 1250 mm × 2500 mm	7	Ty Waste → 0 €	Leroy Merlin → 230 €
Bottes de paille 360 mm × 460 mm × 550 mm	475	Leboncoin → 1187 €	Isol'en Paille® → 3202,63 € (livraison comprise)
Pare-pluie 0.1 mm × 1000 mm × 30 m	112 m ²	Leboncoin → 100 €	Bricomarché → 140 €
Feuillards 1 mm × 40 mm × 560 mm	114 m	Leboncoin → 57 €	Leroy Merlin → 140 €
Bastaings en résineux 50 mm × 150 mm × 4 m	40	Leboncoin → 300 €	Leroy Merlin → 796 €
Plots pour lambourdes 208 mm × 50/80 mm	24	Leboncoin → 30 €	Leroy Merlin → 75 €
Grillage maille de 13 mm ; 1000 mm × 25000 mm	51 m ²	Leboncoin → 100 €	Leroy Merlin → 160 €
Pare-vapeur 0.1 mm × 4000 mm × 4000 mm	5.5 m ²	Leboncoin → 10 €	Bricomarché → 14 €
Laine de chanvre Epaisseur de 200 mm ; panneaux chanvre-lin 600 mm × 1250 mm	5 m ²	Leboncoin → 100 €	Leroy Merlin → 180 €
Coût total :		3 300 €	7 291,63 €

Revêtement mur extérieur

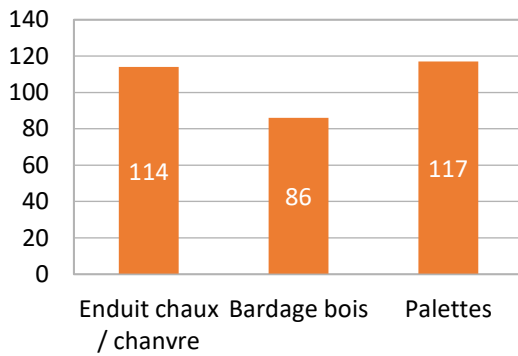


Figure 15- résultats de la matrice de décision concernant le revêtement mural extérieur

Afin de déterminer quel matériau serait le plus adapté au bardage extérieur, nous avons comparé trois types de revêtement mural : l'enduit chaux/chanvre, le bardage bois et enfin le bois de palette grâce à nos analyses précédentes et à la matrice de décision. Cette dernière a été basée sur plusieurs critères : la durabilité du produit dans le temps (coefficient 8), son empreinte environnementale (8), sa résistance aux chocs et aux conditions météorologique (8), sa nécessité de traitements et d'entretiens (6), son prix (5), sa facilité de mise en œuvre (4) et sa récupérabilité en seconde main (coefficient 3).

D'après les scores obtenus, le bardage en bois de palettes semble davantage correspondre à nos attentes, suivi de près par l'enduit chaux/chanvre et le bardage en bois classique.

Ainsi, dans l'optique de barder le conteneur, nous nous sommes intéressés au modèle de palettes Europe de dimensions 800 x 1200 mm composées de :

- 4 planches de 1200 x 145 x 22 mm
- 4 planches de 1200 x 100 x 22 mm
- 6 dés de 145x100x78 mm
- 3 dés de 145 x 145 x 78 mm
- 3 traverses de 800 x 145 x 22 mm

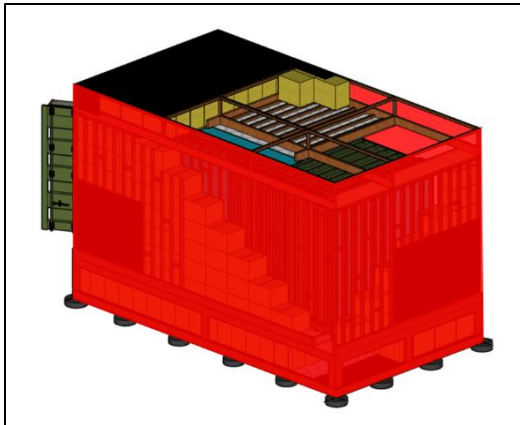


Figure 16 : Vue en trois dimensions de la surface à barder sur le conteneur

La surface à barder, présentée en rouge sur la Figure 16, représente 68 m². Le bardage a été réfléchi de manière à gaspiller le moins de bois possible. La technique utilisée sera celle du bardage en clin, détaillée ultérieurement. À cette fin, nous devons nous procurer 81 palettes.

Les planches les plus larges de 1200 x 145 x 22 mm seront utilisées pour barder les faces arrière et avant, ainsi qu'un côté du conteneur. Les traverses de 800 x 145 x 22 mm seront employées pour barder le côté restant. Le surplus de planches de cette taille servira à créer des caches angles pour éviter l'infiltration de l'eau de pluie dans les arêtes du bardage et avoir de belles finitions en haut et en bas de la porte.

Les planches devront préalablement être détachées de la palette, soit en sciant les clous déjà existants, soit en les retirant délicatement, à l'aide d'un pied de biche, pour ne pas les abîmer.

Nous utiliserons les tasseaux déjà existants de l'isolation en paille afin d'y clouer les planches. Par ailleurs, il faudra malgré tout ajouter de nouveaux « tasseaux » de 44 x 100 x 470 mm sur la partie basse du conteneur, matérialisée en bleu sur la Figure 17, ainsi que des tasseaux de 44 x 100 x 300 mm sur la partie haute en vert. Pour ce faire, deux planches de palettes de 1200 x 100 x 22 mm assemblées formeront les « tasseaux » de soutien.

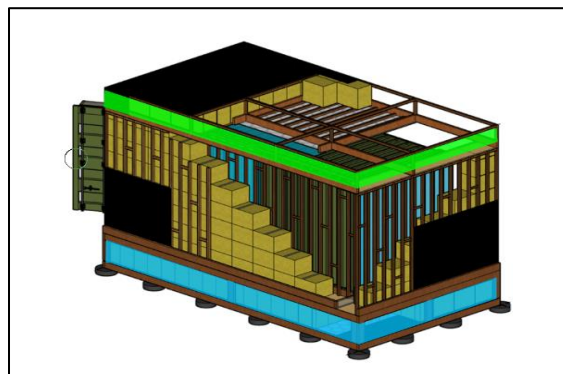


Figure 17 : Vue en trois dimensions des surfaces où rajouter des tasseaux

Le restant de ces mêmes planches servira à constituer les caches angles sur les côtés de la porte du conteneur, à combler les vides engendrés par le toit monopente, à élaborer un marchepied pour faciliter l'entrée dans le conteneur, ou encore à créer les étagères demandées par l'association Mémoire de Soye. Les seuls déchets des palettes seront donc les dés de bois aggloméré, pour lesquels aucune nouvelle utilisation n'a été trouvée de par leur fragilité et leur friabilité.

Le montage du bardage en clin débutera par le bas du conteneur avec une première rangée de palettes alignée sur la façade isolée. La rangée de palettes supérieure chevauchera la précédente sur 30 mm, l'angle d'inclinaison se fera ensuite naturellement.

Enfin, pour que le bois perdure dans le temps, deux bidons de lasure de cinq litres seront nécessaires pour le recouvrir de deux couches protectrices.

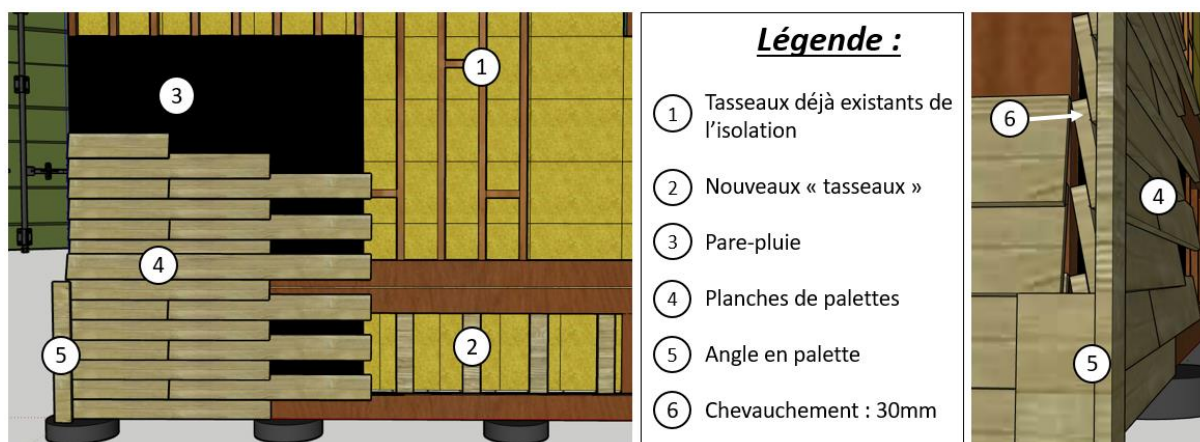


Figure 18 : Bardage en clin composé de bois de palette

Pour avoir un ordre de prix neuf et d'occasion voici un tableau récapitulatif :

Tableau 6: Récapitulatif des quantités de matériaux nécessaires au bardage, ainsi qu'une comparaison de leur prix en seconde main et en neuf.

Matériaux et dimensions	Quantité	Seconde main	Neuf
Palettes 800 mm x 1200 mm	81	TyWaste → 0 €	Palettes Distri-Ouest → 1 438,56 € (Livraison comprise)
Lasure Bidon de 5 L	2	Leboncoin → 80 €	Leroy Merlin → 85,80 €
Coût total :		80 €	1 524,36 €

Revêtement sol

En vue du très bon état du sol déjà existant dans le conteneur, nous avons décidé que rajouter un revêtement au sol ne serait pas nécessaire. En effet, les sols des conteneurs maritimes ont de très bonnes caractéristiques. Du fait de leur structure en acier robuste, ils supportent très bien les charges lourdes. Ces traverses en acier sont quant à elles recouvertes d'un plancher en bois, qui, grâce à sa souplesse, supporte bien le passage de chariots élévateurs et reprend très bien sa forme. Dans notre cas, des meubles parfois lourds vont être apportés et retirés de temps à autres. Alors cette robustesse et cette élasticité nous seront tout autant utiles. Le bois (le plus souvent exotique) possède une bonne résistance à l'humidité, aux écarts de température et également aux insectes, remplissant donc ainsi notre cahier des charges. Seul un nettoyage sera donc nécessaire pour la remise en état du conteneur.

Revêtement toit

Pour donner suite à l'inventaire non exhaustif de matériaux employés usuellement, réalisé dans la partie 1.2.3 Revêtement toit, nous en avons sélectionné deux parmi la couverture photovoltaïque, végétale, métallique et en tuiles de terre cuite afin de les analyser plus en détails et de conforter notre choix final. Après avoir écarté d'une part les panneaux photovoltaïques, trop onéreux et inappropriés au périmètre de notre projet, et d'autre part les tuiles, inadaptées au climat breton et aux toits plats, nous avons ainsi retenu la toiture végétalisée extensive (la plus économique, légère, demandant un entretien limité), et le revêtement métallique en tôle bac acier. À ce premier choix a également été ajoutée l'option du toit-terrasse recouvert de graviers, largement popularisée et d'ailleurs employée sur les toits de la faculté Sciences et Sciences de l'ingénieur de l'UBS.

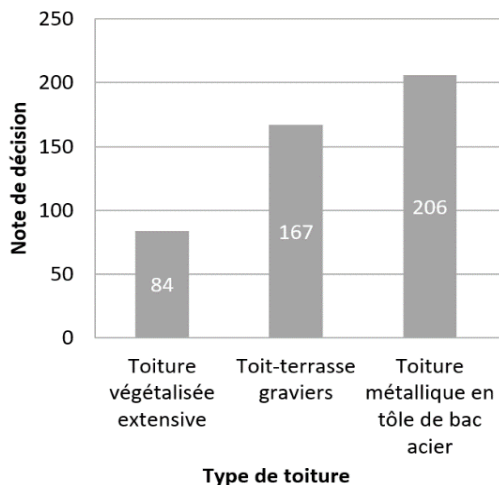


Figure 19 - Résultat de la matrice de décision concernant la toiture

Afin d'optimiser l'évacuation des eaux pluviales par les tôles, il est nécessaire de concevoir une légère pente de 5% qui permettra d'orienter le flux. Ainsi, il faut créer un cadre en bois surélevé et incliné sur lequel reposera la toiture en bac acier.

Les critères pris en compte pour la détermination de la toiture sont, entre autres, la résistance aux intempéries et aux agressions extérieures (coefficient 10), la qualité d'étanchéité (9), la pérennité (7), l'impact environnemental (6), la légèreté (5) ou encore le coût d'acquisition (4).

Le résultat obtenu par la matrice a soulevé l'intérêt de réaliser une toiture métallique en tôle de bac acier sur le conteneur.

Pour la mettre en œuvre, nous avons considéré la surface du toit qui comprend l'isolation (6728 x 3726 mm).

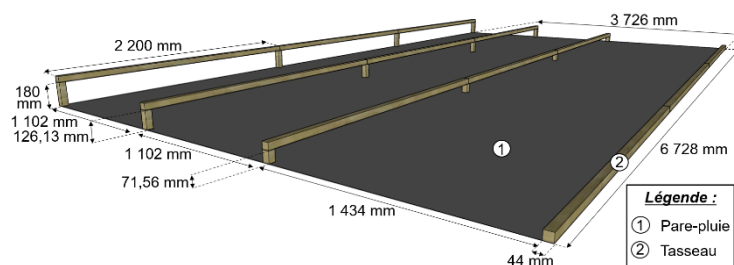


Figure 20 - Schéma du montage de la charpente pour la toiture métallique

En l'espèce, les mesures choisies nous permettent d'obtenir une pente de : $\frac{180}{3682} \times 100 \approx 4,9\%$. Les tôles de bac acier, longues de 4 m, permettent de créer un débord de toit de 27 cm dans le sens de l'écoulement de l'eau, de façon à protéger le bardage et l'isolation de toute infiltration.

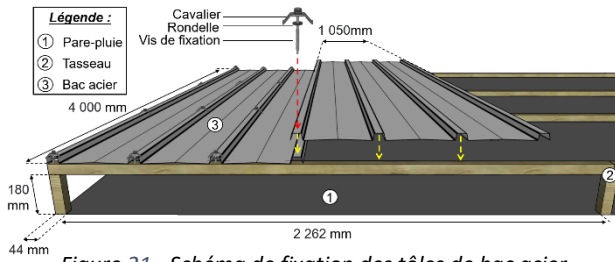


Figure 21 - Schéma de fixation des tôles de bac acier

Pour couvrir la totalité du toit, nous avons besoin de 25 m² de tôles de bac acier. Ces dernières disposent d'une largeur totale de 1050mm pour une largeur utile de 1000mm. Ainsi, les plaques seront superposées sur les 50mm de marge que constituent les nervures latérales et seront vissées sur les tasseaux à l'aide de cavaliers.

Enfin, les espaces de vide latéraux, créés par la toiture monopente, seront obstrués grâce à des bandes de rive. Il en est de même avec les trous au sommet de la pente, générés par les nervures du bac acier, qui seront calfeutrés par des faîtières simples crantées. Le restant de planches de palettes en bois (1200 x 100 x 22 mm), issu du bardage, permettra de combler les espaces d'ouverture résiduels.

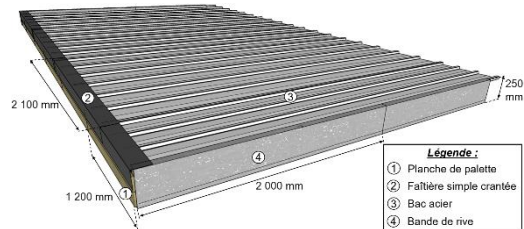


Figure 22 - Modélisation finale du toit

En somme, voici le matériel nécessaire, les fournisseurs ainsi que les ordres de prix associés :

Tableau 7 : Récapitulatif des quantités de matériaux nécessaires à la toiture, ainsi qu'une comparaison de leur prix en seconde main et en neuf.

Matériaux et dimensions	Quantité	Seconde main	Neuf
Tôles bac acier 4000 mm x 1050 mm x 0,5 mm	7	Tôle Armor → 222,60 €	Leroy Merlin → 450,80 €
Tasseaux de bois résineux 2400 mm x 44 mm x 44 mm	12	Leboncoin → 72 €	Leroy Merlin → 119,70 €
Bandes de rive 2000 mm x 250 mm	4	Leboncoin → 80 €	Leroy Merlin → 112,80 €
Faîtières simples crantées 2100 mm x 130 mm	4	Leboncoin → 80 €	Leroy Merlin → 111,76 €
Coût total :		454,60 €	795,06 €

Cloisons internes (sas)

A la suite d'une étude de matériaux, afin de mettre en forme le sas, il serait plus adapté d'utiliser des plaques d'OSB (de type 3 ou 4, adaptés aux milieux humides) sur une ossature en bois. L'ajout de joints afin de bien séparer les deux pièces est aussi à ne pas oublier : entre la plaque d'OSB et la porte du conteneur, mais aussi relativement aux ondulations du plafond.

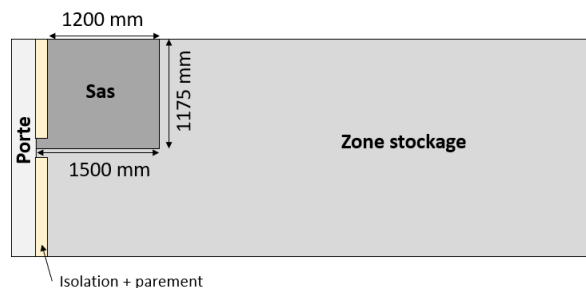


Figure 23 : Schéma du positionnement du sas

Dans le but de se procurer ce matériel, un ordre de prix sera donné en neuf et en seconde main dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Récapitulatif des quantités de matériaux nécessaires à la création d'un sas, ainsi qu'une comparaison de leur prix en seconde main et en neuf.

Matériaux et dimensions	Quantité	Seconde main	Neuf
Panneaux d'OSB3 16mm × 1200 mm × 2410 mm 16 mm × 1488 mm × 2410 mm	2	Ty Waste → 0 €	Leroy Merlin → 102,12 €
Tasseaux de bois résineux 32 mm × 50 mm × 1200 mm 32 mm × 50 mm × 1175 mm 32 mm × 50 mm × 2346 mm	2 2 3	Leboncoin → 20 €	Leroy Merlin → 30.90 €
Silicone 280 millilitres	1	Leboncoin → 10 €	Leroy Merlin → 12 €
Joint d'étanchéité	2	Leboncoin → 10 €	Leroy Merlin → 30 €
Coût total :		40 €	175,02 €

Ventilation

Le conteneur est équipé de deux aérateurs, positionnés en partie haute à l'avant et à l'arrière de celui-ci, qui seront obstrués grâce à des restes de matériaux pour éviter tout risque de propagation de bactéries, insectes et champignons. Etant donné qu'il est destiné à stocker un certain nombre de meubles en bois qui ont la particularité d'emmagasinier et libérer de l'humidité, nous nous sommes penchés sur les différents types de ventilation existants afin de renouveler l'air intérieur du conteneur, tout en gardant une stabilité thermique et hygrométrique de celui-ci. Après avoir éliminé l'option de la ventilation naturelle, nous nous sommes concentrés sur celle qui est mécaniquement contrôlée (VMC). En l'espèce, l'isolant très épais et compact ainsi que l'absence de combles excluent la mise en place d'une VMC standard, installée usuellement dans les habitations, limitant ainsi notre champ d'actions.

Nous nous sommes alors intéressés à une alternative moins imposante, plus simple à monter et tout autant performante. Nous avons opté pour une ventilation double flux autonome décentralisée, également appelée extracteur. Elle se compose d'un unique bloc dans lequel se trouve un accumulateur de chaleur en céramique micro-perforée qui permet de conformer la température du flux d'air insufflé en provenance de l'extérieur, à celle du flux d'air vicié extrait du conteneur, ne créant ainsi aucune variation thermique.

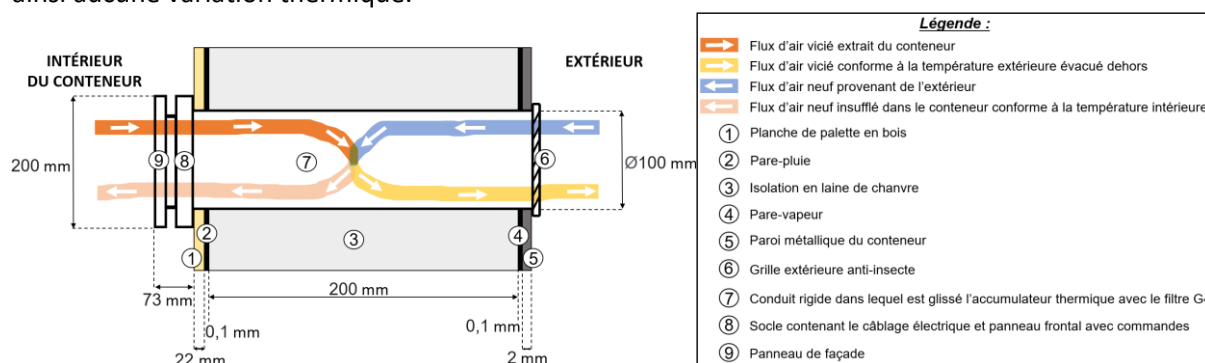


Figure 24 - Plan de coupe de la ventilation sur la porte du conteneur

Le modèle sélectionné dispose, entre autres, d'une mousse isolante phonique, d'une grille extérieure anti-insectes et d'une grille intérieure dotée d'un filtre lavable G4 contrant pollens, poussières, bactéries et particules polluantes. Il est équipé d'un moto-ventilateur (un petit moteur électrique qui

assure la rotation des pales) à courant continu haut rendement et très basse consommation, permettant trois modes de fonctionnement : récupération de chaleur, extraction ou insufflation. Avec un débit de 30 m³/h et une puissance de consommation maximale de 4W, cet équipement, raccordé à une alimentation électrique, correspond parfaitement à notre conteneur de 33 m³. La ventilation sera installée en hauteur, de manière horizontale respectant une légère pente de 3° environ vers l'extérieur, à travers l'isolation en laine de chanvre de la porte du conteneur qui mène à la pièce de stockage. Sur le côté intérieur de cette même porte, nous plaquerons le restant de planches de bois de palettes 1200 x 100 x 22 mm afin de soutenir cette ventilation qui pèse 3,1kg (2017; Domotelec).

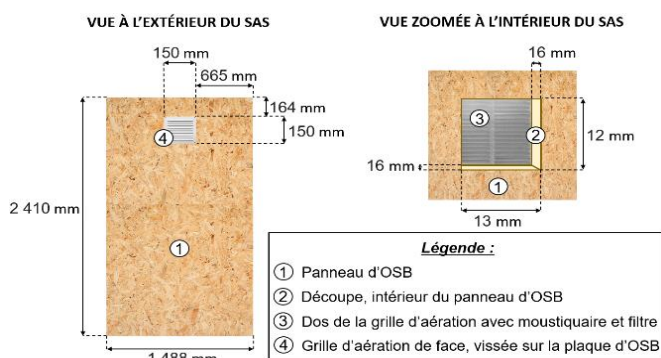


Figure 25 - Schémas illustrant la pose de la grille d'aération

Afin que le sas puisse lui-aussi profiter de ce renouvellement d'air, sans toutefois contaminer les autres meubles présents dans la pièce de stockage, nous allons l'équiper d'une grille d'aération constituée d'une moustiquaire, à laquelle nous allons ajouter un filtre G4. Cette dernière sera vissée en hauteur, sur l'une des cloisons en OSB qui aura été préalablement découpée pour permettre à l'air de circuler à travers la grille.

Dans le but de se procurer ce matériel, un ordre de prix sera donné en neuf et en seconde main dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Récapitulatif des quantités de matériaux nécessaires à la mise en place de la ventilation, ainsi qu'une comparaison de leur prix en seconde main et en neuf.

Matériaux et dimensions	Quantité	Seconde Main	Neuf
EXTRACTEUR DOUBLE FLUX - VORTICE - XW30 MONO EVO 12434 ø 100 mm - 30 m ³ /h	1	Domotelec → 384 €	
Conduit rigide pour XW30 - TUBXW30 700 x ø 100mm	1	eNovelec → 23,14 €	
Grille d'aération avec moustiquaire 150 x 150mm	1	Leboncoin → 5 €	Leroy Merlin → 7,30 €
Filtre G4 290 x 460mm	1	Leroy Merlin → 6,30 €	
Coût total :		418,44 €	420,74 €

2.1.2. Coût total de la réhabilitation

Le budget total est basé sur des données recueillies par des devis, des prix proposés par des magasins, ou bien des particuliers, ainsi ces prix peuvent varier lors de la mise en œuvre du projet (augmentation par l'inflation). La majorité des coûts sont présents, cependant des budgets de quincaillerie sont à inclure également. Nous estimons que les outils sont disponibles et que les vis, pointes... sont de récupération. Si ce n'est pas le cas, alors ces prix seront à rajouter.

Tableau 10 : Récapitulatif budgétaire des demandes administratives et des composants de réhabilitation

Demandes Administratives		Sans Architecte	Avec Architecte
Permis de construire	Demande de permis	0 €	1 500 €
	Taxe d'aménagement	1 351,15 €	1 351,15 €
Coût total :		1 351, 15 €	2 851,15 €

Composants permettant une réhabilitation	Seconde main (Leboncoin ; Ty Waste ; Tôle Armor)	Neuf
Déplacement conteneur	1 200 €	
Isolation en paille et surélévation	3 300 €	7 291,63 €
Revêtement mur extérieur	80 €	1 524,36 €
Revêtement toit	454,60 €	795,06 €
Cloisons internes (sas)	40 €	175,02 €
Ventilation	418,44 €	420,74 €
Coût total :	5 493,04 €	11 406, 81 €

Coût global :	6 844,19 €	14 257,95 €
----------------------	-------------------	--------------------

Un second coût est à relever, celui d'utilisation du conteneur. En effet, par une ventilation constante toute l'année, un budget d'électricité s'ajoute. Cependant, en vue de sa puissance maximale très faible, sa consommation est résiduelle et son coût également. Enfin, un entretien est nécessaire pour le bardage en palette. Nous avons choisi d'estimer un budget annuel pour celui-ci, bien qu'il ne soit pas requis tous les ans, afin de prendre connaissance de son coût.

Tableau 11: Récapitulatif des dépenses annuelles et d'entretien

Coûts annuels et entretiens	Seconde main	Neuf
Electricité ventilation		6,07€
Entretien bois (tous les 8 ans) annualisé	Leboncoin → 10 €	10,73
Coût total :	16,07 €	16,80 €

2.2. Présentation du projet

2.2.1. Maquette

Si l'on superpose les différentes couches de réhabilitation, nous pouvons ainsi visualiser ce que l'on obtiendrait une fois la rénovation accomplie.

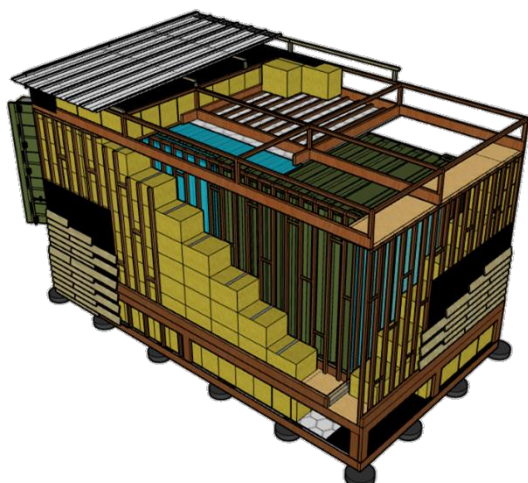


Figure 26 : Plan de coupe du rendu final avec les différents composants de la réhabilitation du conteneur

Un rendu final avec les différents revêtements mis en œuvre a également été effectué pour découvrir la réhabilitation entièrement terminée :



Figure 27 : Vue finale avec les revêtements finaux

Le conteneur a pour but, suite à sa réhabilitation, de devenir un espace de stockage de meubles et d'objets historiques de l'association Mémoire de Soye. Nous avons alors mis au point un plan de rangement dans lequel nous retrouvons les différents meubles que Monsieur SENDRA nous avait demandé de protéger et conserver en priorité. Tous ont ainsi leur place dans l'espace de stockage.

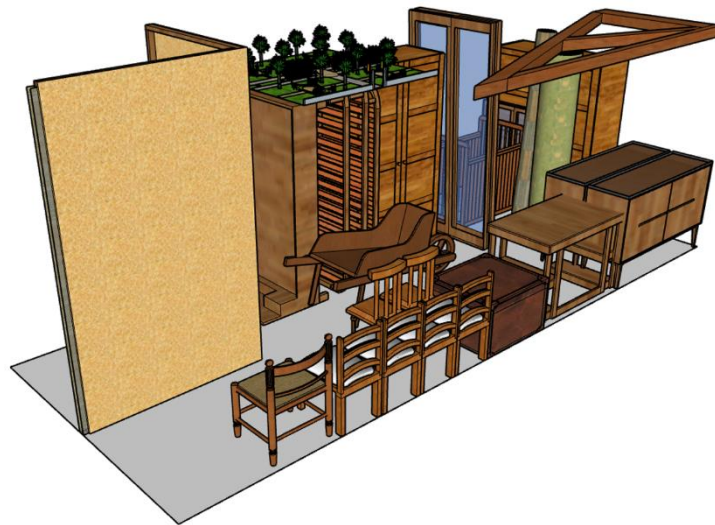


Figure 28 : Exemple de rangement des meubles qui devaient être mis dans l'espace de stockage du conteneur

2.2.2. Impact social

La réhabilitation écologique d'un conteneur peut avoir un impact social important, notamment lorsqu'elle favorise le développement d'une économie locale plus durable en impliquant un grand nombre d'acteurs dans la transition vers un mode de vie plus respectueux de l'environnement. Ainsi, en utilisant des matériaux récupérés et en encourageant l'entraide et la collaboration, ce projet peut contribuer à tisser et renforcer les liens sociaux, à créer un sentiment d'appartenance et de fierté envers le patrimoine local, et à encourager l'émergence d'une société plus résiliente.

Afin de mener à bien ce projet, nous avons en premier lieu sollicité les conseils de notre réseau universitaire, à commencer par nos professeurs d'éco-conception et de mécanique qui nous ont soumis des ouvrages techniques et scientifiques afin d'alimenter notre réflexion. En parallèle, nous avons impliqué un étudiant de Master qui nous a partagé son expérience, donné des pistes afin d'appréhender ce sujet dans sa globalité et guidé sur d'éventuels fournisseurs bretons à contacter. Dans un second temps, nous avons fait appel à des partenaires externes (Isol'en Paille et Palettes Distri-Ouest) qui nous ont apporté leurs expertises et connaissances de professionnels expérimentés dans le domaine de la construction écologique et de l'économie circulaire, au travers de devis. Nous avons également pris contact avec Madame Bénédicte PERRIN de Lorient Agglomération pour se renseigner sur la nécessité d'un permis de construire et les coûts que cela pourrait engendrer, mais aussi avec Levouest et LMG Levage Manutention afin d'obtenir un devis pour le déplacement du conteneur grâce à un véhicule adapté. Cette collaboration a permis d'élargir notre réseau de contacts et de valoriser une entraide plus conséquente qu'entre étudiants d'une seule promotion, favorisant l'identification de solutions innovantes et respectueuses de l'environnement pour la réhabilitation du conteneur.

L'un de nos objectifs initiaux était de travailler avec des fournisseurs de proximité afin de favoriser l'économie locale en soutenant les artisans du territoire, mais aussi pour limiter l'empreinte carbone du transport des matériaux. De ce fait, nous nous sommes notamment tournés vers Tôle Armor, entreprise située à Guidel (56), Palettes Distri-Ouest localisée à Landévant (56), et Isol'en Paille implantée au Sud de la ville d'Angers (49). Cependant, certaines contraintes financières, ciblant plus particulièrement le bois de charpente, nous ont amené à chercher des solutions alternatives aux scieries locales, dérogeant à notre principe initial.

L'emploi de matériaux de récupération, issus de filières du recyclage, figurait également parmi les points essentiels à ne pas négliger dans la réalisation de ce projet. En l'occurrence, les tôles de bac acier sélectionnées chez Tôle Armor sont déclassées. Nous avons également souhaité effectuer notre comparatif de matériaux à l'aide de plateformes telles que Leboncoin, accessible par tous, ou encore Ty Waste, qui s'adresse aux entreprises et collectivités. Elles visent toutes les deux à soutenir les particuliers et/ou les organisations dans la gestion des déchets et la transition vers une économie circulaire et durable. Toutes deux applicables en Bretagne, elles promeuvent le réemploi et la réutilisation des objets plutôt que leur élimination. En prolongeant la durée de vie des produits, elles tendent vers une démarche de réduction de la consommation des ressources naturelles. Par ce biais, l'impact environnemental se trouve diminué et le prix réduit. Il est également important de souligner que nous avons réfléchi à l'impact de ces matériaux sur les générations futures et nous avons choisi de valoriser une méthode respectueuse de l'environnement en employant des matières recyclables et/ou écologiques.

Dans l'objectif de limiter les achats de services et de matériaux, nous avons œuvré de manière collaborative en utilisant, entre autres, le réseau de contacts propre à la pépinière d'entreprises Teknica, dont font partie Ty Waste et EC-56. Cette méthode permet de soutenir la récupération et le recyclage de matériaux, tout en limitant les coûts. De plus, l'entraide entre les différentes sphères que

sont l'Université, le Technopole et l'association Mémoire de Soye a également été encouragée pour favoriser une plus grande coopération et la mise en relation d'acteurs variés.

Durant ces six mois d'actions, nous avons eu l'occasion de présenter les tenants et aboutissants de ce projet ainsi que notre avancement à divers parties prenantes, parmi lesquelles figuraient Cécile ROUDIT-LE ROUX, Inès CHAMBERON et Monsieur SENDRA. Nous avons également rencontré Monsieur RENTENIER et Monsieur JOUNAY qui travaillent à AudéLor, afin de leur exposer notre problématique et la partie budgétaire associée à la réhabilitation du conteneur. Ainsi, chaque rendez-vous effectué a permis de tisser de nouveaux liens sociaux entre différents acteurs concernés.

Nous avons à cœur qu'un chantier participatif s'organise afin d'impliquer les locaux dans la réalisation de ce projet qui reflète aussi l'envie de protéger le patrimoine local et l'histoire culturelle de la ville de Ploemeur. Cette initiative permettrait de renforcer les liens et contribuerait à promouvoir l'éducation environnementale et à sensibiliser la population aux enjeux écologiques et sociaux liés à la préservation du patrimoine.

Ainsi, ce projet est un exemple inspirant de la manière dont les initiatives environnementales peuvent avoir un impact social positif et consolider cette cohésion d'acteurs.

2.2.3. Avenir du projet

Notre rôle dans ce projet de réhabilitation touche à sa fin. Pour la suite de la vie de ce conteneur, diverses modifications des plans risquent de se produire dépendamment des choix effectués par le pôle Teknica et des matériaux récupérés. Toutefois, nous avons eu l'occasion de réaliser de nombreuses études, notamment sur l'emplacement du conteneur, qui pourront demeurer sources d'arguments pour l'avenir. Néanmoins, quelques points risqueraient de modifier considérablement les propositions que nous avons soumises : d'une part, si pour la réalisation, les gestionnaires du projet font appel à une entreprise, celle-ci souhaitera probablement y appliquer ses méthodes de travail et ses fournisseurs habituels ; d'autre part, dans le cas où un architecte est contacté, celui-ci pourra à son tour apporter des modifications suivant ses sensibilités. Le dernier point pouvant être source de changement repose sur la validation ou non de nos propositions par le pôle financier de Teknica, à la suite de notre présentation au directeur des ressources.

Une fois les esquisses et études confirmées par la partie financière du projet, il sera possible de passer aux étapes de recherches des matériaux et de construction. La quête de matière s'avère longue et semée d'embûches pour conserver un moindre coût et l'aspect seconde main. En revanche, l'étape de la fabrication, le lancement d'un chantier participatif ou associatif permettrait de conserver un petit budget ainsi que les plans de construction initiaux, mais surtout d'élancer une fois de plus cette réhabilitation dans sa sphère sociale.

Nous pouvons ainsi dire que la partie consacrée à l'étude du projet est achevée. Désormais, nous passons la main au pôle Teknica et à l'association Mémoire de Soye. Les futurs choix ne sont plus de notre ressort, cependant, nous serons ravis de garder contact avec le pôle Teknica, plus particulièrement avec Cécile qui fut très présente pour nous, car nous serions curieux d'avoir des informations concernant la suite de ce projet.

Conclusion

Le projet d'année que nous venons d'effectuer était loin de ce que l'on avait imaginé. En effet, nous ne nous attendions pas à réaliser de tels relevés et études scientifiques et structurelles pour mener à terme cette rénovation. Loin de nous, lors du choix de réaliser une réhabilitation, l'idée d'accomplir un travail digne d'un architecte et d'un bureau d'études. Ayant peu de connaissances solides sur ces domaines, nous avons quelques appréhensions face à la demande du partenaire extérieur, mais finalement ces secteurs d'études nous ont fortement intéressés et séduits. Les tâches que l'on a pu effectuer changeaient de ce que l'on pouvait aborder en cours, ce qui nous a captivés. Par ailleurs, nous avons apprécié balayer de nombreux domaines d'études tout au long de l'année en réalisant nos recherches et réflexions, car nous retrouvions régulièrement des éléments que l'on avait entrevu en cours. Effectivement, de nombreuses notions abordées telles que le PLU (Plan Local d'Urbanisme) et l'économie-circulaire concordaient avec nos unités d'enseignement comme le droit d'urbanisme, l'IEM (Impact Environnemental des Matériaux conventionnels et écologiques), la RDM (Résistance Des Matériaux), l'éco-conception...

Sur le plan pratique, nous avons eu la chance d'avoir des correspondants réactifs lors de nos échanges. De même pour l'accessibilité au conteneur que l'on devait étudier, qui était très simple et libre, ce qui a favorisé notre efficacité.

Le projet d'année a finalement été une étude qui nous a permis de vivre une expérience professionnelle enrichissante et intense. En effet, de par l'objectif que l'on avait, les membres du pôle Teknica auxquels nous devions répondre et la charge de travail en autonomie, cela nous a permis de développer des compétences personnelles bénéfiques, en matière d'autogestion et de responsabilité. Une avancée rigoureuse en équipe a dû être nécessaire pour mener à bien le projet. Nous avons eu la chance, du fait de la pluralité des tâches, d'enrichir notre palette de connaissances comme dans les secteurs du bricolage, de la construction mais également par l'utilisation de nouveaux logiciels comme Pléiades (pour de la simulation thermique) et SketchUp (pour de la maquette 3D).

Pour clôturer ce travail débuté en octobre 2022, nous avons pu établir de façon rigoureuse une réponse au questionnement initial. En cela, nous suggérons la mise en œuvre d'une isolation en paille suivant la méthode du GREB, additionnée à un revêtement élaboré en bois de palettes ainsi qu'une couverture de toiture en tôle bac acier. Pour protéger le conteneur de l'humidité, le montage complet devra être surélevé et une ventilation installée. Cette proposition a pour but d'associer de la façon la plus optimale possible des enjeux environnementaux, budgétaires et sociaux, piliers du développement durable.

Ce projet concerne exclusivement la réhabilitation du conteneur localisé sur le terrain du pôle Teknica, additionné aux conditions de conservation du mobilier et des documents de l'association Mémoire de Soye. Des solutions peuvent être transposées dans d'autres situations similaires, notamment l'usage de techniques ou de matériaux. Toutefois, cette rénovation ayant reposé sur un principe de seconde main et de récupération, le matériel nécessaire de même que le budget associé devront être entièrement réétudiés.

Bibliographie

- ACMContainer Conteneur maritime, les secrets d'une structure robuste. In: info-container.fr.
<https://info-container.fr/conteneur-maritime/>. Accessed 28 Oct 2022
- Box'innov AUTORISATIONS ET PERMIS DE CONSTRUIRE POUR UN CONTAINER.
<https://www.boxinnov.com/permis-construire-container/>. Accessed 1 Nov 2022
- Calvat G (2009) Les charpentes et les couvertures. Éd. Alternatives, Paris
- Charles (2020) L'histoire du conteneur maritime: Malcom McLean. In: GOLIAT.
<https://www.goliat.fr/lhistoire-du-conteneur-maritime/>. Accessed 28 Oct 2022
- ContainerZ Les containers perdus, les containers recyclés ~ Blog. In: ContainerZ.
<https://www.container-z.com/fr/blog-1/les-containers-perdus-les-containers-recycles>.
Accessed 28 Oct 2022a
- ContainerZ Foire aux questions (FAQ) sur les conteneurs maritimes. In: ContainerZ.
<https://www.container-z.com/fr/faq>. Accessed 28 Oct 2022b
- Deschaux J (2017) 4. Comment (bien) conserver les collections patrimoniales ? In: Coq D (ed)
Apprendre à gérer des collections patrimoniales en bibliothèque. Presses de l'enssib,
Villeurbanne, pp 46–67
- Domotelec Extracteurs Double Flux - VORTICE - HRW Mono Evo. In: DOMOTELEC.FR.
<https://www.domotelec.fr/vortice-extracteurs-double-flux-hrw-mono-20.html>. Accessed 15
Feb 2023
- Dunnett N, Kingsbury N, Laïs E (2011) Toits et murs végétaux, 3e éd. Rouergue, Rodez
- Fossoux E, Chevriot S Construire sa maison container Ed. 4 - ScholarVox Université, Eyrolles
- Gabriel I (2012) Bardages en bois: guide pratique matériau, étude, réalisation. Presses
polytechniques et universitaires romandes, Lausanne
- Harford T (2018) Chapitre 17. Le conteneur maritime. In: L'économie mondiale en 50 inventions.
Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp 127–133
- In'Box Container (2022) 6 conseils pour entretenir votre container maritime. In: In'Box Container.
<https://www.inbox-container.com/6-conseils-pour-entretenir-votre-container-maritime/>.
Accessed 18 Nov 2022
- Inies FDES (Produits de construction). In: Inies. [https://www.inies.fr/inies-et-ses-donnees/fdes-
produits-de-construction/](https://www.inies.fr/inies-et-ses-donnees/fdes-produits-de-construction/). Accessed 4 Dec 2022
- Luckett K (2011) Toits verts : Construction et maintenance. Dunod
- Marie-laure (2018) Cycle de vie d'un container maritime. In: ContainPool | La nouvelle génération de
piscine. <https://www.containpool.com/le-cycle-de-vie-dun-container-maritime/>. Accessed 28
Oct 2022

- Neowood (2020) Le bardage composite : une alternative au bardage en bois. In: Neowood.
<https://www.neowood.fr/blog/le-bardage-composite-une-alternative-au-bardage-en-bois/>.
Accessed 4 Dec 2022
- Peiger P, Baumann N (2018) Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures. Eyrolles, Paris
- Schneider Avocats (2019) Du conteneur maritime à l'habitation dans le respect de la réglementation d'urbanisme. In: SCHNEIDER AVOCATS. <https://www.schneider-avocats.com/article/du-conteneur-maritime-a-lhabitation-dans-le-respect-de-la-reglementation-durbanisme/>.
Accessed 8 Nov 2022
- Schneider C, Dib A (2016) Comment choisir un bardage rapporté ? exigences à satisfaire en fonction de la destination et des caractéristiques du bâtiment. CSTB éditions, Marne-la-Vallée
- SVP (2021) Quelle est la réglementation d'urbanisme applicable à la pose d'un container à usage de stockage par un professionnel ? <https://www.svp.com/notes-expert/quelle-est-la-reglementation-durbanisme-applicable-a-la-pose-dun-container-a-usage-de-stockage-par-un-professionnel>. Accessed 1 Nov 2022
- Textainer Textainer | Container Leasing. <https://www.textainer.com/>. Accessed 20 Nov 2022
- Tomsin P (2007) Les patrimoines mobiliers scientifique et technique : spécificités de leur restauration, de leur conservation et de leur valorisation. CeROArt Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art. <https://doi.org/10.4000/ceroart.370>
- Wesierski V, Lyonnet C (2017) Les couvertures en tuiles : Tuiles de terre cuite - Tuiles en béton Ed. 2. CSTB
- (2017) HRW Double flux individuelle (montage) - Vortice / Axelair

Annexes

Annexe 1 : Tableau comparatif matériaux standards et écologiques. Version complète	II
Annexe 2 : Calculs effectués dans le but d'obtenir les caractéristiques thermiques des matériaux.....	III
Annexe 3 : Schéma explicatif de calcul de hauteur d'arbre grâce à la croix de bûcheron.....	III
Annexe 4 : Schéma représentant les points significatifs relevés pour le calcul des masques solaires.	III
Annexe 5: Onglet de la matrice de décision dans lequel les notes sont entrées en fonction de critères établis	IV
Annexe 6 : Onglet de la matrice de décision dans lequel les critères sont hiérarchisés aboutissant aux coefficients	IV

Annexe 1 : Tableau comparatif matériaux standards et écologiques. Version complète

Informations	Matériaux standards			Matériaux écologiques				
	Laine de verre	Laine de roche	Polystyrène expansé	Bottes de paille de blé (flux thermique transversal au sens des fibres)	Fibre de bois (semi-rigide)	Liège expansé	Laine de coton (Métisse®)	Laine de chanvre
Chaleur spécifique = capacité thermique massique	935	935	1450	1700	1950	1850	1400	1500
Capacité thermique volumique (Wh/m³.K)	6.49	36.36	6.85	42.5	21.67	56.53	9.72	12.5
Conductivité thermique (λ)(W/m.K)	0.036	0.04	0.035	0.047	0.040	0.039	0.040	0.040
Epaisseur (m) UF	0.18	0.2	0.175	0.235	0.2	0.195	0.2	0.2
Résistance thermique R (m².K/W)	5	5	5	5	5	5	5	5
Masse volumique (kg/m³)	25	140	17	90	40	110	25	30
Inertie (J/(m².K)	168.3	187	253.75	399.5	390	360.75	280	300
Diffusivité thermique (10 ⁻⁶ m²/sec)	1.54	0.31	1.42	0.31	0.51	0.19	1.14	0.89
Déphasage (heure)	3.37	8.26	3.38	9.71	6.44	10.29	4.31	4.88
Perméabilité à la vapeur	1	1	60	1 à 2	1 à 2	5	2 à 3	1 à 2
Résistance au tassement (années)	Instable si faible densité	Instable si faible densité	Instable dans le temps	Très bonne durabilité et stabilité	Bonne stabilité	Très bonne stabilité	Bonne stabilité si accrochage adapté	Bonne durabilité et stabilité
Résistance au feu (euroclasse)	A1	A2	E	B2	E	E	D	E
Prix (€/m²) chez PointP *non-trouvés sur PointP	13	39	34	2.50* taille standard (36 cm x 46 cm x 1 m)	40	100*	49	50
Energie grise (kWh)	62	37	81	5	43	43	53	52
Bilan carbone (kg CO2 éq /UF)	10.17	9.35	10,26	-26.44	-1.46	-27.06	1.80	-0.78

En noire : valeurs bibliographiques

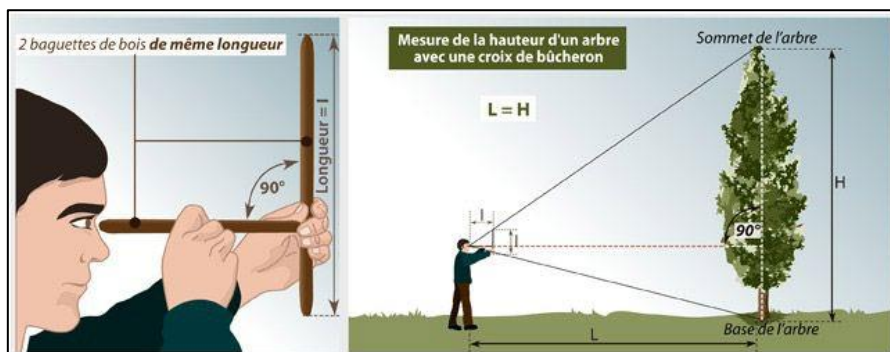
En rouge : valeurs calculées (Annexe 2) basées sur une résistance thermique de 5m².K/W

UF : unité équivalente pour 1m² apportant une résistance thermique de 5m².K/W

Annexe 2 : Calculs effectués dans le but d'obtenir les caractéristiques thermiques des matériaux

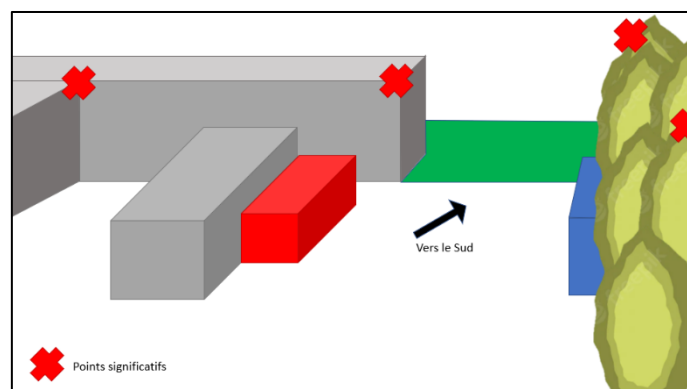
Valeur recherchée	Calcul effectué	Précisions sur les unités
Diffusivité thermique (m ² /sec)	$\kappa = \lambda \div (\rho \times C_p)$	λ la conductivité thermique du matériau en W/(m.K) ρ la masse volumique en kg/m ³ C_p la capacité thermique massique à pression constante en J/(kg.K)
Capacité thermique volumique C _{PV}	$C_{PV} = \rho \times (C_p \div 3600)$	ρ la masse volumique en kg/m ³ C_p la capacité thermique massique à pression constante en J/(kg.K)
Calculs inertie	$C_p \times e$	C_p la capacité thermique massique à pression constante en J/(kg.K) e l'épaisseur en m
Résistance thermique	$R = e \div \lambda$	e l'épaisseur en m λ la conductivité thermique du matériau en W/(m.K)
Epaisseur	$e = R \times \lambda$	e l'épaisseur en m λ la conductivité thermique du matériau en W/(m.K)
Déphasage	$\frac{e \times T \times \sqrt{(\pi \div T)}}{2 \times \pi \times \sqrt{a}}$ Pour T=24h : $\frac{e \times 1.38}{\sqrt{a}}$	e l'épaisseur en m a la diffusivité thermique de la paroi en m ² /heures. T le temps étudié en heures

Annexe 3 : Schéma explicatif de calcul de hauteur d'arbre grâce à la croix de bûcheron



Sources : Le site des arboristes grimpeur (consulté en novembre 2022) : <http://www.allo-olivier.com/Elagage/Abattage.htm>


Annexe 4 : Schéma représentant les points significatifs relevés pour le calcul des masques solaires



Annexe 5: Onglet de la matrice de décision dans lequel les notes sont entrées en fonction de critères établis

Matrice d'aide à la décision		Critères de choix																																												
		Budget					Impact environnemental					épaisseur					proximité des matériaux					difficulté de pose					difficulté de récupération					durabilité					inertie					Déphasage				
		Coeff. 5					Coeff. 5					Coeff. 2					Coeff. 6					Coeff. 2					Coeff. 6					Coeff. 5					Coeff. 2					Coeff. 3				
		0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5	0	1	3	5					
PROPOSITIONS	1	Botte de paille					1					1					1					1					1					1					1									
	2	Fibre de bois					1					1					1					1					1					1					1									
	3	Laine de coton					1					1					1					1					1					1					1									
	4	Laine de chanvre					1					1					1					1					1					1					1									
	5																																													
	6																																													
	7																																													
	8																																													
	9																																													
	10																																													
	11																																													
	12																																													
	13																																													
	14																																													
	15																																													

Annexe 6 : Onglet de la matrice de décision dans lequel les critères sont hiérarchisés aboutissant aux coefficients


 0 : importance égale ou inférieure
 1 : importance supérieure
 Ne pas compléter les zones noires ou grisé

Importance de ce critère par rapport à		Budget	Impact environnemental	épaisseur	proximité des matériaux	difficulté de pose	difficulté de récupération	durabilité	inertie	Déphasage	0	0	0	0	Pondération
Budget		0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	5	
Impact environnemental		/	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5	
épaisseur		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
proximité des matériaux		0	/	/	0	0	/	1	1	0	0	0	0	6	
difficulté de pose		0	0	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
difficulté de récupération		/	/	0	/	0	0	1	1	1	0	0	0	6	
durabilité		/	/	0	0	/	0	0	1	1	0	0	0	5	
inertie		0	0	/	0	/	0	0	0	0	0	0	0	2	
Déphasage		0	0	/	0	/	0	/	0	0	0	0	0	3	
0		/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	9	
0		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	10	
0		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	11	
0		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	