



## RAPPORTAGE DE LA CONSTRUCTION ET DE LA DÉCONSTRUCTION DU BRIC II



Remise le 12 novembre 2020 - Version 2

Réalisé par Caroline Morizur - *Atelier de l'Estran* - morizurcaro@gmx.fr

Ce rapport répond au marché public lancé le 31 juillet 2019 par Bruxelles-Environnement :  
*Rapportage de la construction et de la déconstruction du BRIC II et de la conception du BRIC III.*



Site en janvier 2017.

# SOMMAIRE

<b>1. Contexte de construction des bâtiments BRIC.....</b>	<b>3</b>
1.1_ Rappel des étapes de construction et déconstruction.....	3
1.2_ Les matériaux disponible pour la construction du BRIC2.....	5
1.3_ La conception des plans BRIC2.....	9
<b>2. Apprentissage de la construction et déconstruction du bâtiment BRIC2.....</b>	<b>12</b>
2.1_ Fondations et plateforme en bois.....	12
2.2_ Ossature en bois: colonnes - murs extérieurs - isolation.....	14
2.3_ Revêtements extérieurs.....	23
2.4_ Toiture.....	25
2.5_ Chassis.....	26
2.6_ Techniques spéciales: électricité - eau.....	28
2.7_ Finitions intérieures.....	34
<b>3. Analyse de l'impact de la conception réversible.....</b>	<b>36</b>
3.1_ Coût de construction du BRIC2.....	36
3.2_ Comparaison des coûts de construction avec BRIC1.....	38
3.3_ Le coût de la Réversibilité dans le projet BRIC.....	39



Lecture de gauche à droite:  
Façade avant BRIC2  
Montage des murs en caissons  
Vue sur la face en tôle et cèdre de réemploi  
Détails de la façade : les colonnes et plantes

# 1. Contexte de construction des bâtiments BRIC



## 1.1\_ Rappel des étapes de construction et déconstruction

Le bâtiment BRIC2 est montable, démontable conçu sur le principe d'une architecture réversible à l'efp, Espace Formation PME centre de formation à Uccle entre octobre 2018 et mai 2019.

BRIC2 est construit principalement avec des matériaux de réemploi. Ces matériaux étaient déjà utilisés dans le BRIC1, et pensés pour la future intégration dans le BRIC2. La majorité des fournitures du projet BRIC ont été achetées en 2016, en parallèle de la conception réversible des 3 bâtiments BRIC; permettant l'allongement de la durée de vie et d'utilisation de l'ensemble des fournitures. Tous les postes de la construction sont impactés dans une logique de réversibilité: des fondations aux finitions intérieures y compris les éléments de structure et les techniques spéciales.

La structure est une ossature en bois. Les colonnes portent une toiture plate, les caissons auto-portant forment les murs extérieurs. Les finitions intérieures se composent d'argile au mur, et le sol est en parquet.

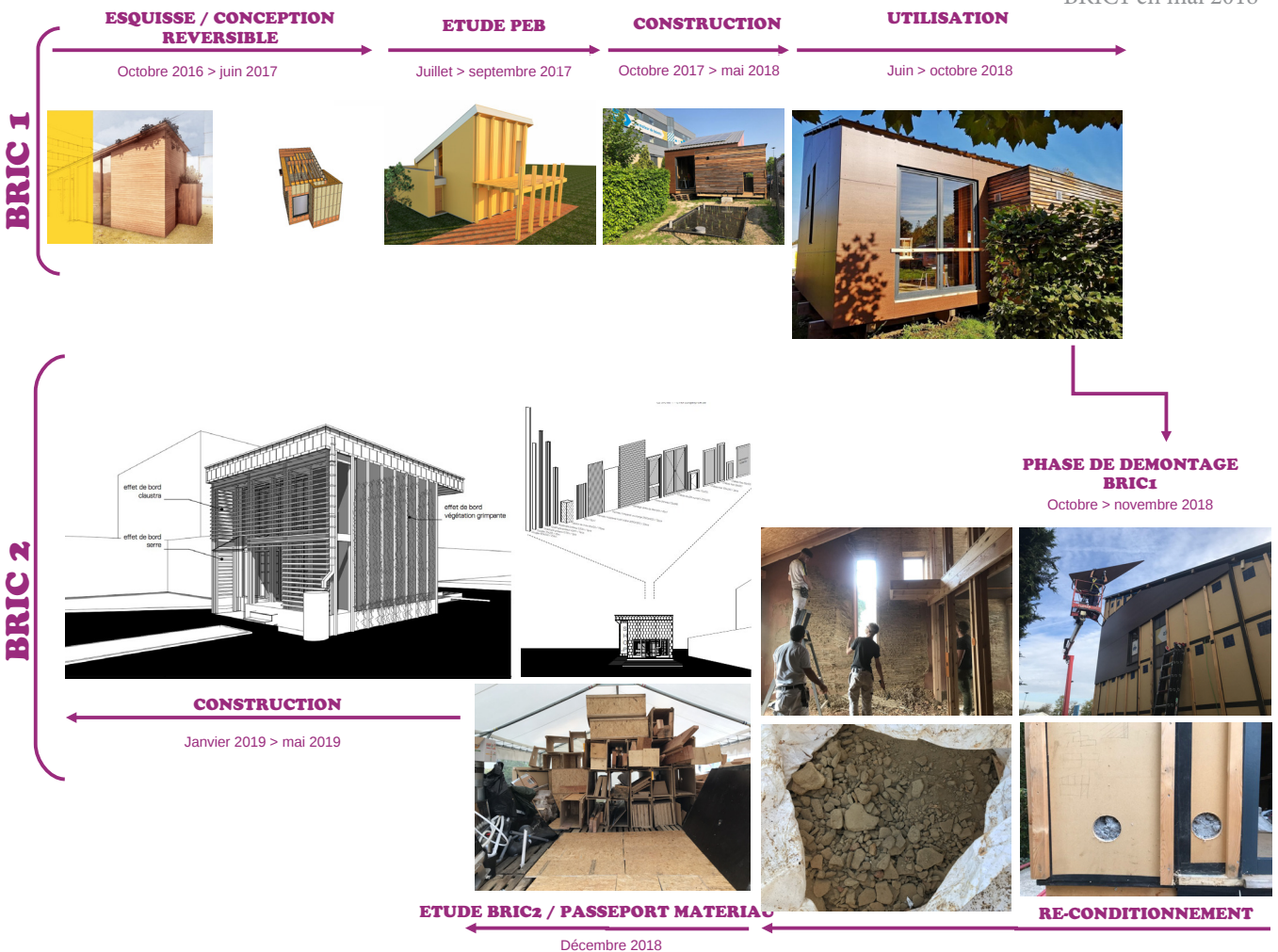
La coordination du chantier et la mise en oeuvre des matériaux sont assurés par l'efp. La pose de l'EPDM, des panneaux photovoltaïques, et l'installation de la PAC est réalisée par des entreprises extérieures.

En 2019, environ 140 élèves en formation dans le secteur du bâtiment avec leurs formateurs ont été sensibilisés et formés à l'économie circulaire en participant à la construction du BRIC2.

Montage des murs et installation des colonnes  
Pose des panneaux photovoltaïques en toiture  
Réalisation des finitions intérieures à l'argile  
Installation du parquet  
Pose des revêtements de façade en tôle et panneaux Rockpanel



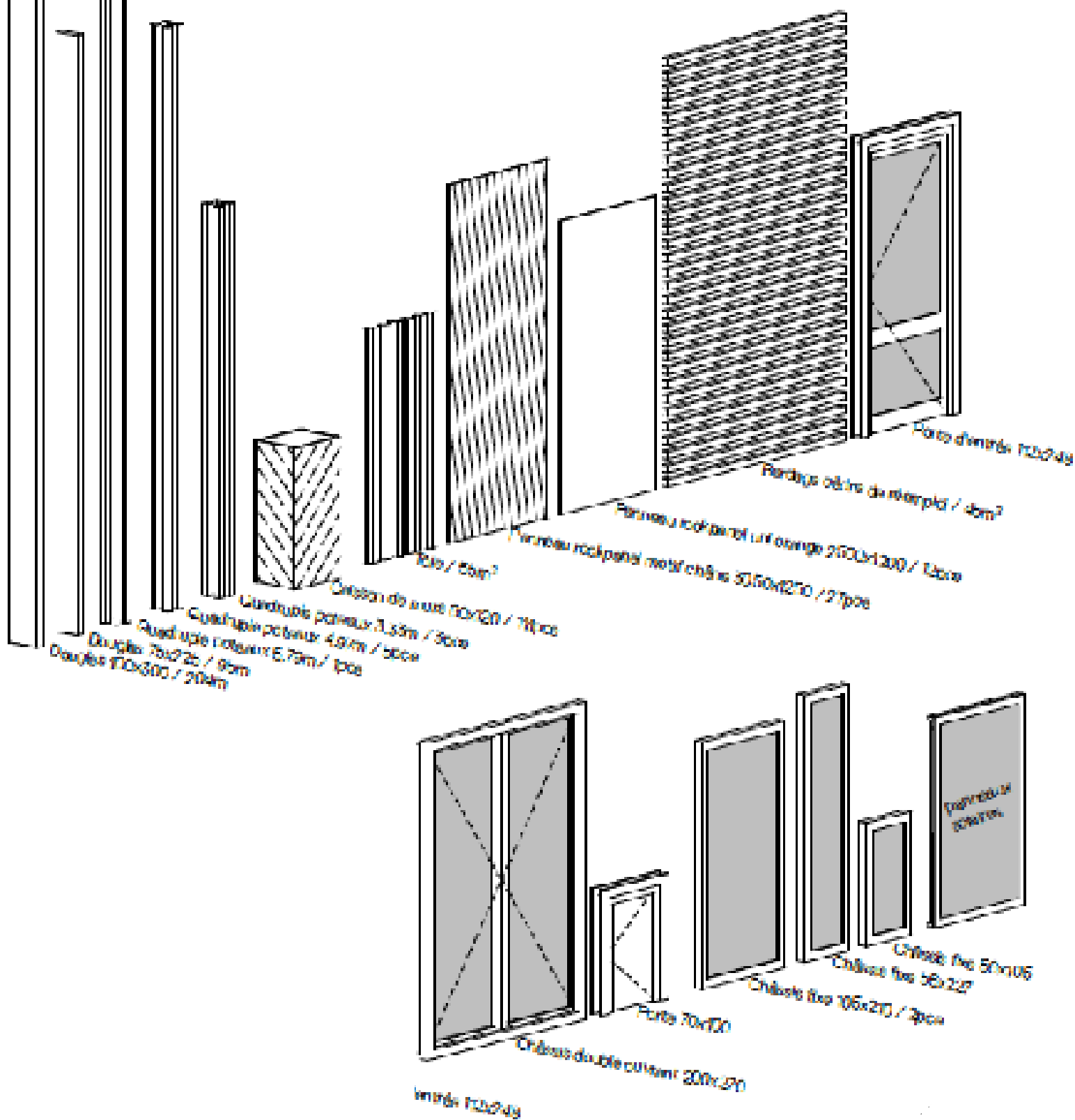
BRIC1 en mai 2018



## 1.2\_les matériaux disponibles pour la construction du BRIC2

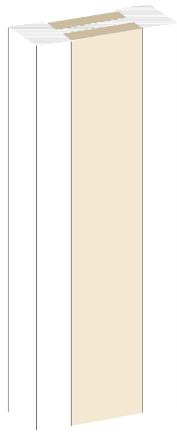
L'ensemble des matériaux du BRIC1 est réemployé dans le BRIC2: caissons; panneaux OSB; ouate de cellulose et laine de bois; chassis, vitrage et portes; les techniques spéciales (matériels électrotechniques, PAC et accessoires); plomberie; revêtements extérieurs (panneaux Rockpanel et tôles).

En toiture, l'EPDM et de nouvelles voliches plus légères sont utilisées pour limiter les descentes de charges dans les colonnes.

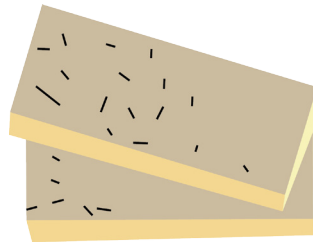


Inventaire des matériaux disponible après le démontage du BRIC1 par Karbon<sup>®</sup>

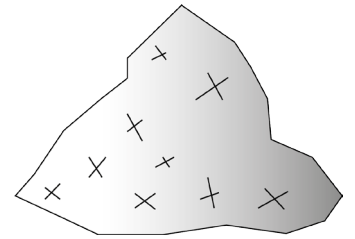
**+ Isolation**



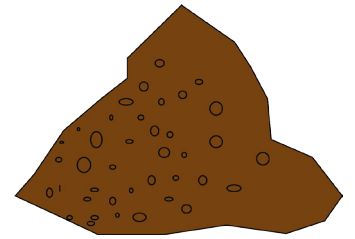
Poutre I-Joist 36x60x400x1200  
(structure pour les caissons)  
face intérieure isolée en laine de  
bois - 42 pièces



Matelas de laine de bois  
55m<sup>2</sup>



Ouate de cellulose  
2625 kg



Granulats de liège (vrac)  
7m<sup>3</sup>

**+ Quincaillerie  
Visserie**

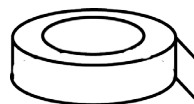


Vis à bois 18600 unités  
(dont fixation métallique  
500 unités)  
Vis double filtage 700 unités  
Sabot lisse 50 unités

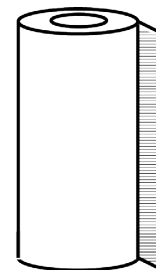


vis de fondation 31 pièces

**+ éléments d'étanchéité  
à l'air**



Adhésif  
960m

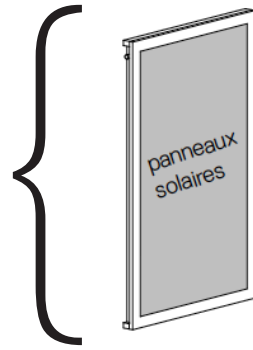


membrane  
100 m<sup>2</sup>

et accessoires  
d'étanchéité ( dont  
manchon-scellant  
21 pièces)

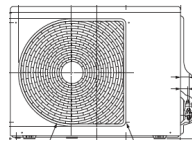


**+ Production électrique**



12 panneaux solaires photovoltaïques  
1650x994x40 avec équipements de  
production électrique

**+ HVAC**

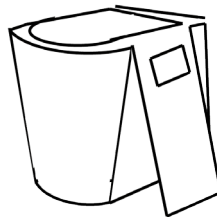


Unité extérieure  
climatiser

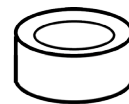


Pompe à chaleur réversible air/air  
avec 11 m de gaines micro-perforées  
pour la diffusion de l'air intérieur

**+ Plomberie**



toilette sèche et accessoires  
de raccords



lave-main et robinetterie

**+ Electrotechnique**

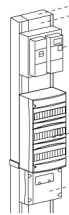


Tableau électrique  
avec composants  
pour une technolo-  
gie domotique: gou-  
lotte, branchement  
et disjoncteur, ta-  
bleau de répartition  
et communication



Cable (tous types) 1800m

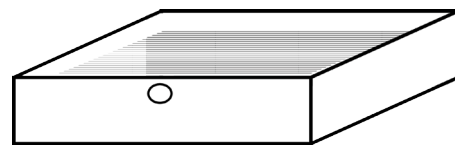
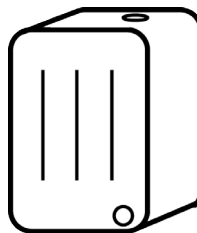


Interrupteurs 7 pièces



Prises 20 pièces

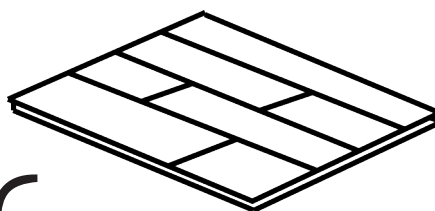
**+ Alimentation et traitement des eaux**



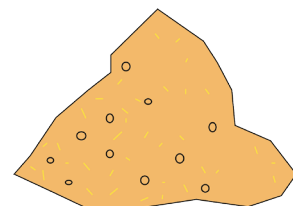
Lagunage avec plantes  
dont 4500 kgrs de grès

Citerne de récupération des  
eaux de pluie avec pompe  
et assainisseur d'eau

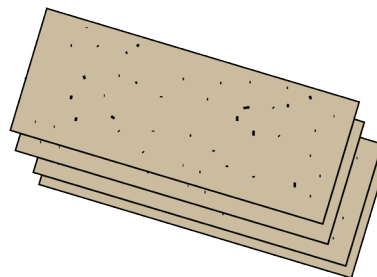
**+ Enduits intérieurs et revêtements de sol**



Parquets semi-massif  
rainurés- languettés 84m<sup>2</sup>



Enduit à l'argile  
(tous types)  
4800 kgrs



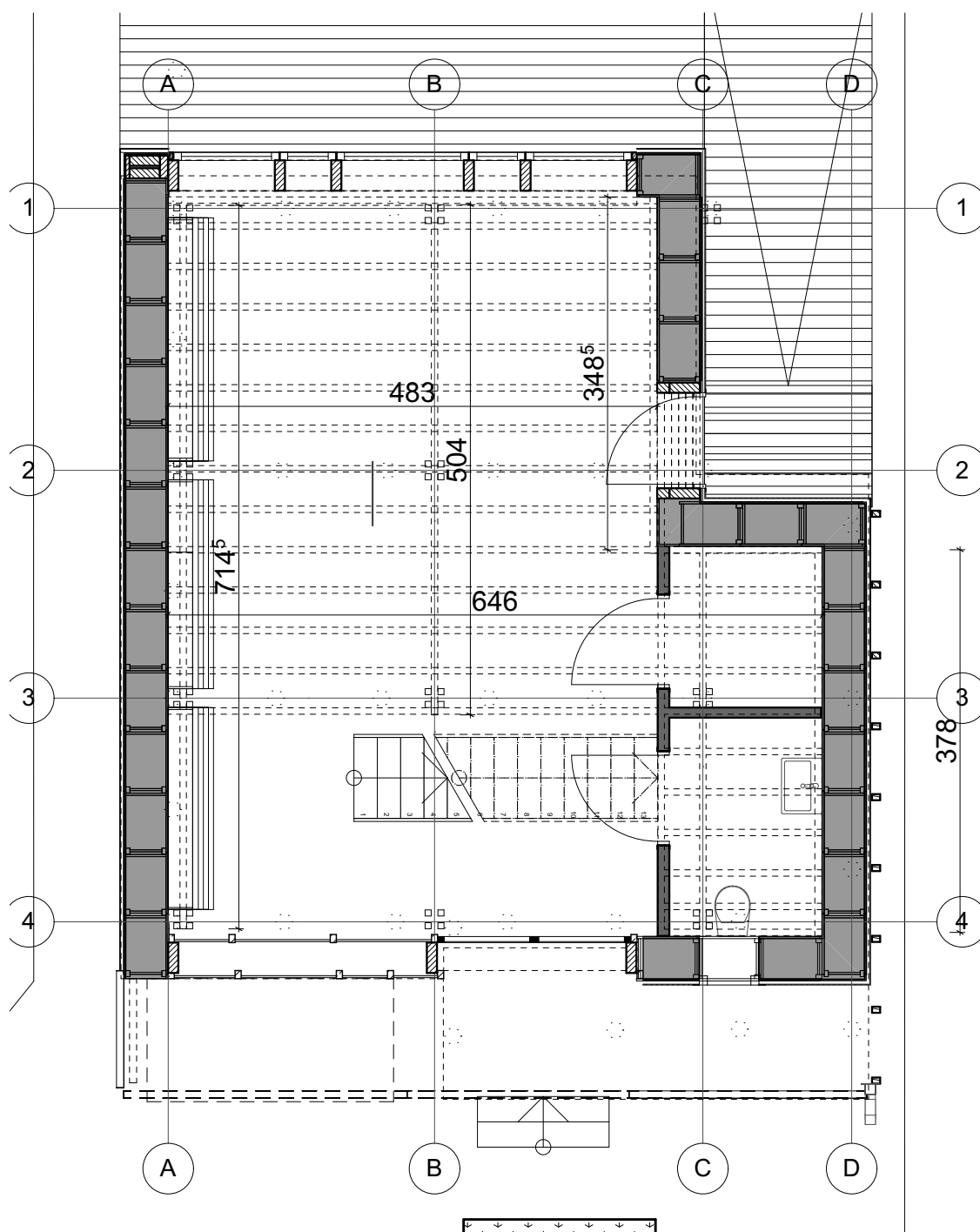
panneaux acoustiques 80m<sup>2</sup>

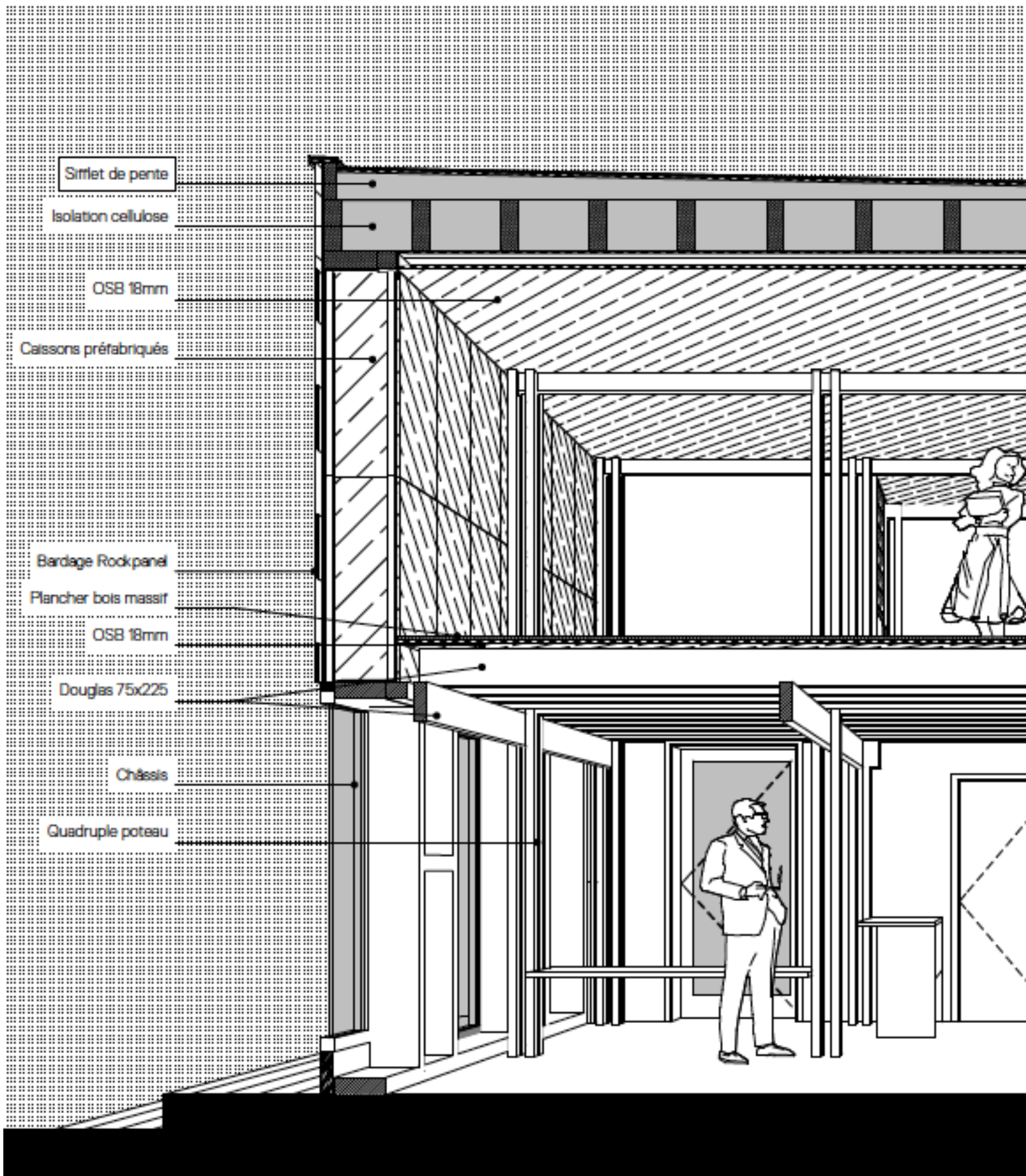
### 1.3\_ La conception des plans BRIC2

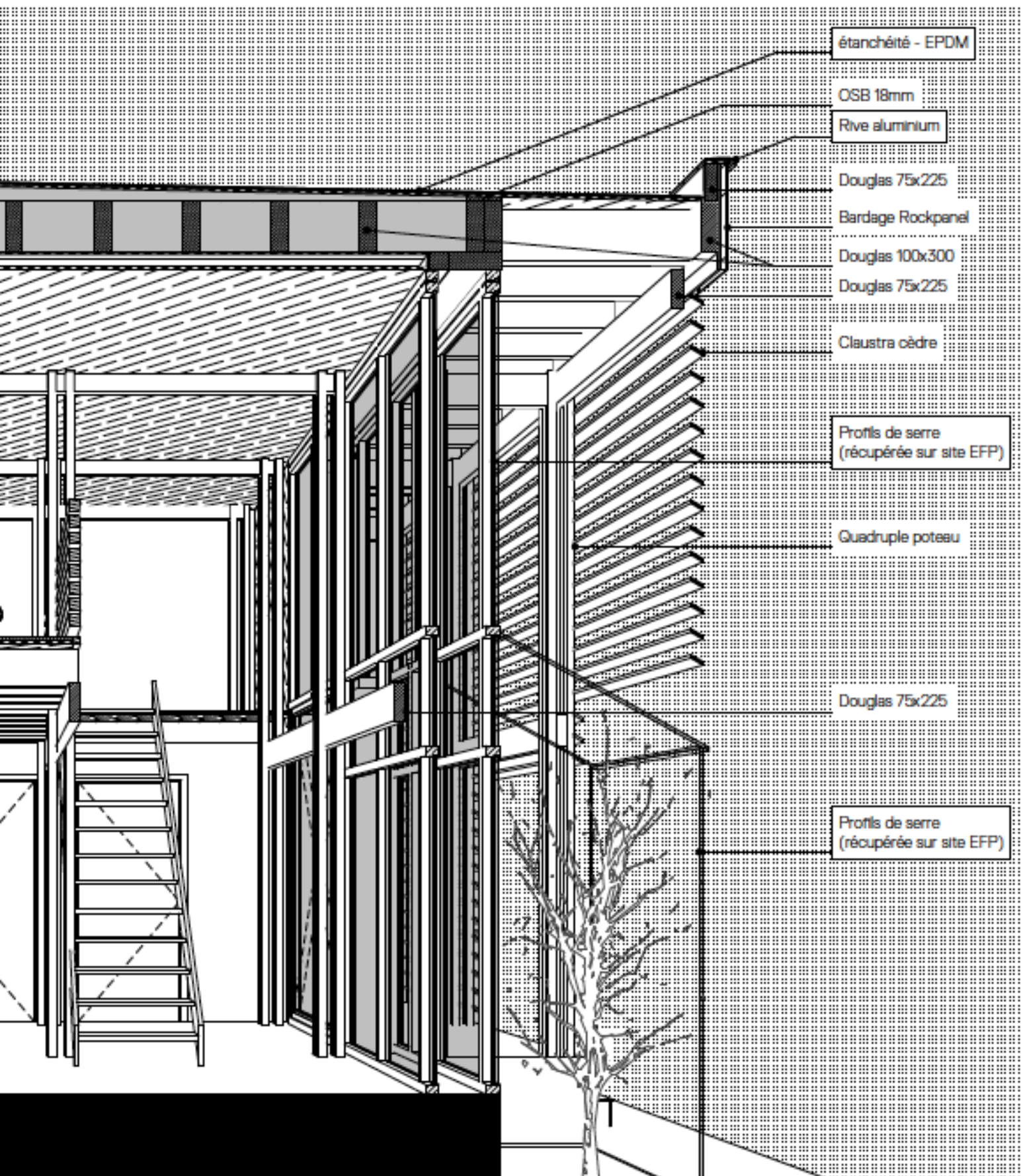
Les plans du BRIC2 sont réalisés par le bureau KARBON Architecture & Urbanisme. Le bureau de stabilité ALTER, le formateur en menuiserie de l'efp Bernard Coegniet, et l'efp participent à la conception et valident la faisabilité des plans.

L'affectation du BRIC1 était un bureau (de juin 2018 à octobre 2018). La version BRIC2 est un commerce (de juin 2019 à décembre 2019). Les plans initiaux du BRIC2 prévoyaient un rez, un espace d'accueil avec wc et lavabo de 18,50m<sup>2</sup> ; et un étage, lieu d'exposition d'environ 20m<sup>2</sup>.

Cependant les mauvaises conditions climatiques de l'hiver 2018 n'ont pas permis de réaliser l'étage supplémentaire, bien que les colonnes et caissons supplémentaires aient été préparés en atelier. En effet, le temps de travail dédié à la construction du module est planifié sur le temps de cours d'ateliers des élèves en construction (principalement les élèves en section menuiserie).







Cette coupe longitudinale présente le rez, l'escalier pour accéder au 1er étage; la serre et les brise-soleil. Dans la version construite du BRIC2, le 1er étage et la serre n'ont pas été installés.

Coupe BRIC2 - plan de projet par Karbon'

## 2. Apprentissage de la construction et déconstruction du bâtiment BRIC2

### 2.1\_ Fondations et plateforme



BRIC2 reprend le même système constructif que BRIC1 : une ossature en bois. 18 colonnes portent une toiture plate. Les murs extérieurs sont composés de caissons auto-portant isolés en ouate de cellulose insufflée de réemploi.

Le BRIC1 disposait d'un rez, d'une mezzanine, et d'une toiture à une pente; le BRIC2 est pensé avec un étage complet et recouvert d'une toiture plate.

La toiture plate du BRIC2 est plus lourde que le BRIC1, et doit résister à la prise au vent.

La structure porteuse composée de colonnes à chevrons est adaptable à ces nouvelles contraintes. Toutes les colonnes existantes sont entièrement dévisées et désassemblées, puis remontées, et rallongées avec le placement de nouveaux croissillons (tous les 55cm) afin d'éviter le flambement des colonnes.

Les charges de toiture descendent à travers les 4 chevrons, puis se répartissent sur un socle de bois plein, déposé sur une des gites principales de la plateforme.

Ces gites sont soutenues par les pieux de fondation.

Les charges descendent de manière directe entre la toiture et le sol.

### Assemblage et ancrage mécanique

L'ensemble des matériaux utilisés: socle en gite, chevrons, croissillons en gites, pièces de calage en multi-plex, sont des bois de réemploi présents dans l'ossature BRIC1.

Les assemblages sont réalisés en bois plein et visés. L'utilisation d'une quincaillerie de haute qualité a permis le réemploi des vis du BRIC1 pour le BRIC2.

### La fondation : les pieux visés

La plateforme est soutenue par 32 pieux visés en acier galvanisé de 1,20m de long.

Généralement utilisé dans la pose de terrasses en bois, ou de cabanes en zone humide, ce type de fondation reste dans le sol pendant toute la durée du projet BRIC.

En fin de projet, les vis pourront être dévisées du sol et réemployées pour un nouveau bâtiment.

Une étude de sol démontre que le terrain est une zone humide, avec la présence d'une nappe phréatique à 1,80m sous le niveau du sol.

Les pieux installés sont choisis pour assurer la stabilité en milieu humide, et soutenir le poids d'un étage supplémentaire.

Les fondations sont conçues pour permettre les futures affectations du BRIC.



Le percement de la plateforme n'a pas été prévu dès la construction du BRIC1, et l'équipe ne dispose pas d'un relevé précis des gîtes de réemploi placés dans la plateforme. Les gîtes et lambourdes dans la plateforme sont hétéroclites. Leurs longueurs et sections ne sont pas standard.



Le choix de l'emplacement des socles a été de percer la plateforme en recherchant la section de gîtes la plus large, et reposant dans l'alignement d'une vis de fondation. Les socles sont fabriqués sur mesure, pour être déposés sur la gîte principale selon sa profondeur dans la dalle.

Vue sur la plateforme  
Installation du socle

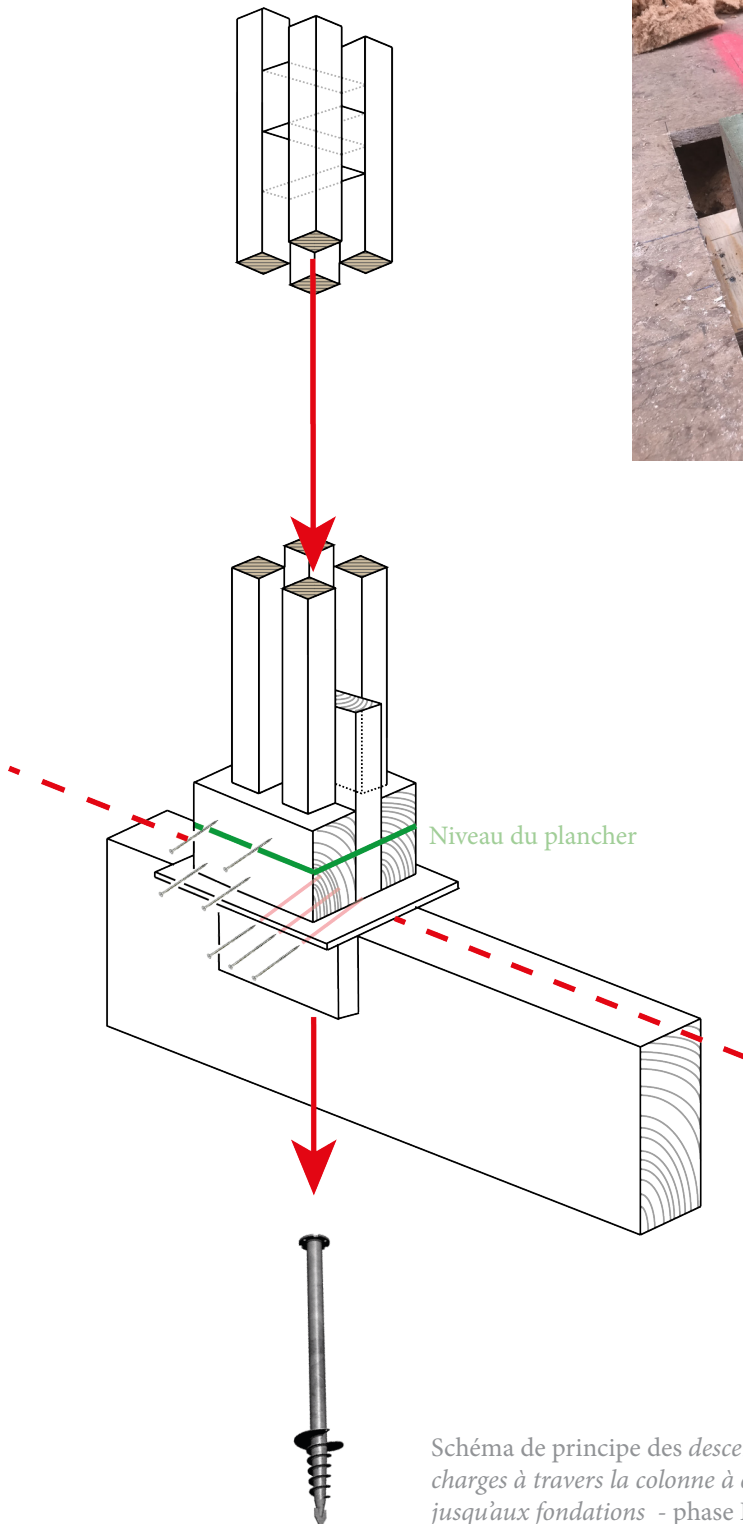


Schéma de principe des descentes de charges à travers la colonne à chevrons jusqu'aux fondations - phase BRIC2 -



Pose et vissage de la colonne à chevrons sur le socle

## 2.2\_ OSSATURE EN BOIS : Colonne

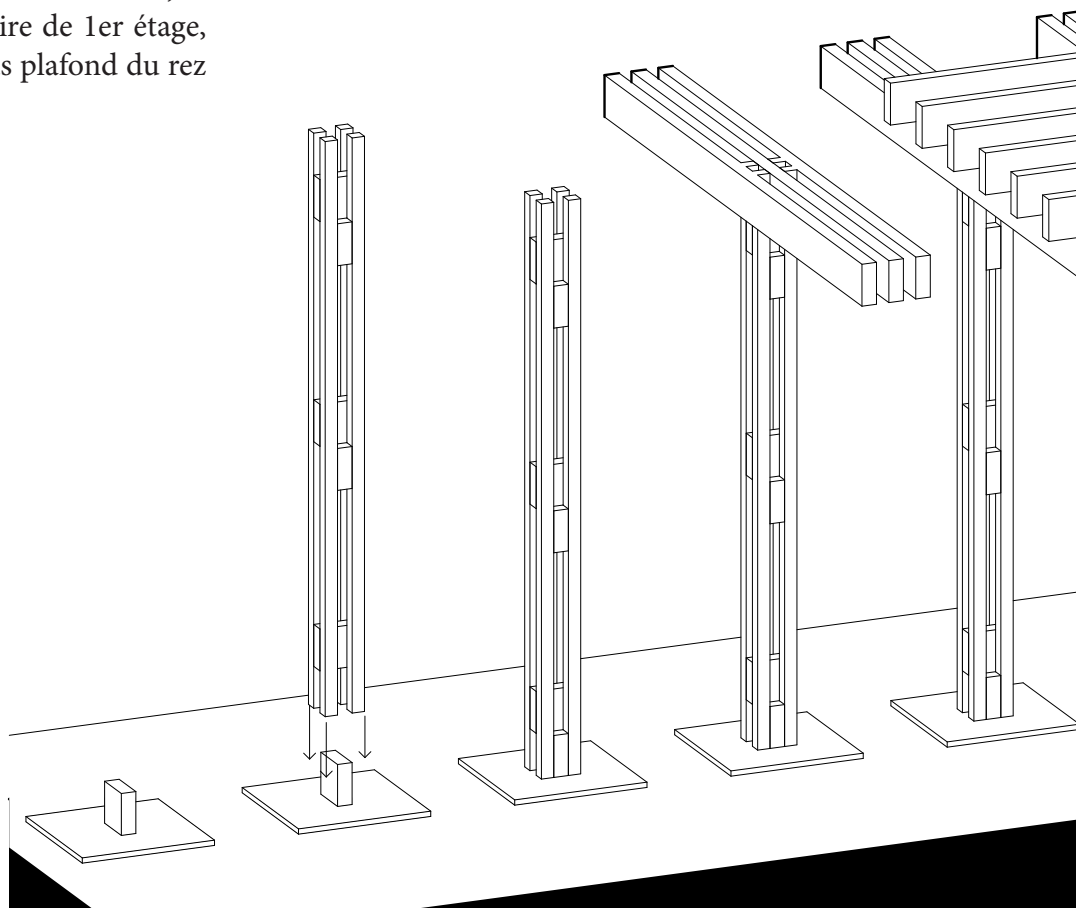
La version BRIC2 réclame la construction de 3 nouvelles colonnes et l'allongement des 15 colonnes existantes. Les colonnes en façade arrière ont été supprimées, et remplacées par un petit port-à-faux en toiture. Ces nouvelles colonnes permettent de porter 100kgs/m<sup>2</sup> en étage.



Vue sur la nouvelle hauteur du bâtiment

Suite aux mauvaises conditions climatiques et par manque de temps disponible pour les élèves, le choix est pris de ne pas construire de 1er étage, mais d'augmenter la hauteur sous plafond du rez à 3,60m ( au lieu de 2,40m).

Schéma de principe de montage des colonnes par Karbon<sup>®</sup>

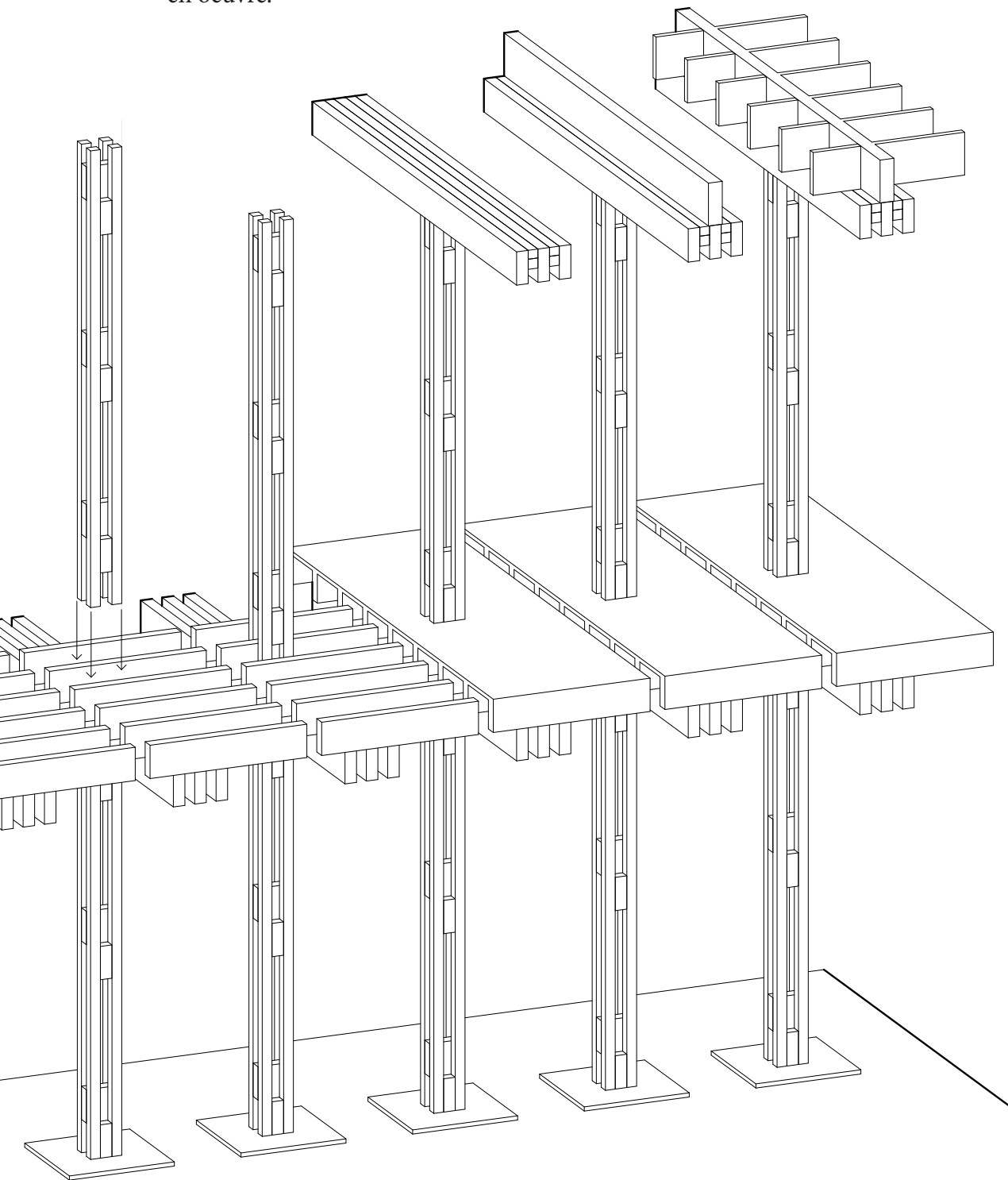




## Principe de montage

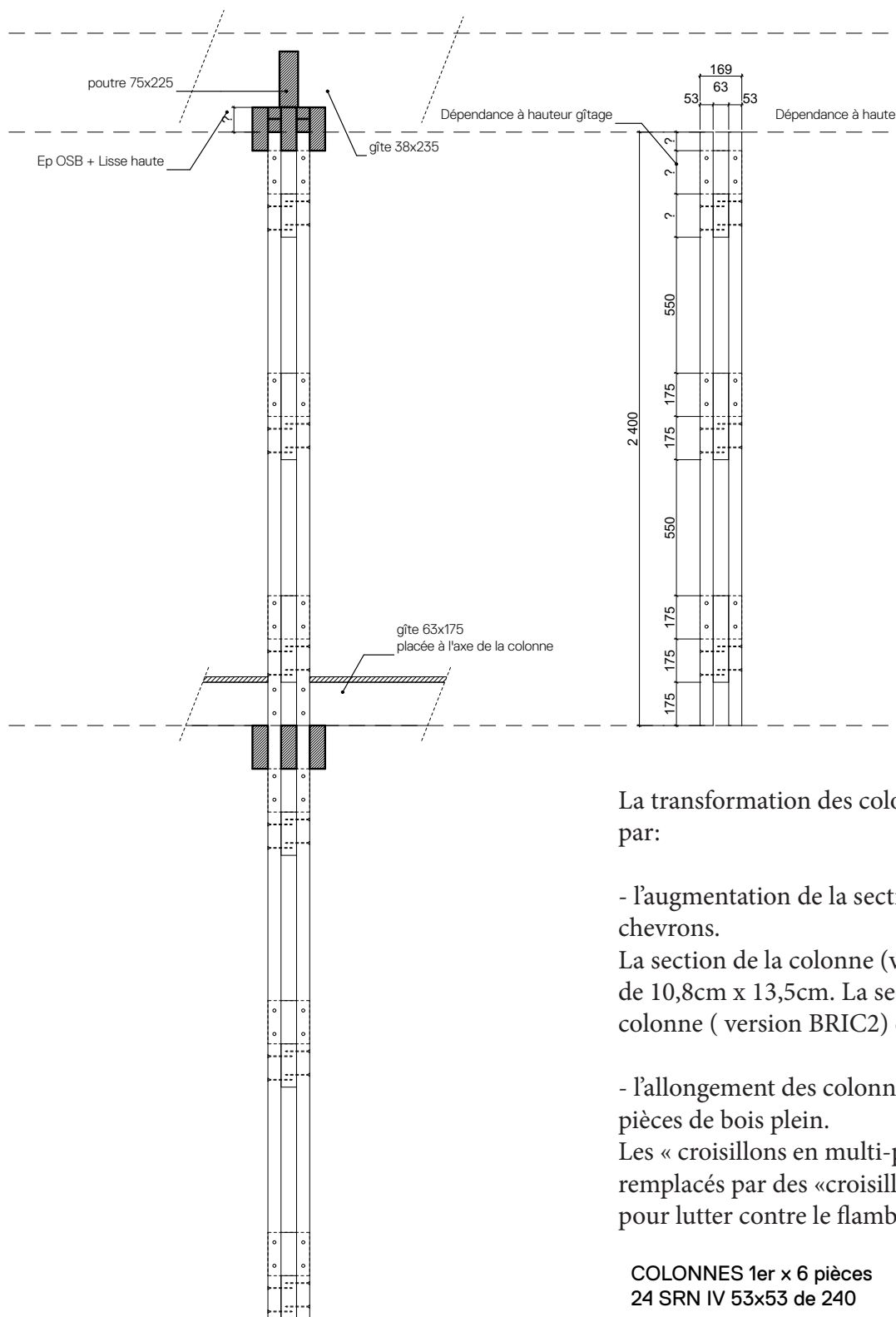
Le schéma ci-dessous présente le montage des colonnes prévu au moment de la conception, avec un étage. Les colonnes «détage» sont fixées à des gites triplés supportant le plancher. Sur ce même principe, les colonnes d'étage portent la toiture avec de nouvelles gites triplées.

En parallèle de la suppression de l'étage, l'équipe BRIC2 a réfléchi à limiter une sur-consommation de bois, et à alléger l'ossature en terme visuel, et esthétique; et surtout en terme de poids. Cette première conception ne sera pas mise en oeuvre.



# La transformation des colonnes porteuses

Les colonnes sont complètement démontables. Alors que la conception initiale prévoit l'allongement et la fixation des colonnes par le triplement des gîtes, la solution d'une multiplication des croisillons est privilégiée.



La transformation des colonnes se manifeste par:

- l'augmentation de la section de la colonne en chevrons.

La section de la colonne (version BRIC1) est de 10,8cm x 13,5cm. La section de la nouvelle colonne (version BRIC2) est de 14cm x 14cm.

- l'allongement des colonnes en installant des pièces de bois plein.

Les « croisillons en multi-plex » du BRIC1 sont remplacés par des « croisillons » en bois plein pour lutter contre le flambement.

**COLONNES 1er x 6 pièces**  
24 SRN IV 53x53 de 240

317 BRIC

Projet BRIC2  
Rue de Stalle 292 B Bruxelles

Phase Exécution  
Echelle 1:20 / n.a.  
Date 17/01/19  
Index A

Fiche 20 - Colonnes Niv.240

N° Dessin  
20

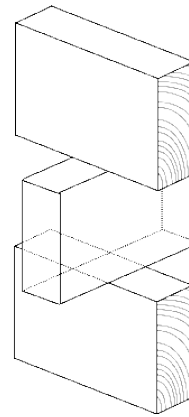
Détails d'exécution en vue de réaliser le 1er étage (étage non-réalisé)

## Les « croisillons »



Détails d'assemblage de 2 colonnes

Détails du remplacement du croisillon en multi-plex par un croisillon en bois-plein



## La quincaillerie : les vis à double- pas

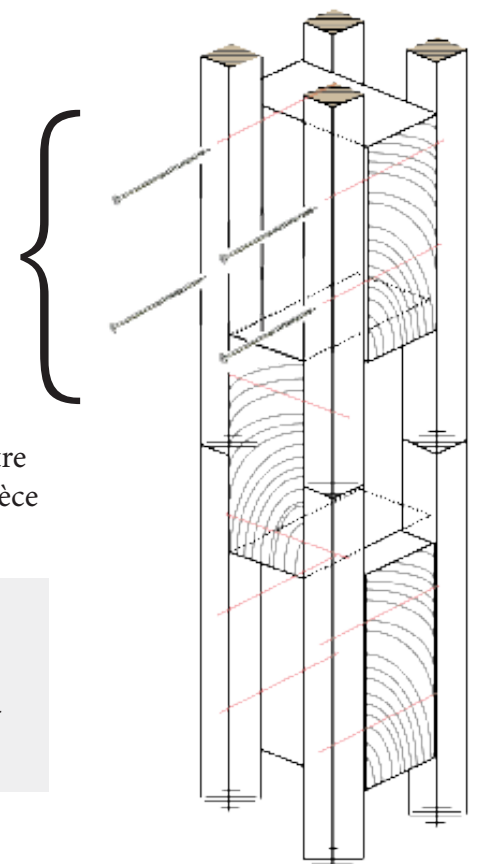


Les croisillons de bois plein luttent contre:

- le flambement et;
- la torsion de la colonne.

Les vis sont placées dans les 3 dimensions de la colonne, et traversent le chevron/ le croisillon / le chevron.

Le filetage de la vis est en 2 temps : d'une part, un filetage horizontal: la vis entre et perce le bois; d'autre part, un filetage oblique: la vis est aspirée dans la pièce de bois; et enfin une zone lisse.



## Apprentissage : les vis à double- pas

- un réel confort de travail pour l'ouvrier;
- prévient du risque de fente du chevron, couplé à un pré-forage.



La maquette présente la hauteur prévue au stade du projet, 4 hauteurs de caissons, soit 4,80m. La hauteur sous corniche de BRIC2 est de 3,60m.

Maquette BRIC2  
photo Studio Giulia Frigerio

## 2.2\_ OSSATURE EN BOIS : Murs extérieurs et isolation

Le montage des murs extérieurs du BRIC2 suit le même procédé qu'utilisé dans le BRIC1. 67 caissons du BRIC1 sont réinstallés sur les 126 disponibles. Les caissons en OSB, panneau de bois compressé respirant et poutre en I (120x60x40) s'emboîtent, et s'empilent.



Les détails constructifs des caissons sont présentés dans le dossier BAMB - D14  
Montage des caissons sur le chantier BRIC2

Les caissons des murs sont isolés en ouate de cellulose. Cette ouate a été utilisée une première fois dans le BRIC1, puis aspirée, re-conditionnée en BIGBAG, stockée puis réinjectée dans les caissons du BRIC2.

Une entreprise spécialisée en isolation assure toutes les phases de d'insufflation et aspiration de la ouate. En contrôlant toutes les étapes de manipulation, l'entreprise prévient les risques de présence de débris de chantier pouvant abîmer le matériel d'aspiration (par exemple petits morceaux de bois, vis...). Le marché conclut avec l'entreprise couvre toutes les phases de transformation de la ouate des trois bâtiments BRIC construits.






Montage des caissons BRIC2  
Détails des faces extérieures des caissons de réemploi

## Mise en oeuvre d'isolant réversible et de réemploi

Les isolants BRIC2 se composent: de liège expansé, de laine de bois et de ouate de cellulose. Les isolants présents dans la plateforme n'ont pas été démontés à la fin du BRIC1. L'expérience d'une ré-installation de la matière dans le BRIC2, s'est faite pour la laine de bois (ré-installation en toiture); et pour la ouate de cellulose (dans les caissons).

Sur le principe d'un *Passeport Matériaux*, les informations indispensables assurant un suivi des isolants.

approvisionnement      quantité      paroi concernée      valeur lambda      conservation

plaques broyées utilisées 1 fois transformée en Belgique	5m3	plateforme	0,040 w/mK	conservé au sec supporte l'humidité	
matière neuve, fin de stock de chantier produite en Belgique	55m2 - épais. 10cm	toiture plateforme	0,038 w/mK	conservé au sec panneau friable en réemploi	
matière neuve, achat 1 fois aspirée produite en Belgique	19m3 dont densité de 45 à 50 kgs/m3	murs extérieurs	0,038 w/mK	conservé au sec décompacté dans des bigbag souples	



Détails de tape d'étanchéité sur les murs extérieurs



### Isolation - étanchéité à l'air et réemploi

#### Difficulté

Les matériaux en lien avec l'étanchéité à l'air sont à usage unique. Les tapes et manchons techniques sont fixés par des adhésifs non-réutilisable.

#### Apprentissage

Les membranes pare-vapeur ne sont pas conçues pour être visées. Elles sont clouées au pistolet pneumatique et/ou collées, dans ce cas elles ne sont pas réutilisable.

## Le liège

plancher OSB  
granulats de liège en couche inférieure  
entretoise  
matelas de laine de bois couche supérieure



Carottage de la plateforme BRIC2

### Apprentissage

Ce liège a été récupéré en plaque, puis broyé par une entreprise spécialisée en récupération de bouchons de liège, et ré-injecté en vrac dans les caissons de la plateforme. La matière première liège ne perd pas de sa valeur physique, ni en terme monétaire entre les différentes applications : c'est un parfait exemple de *up-cycling*.

## La laine de bois

sifflet de pente  
voliche  
matelas de laine de bois fragmenté à la 2nde utilisation



Pose d'isolants dans la toiture plate du BRIC2

### Difficulté

Les matelas de fibre de bois se fragmentent en seconde réutilisation.

### Apprentissage

Le choix de la fourniture doit permettre un réemploi performant. Dans le cas, de la fibre de bois, la pose d'une fourniture de plus haut de gamme ( matelas de laine de bois à «longues fibres») aurait permis une pose optimale.

# La ouate de cellulose: détails de l'insufflation et enlèvement

Aspiration

1. Insufflation de la ouate (idéalement) au stade du gros oeuvre fermé (toutes les zones à isoler doivent être fermées), et par temps sec.



La ouate ne doit pas être en contact avec des zones humides lors de l'insufflation.

2. Réalisation des percements pour insuffler la ouate dans les caissons, puis refermer les caissons avec un pare-vapeur et un tape d'étanchéité adapté. Le caisson doit être étanche. L'insufflation est réalisée dans un volume maximum de 2,40m de haut max par 0,60 de largeur.



La matière ne doit pas se tasser, et la densité de ouate insufflée doit rester homogène dans toutes les parois.

Enlèvement

1. Aspiration : prévoir les contenants adaptés, dans notre cas, des BIGBAG en plastique souple refermables ont été utilisés. L'aspiration se réalise avec la même machine d'insufflation.
2. Réalisation des percements pour insuffler la ouate dans les caissons, puis refermer les caissons avec un pare-vapeur et un tape d'étanchéité adapté. Le caisson doit être étanche à l'air.



La ouate prend 3 fois plus de place en BIGBAG ( la matière est expansée). Le stockage des BigBag doit impérativement être dans un espace clôt et sec.

Réutilisation des percements des caissons pour réinsuffler la ouate

tape d'étanchéité placé sur les percements et entre les caissons.

Conditionnement de la ouate BRIC1 en bigbag



Insufflation de ouate de réemploi dans BRIC2

## Difficulté

Au démontage, la ouate située en pied de mur dans les caissons était légèrement humide. L'humidité de la plateforme ne s'est pas échappée après l'hiver. La ouate ne présentait pas de traces de moisissures. Ce désordre affaiblit la performance énergétique de la cellulose en pied de mur.

## Apprentissage

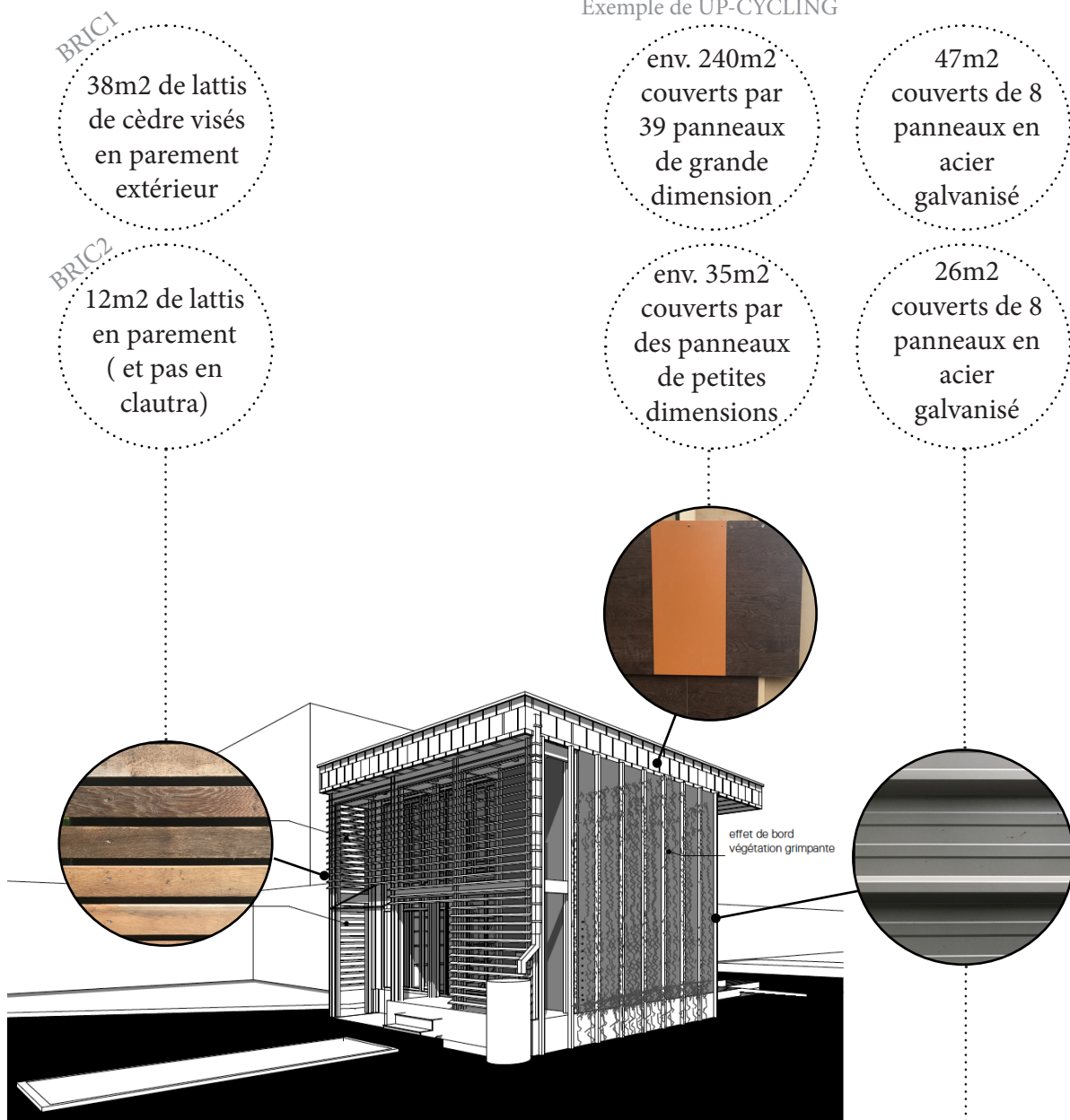
La mise en oeuvre de la ouate ( neuve et/ ou de réemploi) doit s'effectuer en climat sec et sur et/ou dans un support sec.



## 2.3\_ Revêtements extérieurs

Au stade du projet, les revêtements extérieurs de BRIC2 prévoyaient: un claustra de lattis de cèdre en façade Sud et les panneaux de tôles (en toiture dans le BRIC1) permettent désormais l'implantation d'une végétation en façade Est. Les faces «avant» (non-représentées sur l'axonométrie ci-dessous) sont couvertes de panneaux Rock-panel.

Exemple de UP-CYCLING



### Difficulté

- réduction de la longueur à chaque usage
- pré-forage complexe dans un bois cassant

- rayures de surface à la manipulation entre les phases de transformation

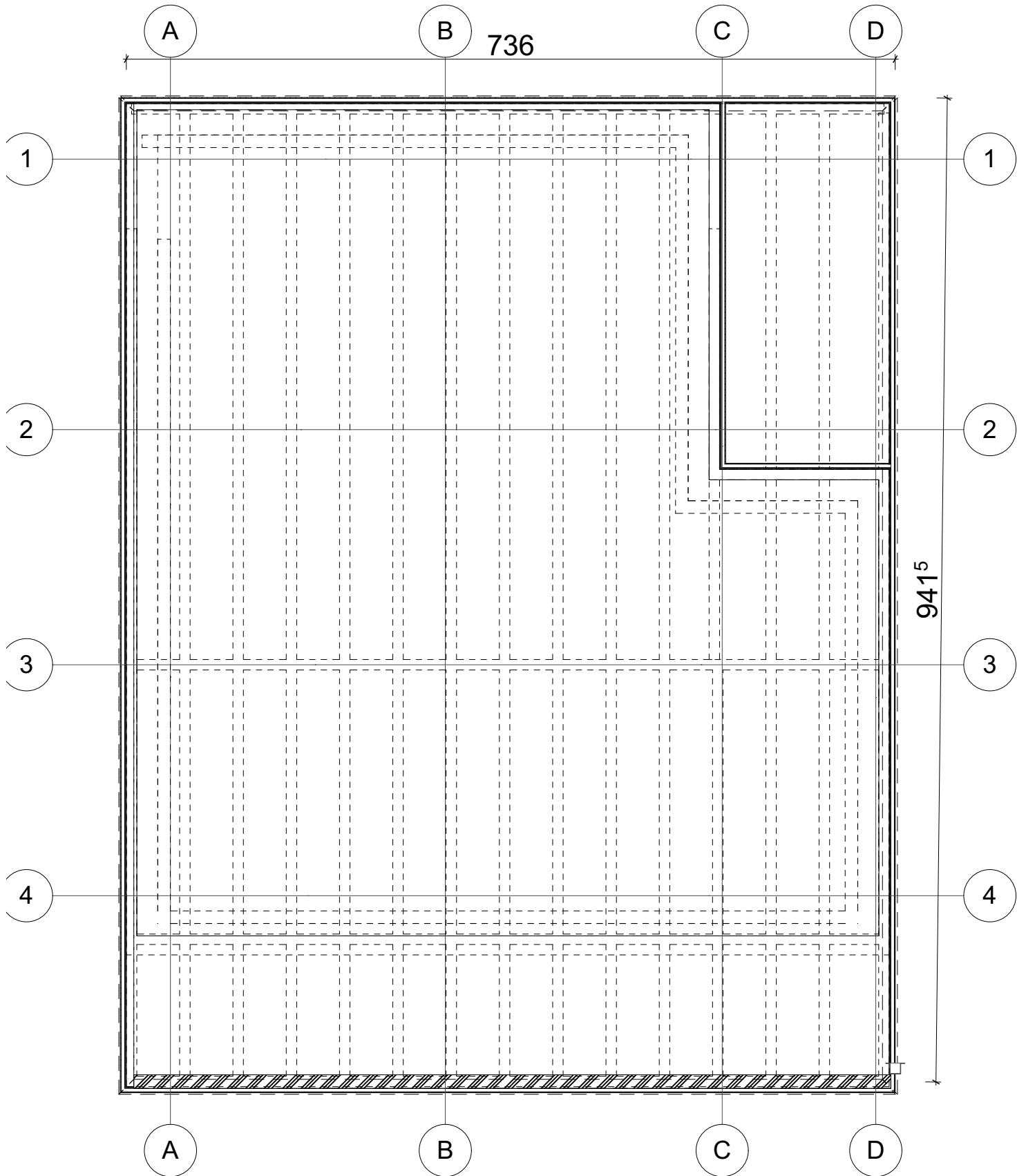
aucune

### Apprentissage

- réduction de la ressource par les nouvelles découpes

- durabilité de la visserie (réutilisation des vis 2 fois)
- grande adaptation des panneaux à une nouvelle découpe
- Up-cycling

- panneau léger
- grande adaptabilité
- aucune chute
- bon marché



## 2.4\_ Toiture

La toiture du BRIC2 est réalisée en EPDM. L'ensemble des accessoires (solins, couvertines, gouttières et accessoires de descentes d'eau de pluie) sont en zinc, découpés et pliés sur-mesure chez le fournisseur. La préfabrication des éléments permet un montage rapide de la couverture (moins de 3 jours par 3 couvreurs).

### Accessoires de couvertures



Couvertine vissée en débord

### Couverture en EPDM



### Difficulté

- solins et couvertines en zinc. La matière est souple et souffre au démontage en se pliant et se rayant.

- matériaux non-standard
- découpe sur-mesure en usine

### Apprentissage

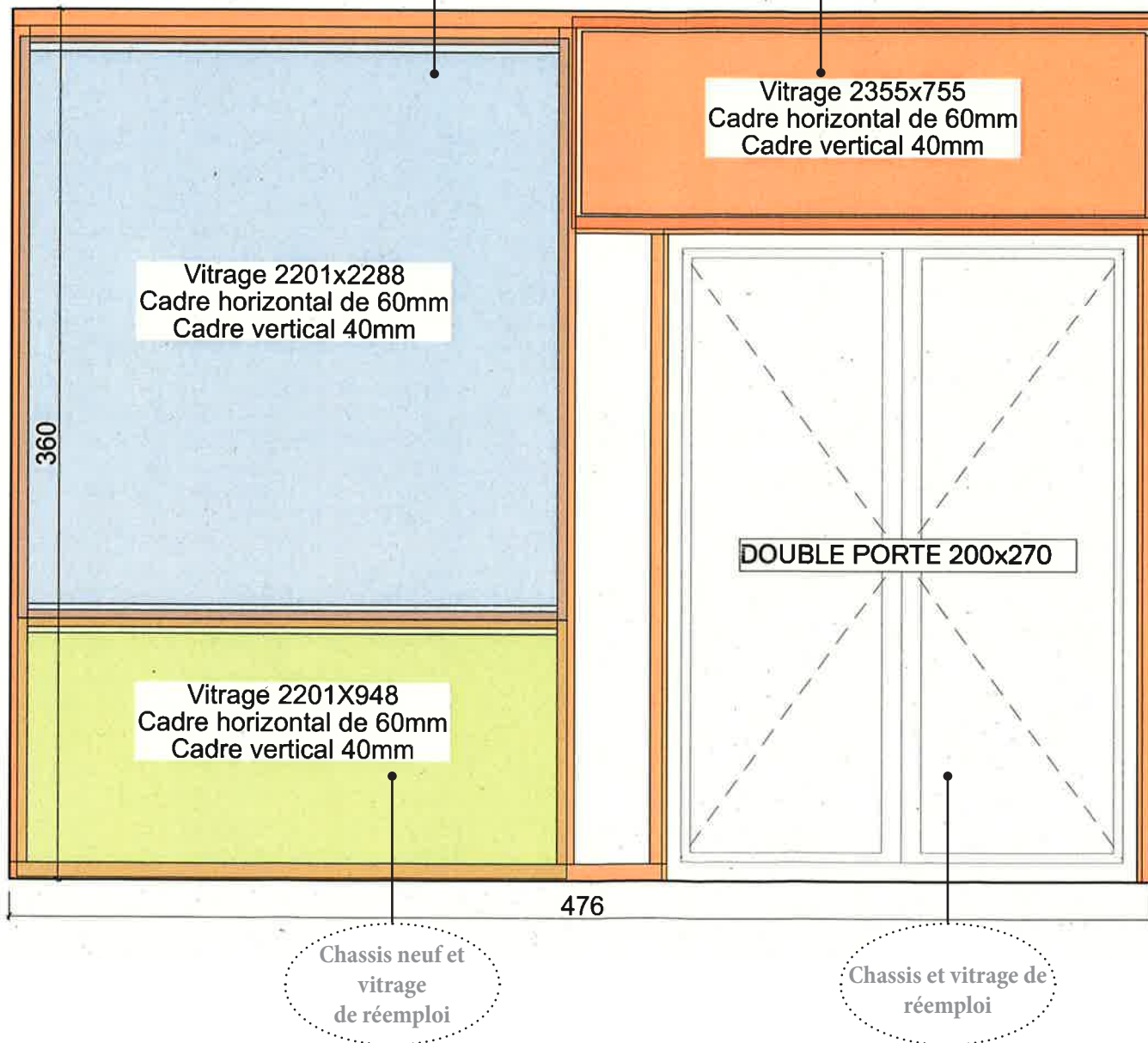
couvertine : panneau de zinc plié aux dimensions des acrotères et débord de toiture.  
- Fixation par vissage

- couverture EPDM ( 1 nappe EPDM en une pièce)
- L'EPDM peut être lesté et collé en périphérie. La fixation par lestage le rend réutilisable.

## 2.5\_ Chassis

Bric 2 est composé de chassis de fenêtres en bois double vitrage ( $U_{\text{vitrage}} \leq 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Plusieurs solutions de mise en oeuvre des chassis de fenêtres et de portes ont été expérimenté.

Plan d'exécution  
« mur rideau » - façade sud  
Par Karbon'



Le plan d'implantation des chassis de la façade arrière a été conçu sur base des dimensions de vitrage et de double-porte disponible dans le stock de fourniture à l'efp. Ce sont les dimensions des vitrages et/ ou des chassis qui ont déterminé le dessin final.

### Neufs ou de réemploi?

Réparer et adapter d'anciens châssis et/ ou vitrages est possible. Cependant la performance des vitrages et le placement de bandes thermiques n'assurent pas toujours une bonne étanchéité. Les coûts de main d'oeuvre sont importants.



Les points d'attention sont multiples. Les intervenants autour de l'objet sont nombreux d'où la difficulté de préserver et/ ou garantir la longévité du châssis et de son vitrage.

## Transport/ logistique/ Pose



## Vitrage



### Difficulté

La pose et dépose de châssis grand format requièrent une manutention précise.

Près de 60% des vitrages de réemploi disponible au début du projet sont cassés. La cause principale est liée à la mauvaise condition de stockage (mesure conservatoire faible)

aucune

### Apprentissage

Une grande attention est portée sur le transport et le conditionnement.

Pour éviter cette casse prématurée, l'installateur du vitrage doit disposer d'outils adaptés (monte-charge, treuille...) et d'ouvriers spécialisés.

La préparation et mise en peinture du châssis s'effectuent comme une restauration classique d'un châssis.

## Mise en peinture

Le bilan des poses successives des châssis et vitrages dans le projet BRIC demeure mitigé. Néanmoins, le réemploi des châssis et vitrages est un succès pour les petites dimensions.

Le frein au réemploi massif des vitrages est l'absence d'outils de certification garantissant la performance d'un vitrage de réemploi.



## 2.6\_ TECHNIQUES SPÉCIALES: Électricité

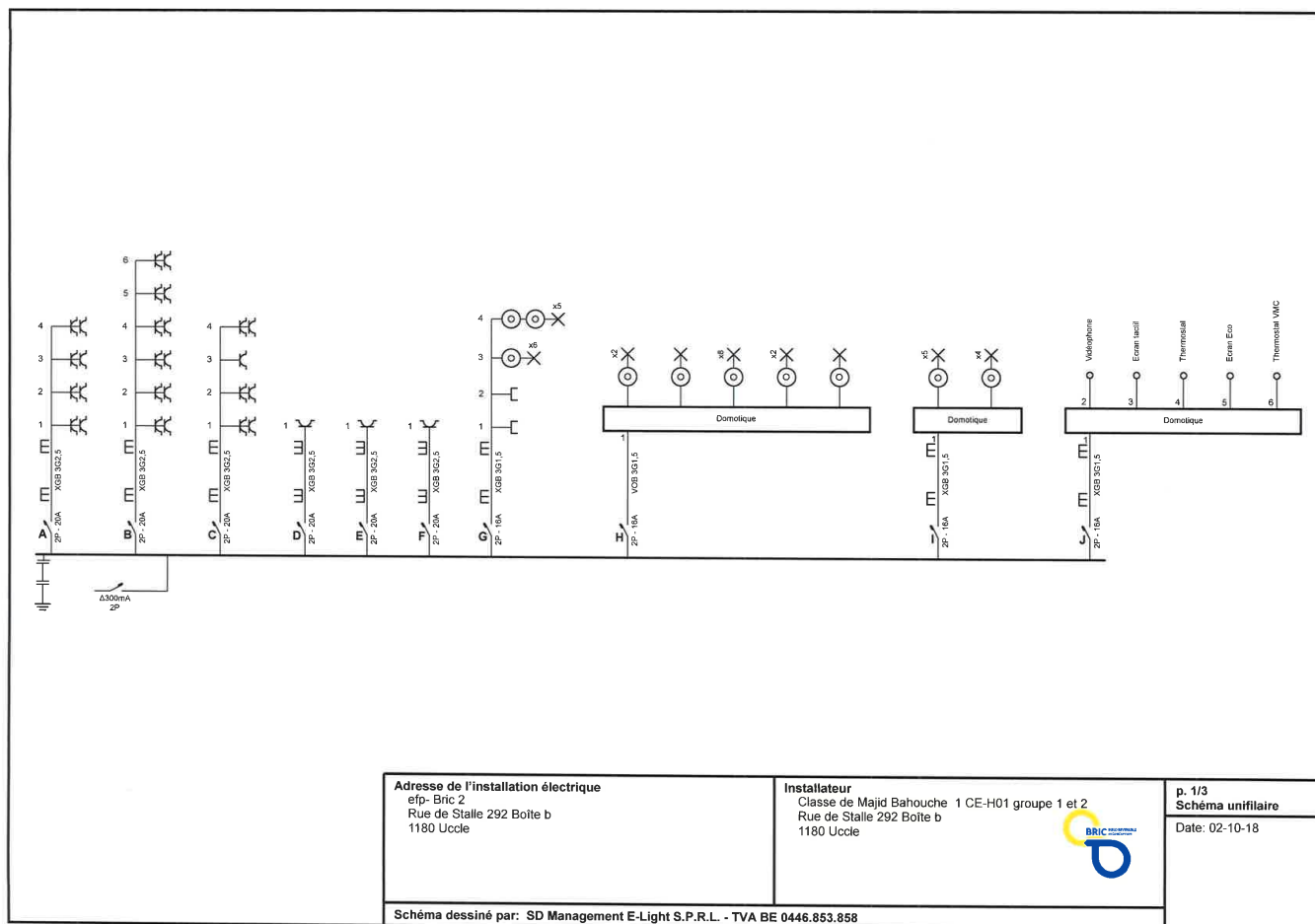


Enseigne lumineuse du magasin

BRIC2 est autonome en électricité.

La réinstallation du système électrique issue du BRIC1 n'a posé aucun problème. Le même principe de montage que pour le BRIC1 a été réalisé.

### Electricité (domotique)



Plan électrique BRIC2

Boîtes de conservation des composants électriques du BRIC1



**Difficulté** Aucune

**Apprentissage**  
 Le choix de la domotique permet le réemploi de tous les composants électrotechniques du BRIC1, c'est à dire l'ensemble du câblage, parlophonie, interrupteurs, prises, compteur électrique. Seul le schéma électrique a été adapté pour passer de l'affectation *bureau* à celui de *commerce*.



Cablages de réemploi issus du BRIC1

Contre-cloisons techniques extérieures

Cablage apparent en prévision de l'éclairage LED

Sorties de câbles en prévision des prises électriques intégrées au plafonnage en argile

Le passage des câbles est réalisé par des cloisons techniques extérieures : entre la tôle de revêtements extérieurs, les contres-lattes, puis traverser le caisson isolé et re-sortir à travers le plafonnage. Les réserves ne sont pas prévues en avance, car le percement de la paroi est simple.

Néanmoins actuellement l'état de la réglementation ne permet pas le réemploi du câblage électrique.

## 2.6\_ TECHNIQUES SPÉCIALES: Électricité

La consommation électrique totale estimée s'élève à 2.833,37kWh/an. Le scénario de vie du bâtiment prévoit en seconde phase un commerce. Cette consommation couvre l'éclairage intérieur, extérieur en domotique; une température intérieure de 21° assurée par la PAC air-air; l'utilisation de 2 ordinateurs et 4 équipements de cuisine (café-tière, réfrigérateur, table de cuisson, hotte).

Le bâtiment produit l'électricité par des panneaux photovoltaïques déjà utilisés dans le BRIC1; la PAC est ré-employée.

### Pompe à chaleur air-air : pour le chauffage et le refroidissement



#### Difficulté

Aucune

#### Apprentissage

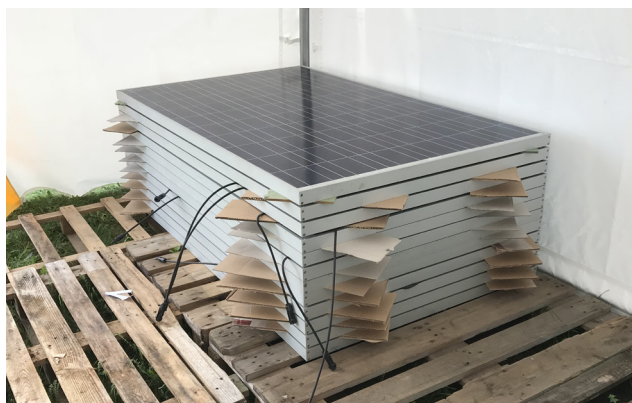
Le réemploi de la PAC et des gaines de pulsion micro-perforées n'ont posé aucun problème. Les équipements étaient dimensionnés en prévision de la future affectation. L'ensemble des gaines en acier a été réutilisé, y compris les accessoires de suspension et colliers d'emboîtement.



# Panneaux photovoltaïques

Stockage des  
panneaux  
photovoltaïques

Lestage (Klinkers)  
utilisé pour  
les panneaux  
et l'EPDM



12 panneaux ont été installés. Des structures inclinées sont placées sur la toiture plate afin de garantir un apport en rayon solaire optimum.

## Difficulté

Aucune

## Apprentissage

De manière générale, le réemploi des techniques spéciales en lien avec la production ou diffusion de l'électricité ne pose aucun problème. Le choix du type de technologie et des équipements étaient intégrés dès la phase de conception du BRIC1, et BRIC2.



Stock de matériel à la fin du BRIC1 et réutilisé pour le BRIC2



## Stockage des techniques spéciales

### Difficulté

Une attention particulière est portée sur les conditions de stockage des équipements. Par exemple les modules des panneaux solaires ne doivent pas subir de choc; la PAC doit être conservé dans un espace sec et clos.

### Apprentissage

La plus grande difficulté est de trouver les méthodes de conditionnement garantissant la performance du produit à la ré-installation.

## 2.6\_ TECHNIQUES SPÉCIALES: Eau

BRIC2 récupère l'eau de pluie de la toiture plate. Elle est stockée dans une citerne installée en surface. Le sur-plus de la citerne coule vers le lagunage en passant à travers un vide-sanitaire. L'eau stockée alimente les WC et le lave-main. Pour cela, une pompe aspire l'eau de la citerne, puis l'eau passe dans un filtre, et est utilisable dans le lave-main des WC. L'eau des WC et lave-main est non-potable; cependant l'eau utilisée dans une cuisine peut être potable par un système de potabilisation.

L'ensemble des équipements de plomberie utilisé dans le BRIC1 est ré-installé dans le BRIC2. Le lave-main est issu du réemploi. Certains petits accessoires de plomberie ont été rachetés ( pour cause de compatibilité Male-Femelle). Cela reste anecdotique. Nous ne disposons pas de compteur d'eau utilisé dans ce système.

### Récupération d'eau de pluie



**Apprentissage** Le réemploi des techniques spéciales en lien avec la récupération de l'eau ne pose aucun problème. Le choix du type de technologie et des équipements étaient intégrés dès la phase de conception du BRIC1, et BRIC2. La pose d'un compteur et un usage plus intense du bâtiment auraient permis un retour d'expérience.

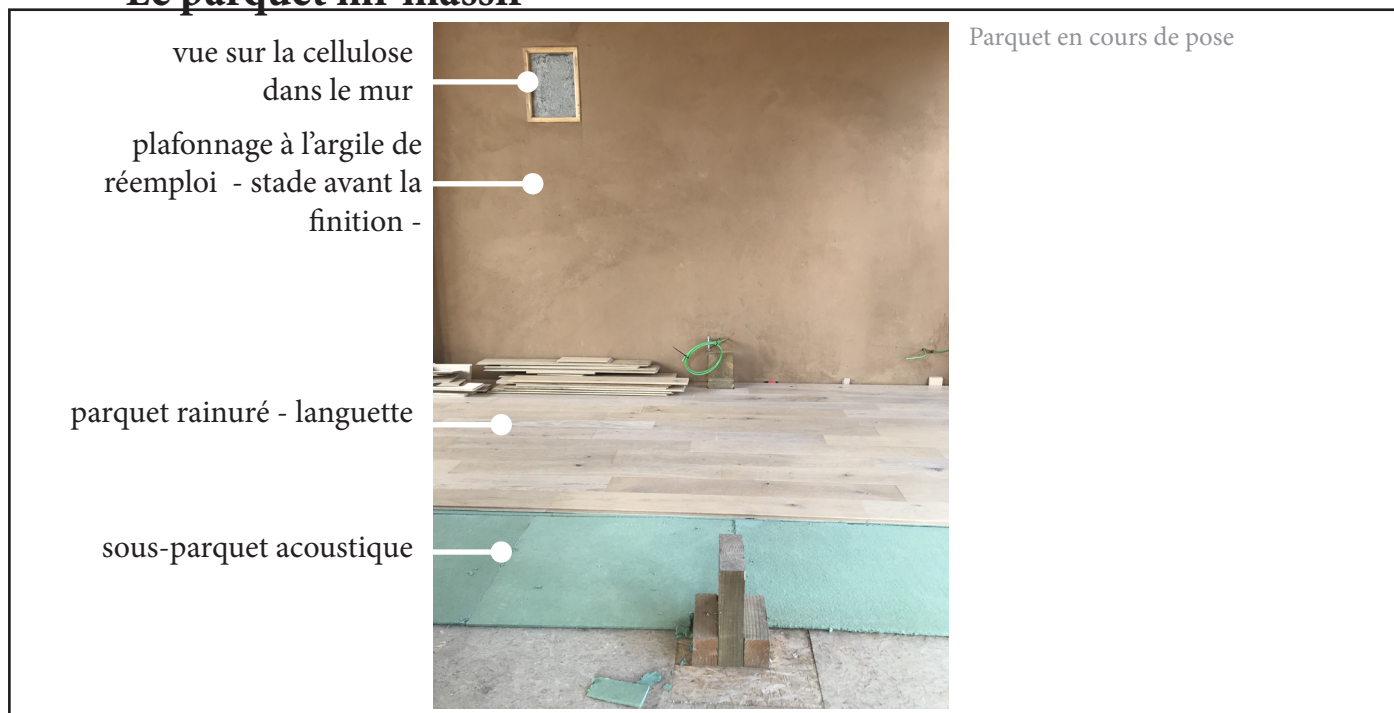


Vue sur les installations de récupération d'eau - façade Sud

## 2.7\_ Finitions intérieures

- BRIC2 utilise les mêmes matériaux du BRIC1 pour les finitions dans le BRIC2:
- un plafonnage à l'argile (3 couches) appliqué sur les caissons des murs extérieurs;
  - un parquet semi-massif en recouvrement de sol;
  - une mise en peinture des châssis (2 couches) en face intérieure;
  - les luminaires intérieures sont créés à partir de chutes de panneaux laminés.

### Le parquet mi-massif



#### Difficulté

Le parquet placé au sol du BRIC2 subit une perte importante. Environ 50% des lattes ne sont pas réemployables. Les causes sont principalement liées à l'usage du BRIC1 (petites rayures). Les panneaux acoustiques placés sous le parquet sont presque entièrement réutilisables.

#### Apprentissage

Le niveau d'exigence dans la finition est importante. Bien que les rayures soient peu visibles, la pose rend les défauts apparents. Néanmoins le système d'emboîtement des lattes «rainures-languettes» préserve la matière de traces de solvants, colle et demeure un système simple dans son placement.

## Le plafonnage à l'argile

treillis de roseaux  
-couche d'accroche-



Préparation de l'argile

### Difficulté

L'argile de réemploi est compactée en motte. La terre doit être décompactée (passée au tamis). L'argile fine prévue pour la finition gagne en granulométrie. La couche de finition est moins lisse qu'un plafonnage classique.

### Apprentissage

La granulométrie plus importante n'est pas un réel problème, mais demande un temps de préparation. Une finition de plafonnage peut être obtenue, le plafonneur doit lisser plus la matière. Ces étapes requièrent un temps de travail supplémentaire.

Vue sur la teinte «rosée»  
du plafonnage

La teinte d'accroche de l'argile utilisée dans le BRIC1 était *ocre*, et la teinte de finition était *rouge*.

Lors du démontage (plafonnage cassé au maillet) les couches se sont mélangées.

La teinte «rouge-rosée-poudrée» du BRIC2 est le résultat de ce mélange de réemploi.



### 3. Analyse financière de la conception réversible

#### 3.1\_ Coût de construction du BRIC2

L'estimation est basée sur l'*inventaire des dépenses générales de l'année 2019* (en lien avec le Rapport d'activité – subside du PREC – mesure CD 19 – sensibilisation des apprentis et futurs chefs d'entreprise à l'économie circulaire).

Les coûts ci-dessous prennent en compte uniquement la phase de fabrication et montage du BRIC2.

Tableau rassemblant les coûts de construction du BRIC2: coût des études et de la main d'oeuvre.

CE signifie « Chef d'entreprise ».

APP signifie « apprentis »

Une journée de travail d'un étudiant est de 5h.

Les postes en italique sont des coûts estimés.

Poste	Profil	Nbre d'heures	Cout/heure	Cout
<b>ETUDES</b>				
Bureau d'architecture	relevé BRIC1			2.044,90 €
Bureau d'architecture	conception/ exe BRIC2			2.044,90 €
<i>Bureau de stabilité</i>	<i>stationnement des colonnes</i>			850,00 €
soutien conception VUB	étude réversibilité			12.327,00€

#### MAIN D'OEUVRE

Installation socle de colonne	Sous traitant menuiserie	18	52,50 €	945,00 €
Installation charpente	Sous traitant menuiserie	116	52,50 €	6.090,00 €
Montage ossature	CE 20menuisiers	300	4,80 €	1.440,00 €
Montage ossature	PREPA 15menuisiers	150	2,46 €	369,00 €
Installation châssis – façade	personnel interne	14	14,00 €	196,00 €
Installation châssis – façade	APP- menuisiers	20	3,02 €	60,40 €
Installation châssis – vitrine	APP – menuisiers	15	3,02 €	45,30 €
Pose toiture EPDM	Sous traitant toiturier	63	63,00 €	3.969,00 €
Insufflation ouate	Sous traitant	28	54,00 €	1.512,00 €
Pose revêtement de sol	CE auditeur	80	4,80 €	384,00 €
Installation domotique	Interne 1 personne	7,5	19,77 €	148,28 €
Electricité	Interne 1 personne	22,5	19,77 €	444,83 €
Plomberie	CE plombier-chauf	80	4,80 €	384,00 €
Installation pac	ss traitant chauffagiste	50	60,00 €	3.000,00 €
Peinture	APP peintre	100	3,02 €	302,00 €
Mur de brique argile	demandeur d'emploi	10	2,46 €	24,60 €
Aide assistance phytostep	ss traitant	6	60,50 €	363,00 €
Installation lagunage	APP ent. Jardin	80	1,58 €	126,40 €
	CE 16 auditeurs	650	4,80 €	3.120,00 €
Rive rockpanel et lattis	Interne 1 personne	21	19,77 €	415,17 €
Pose tôle en façade	Interne 2 personnes	10	39,54 €	395,40 €
Plafonnage argile	ss traitant argile	14	38,50 €	539,00 €
Plafonnage argile	APP peinture	50	4,80 €	240,00 €

**Total cout**

**36.840,37€**

Les matériaux ci-dessous ont été achetés. BRIC2 a utilisé principalement et presque à 100% toutes les fournitures du BRIC1. Lors de l'achat des fournitures BRIC1, les quantités achetées prévoyaient la phase BRIC2. C'est pour cela que ce listing ne liste pas toutes les fournitures mises en oeuvre dans BRIC2.

Les principaux achats ( bois, parquet, isolants, argile de plafonnage, bardage...) ont été réalisés en 2017.

<i>achat EPDM et accessoires de toiture</i>	850,00 €
Lambourde – toit plat	243,94 €
Visserie pr tôle en façade	238,39 €
Plafonnage (lin, treillis)	613,31 €
Plomberie-évier de réemploi	44,00 €
Vitrage (3 châssis neufs)	497,36 €
Peinture	150,00 €
Citerne et traitement eau	2.236,87 €
Quincaillerie (vis, étanchéité)	63,13 €
Quincaillerie plomberie ( collier, coude)	288,55 €
matériel de location	
aspirateur	50,55 €
nacelle	314,40 €

**TOTAL**

**5.590,50 €**

Le coût total du BRIC2 s'élève à **42 430,37€**.

Ce montant ne prend pas en compte:

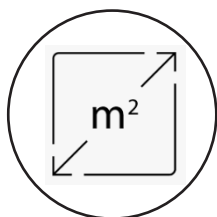


- le coût de coordination de l'efp,
- ni d'éventuel coût de stockage de matériel,
- ni la maintenance, ou logistique liées au déplacement de matériel pour la mise en oeuvre.

## Chiffres clés

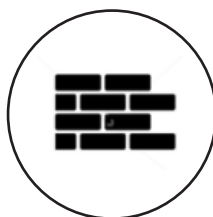
Surface habitable BRIC2:

**57,40 m<sup>2</sup>**



Part des dépenses  
attribuées à l'achat des  
fournitures:

**13%**



Part des dépenses  
attribuées à la main  
d'oeuvre:

**59%**



### 3.2\_ Comparaison des coûts de construction avec BRIC1

Tableau rassemblant les coûts de construction du BRIC1 - réalisé en 2018 par Karbon'

#### Réévaluation du budget en fonction du coût horaire d'un ouvrier

Poste	Profil	Nbre d'heures	Période	coeff	Remarque	Cout/heure	Cout
<b>Main d'oeuvre</b>							
Installation fondation	Sous traitant (formateurs)	21		100%		52,50 €	1.102,50 €
Installation dalle	CE 25 auditeurs	1200		25%		40,00 €	12.000,00 €
Fabrication caissons	Prepa 31 auditeurs	868		25%		40,00 €	8.680,00 €
Fabrication caissons	CE 25 auditeurs	700		25%		40,00 €	7.000,00 €
Montage gros oeuvre	Sous traitants (formateurs)	288		100%		48,00 €	13.824,00 €
Installation chassis	Formateur	7		100%		38,50 €	269,50 €
Installation chassis	2 APP	14		25%		40,00 €	140,00 €
Pose toiture	Sous traitants (formateurs)	14		100%		48,00 €	672,00 €
	Personnel interne	7,5		100%		14,00 €	105,00 €
Insufflation ouate cel	Sous traitants	16		100%		54,00 €	864,00 €
Pose revêtement de sol	CE auditeur	168		25%		40,00 €	1.680,00 €
Installation domotique	Interne 1 personne	7,5		100%		19,77 €	148,28 €
Electricité	Interne 1 personne	22,5		100%		19,77 €	444,83 €
Plomberie	CE 9 auditeurs	63		25%		40,00 €	630,00 €
	1 personne	7		100%		19,77 €	138,39 €
Installation pac	Professionnel externe	50		100%		54,00 €	2.700,00 €
Peinture	APP 20 auditeurs	420		25%		40,00 €	4.200,00 €
Mur de brique argile	Prepa 8 auditeurs	140		25%		40,00 €	1.400,00 €
Installation lagunage	App 15 auditeurs	525		25%		40,00 €	5.250,00 €
	CE 16 auditeurs	650		25%		40,00 €	6.500,00 €
Panneaux façade	Professionnel externe	96		100%		54,00 €	5.184,00 €
Plafonnage argile	formateurs	21		100%		38,50 €	808,50 €
	App 2 ieme 5 auditeurs	105		25%		40,00 €	1.050,00 €
<b>Total heures</b>							<b>74.790,99 €</b>

#### Fourniture

Gaine de pulsion Micro perforées	1	929,28 €	929,28 €
Quincaillerie de construction	1	22,97 €	22,97 €
Toilette sèche	1	2.680,00 €	2.680,00 €
Système de lagunage	1	3.212,55 €	3.212,55 €
Pompe à chaleur-VMC	1	1.475,00 €	1.475,00 €
Petit outillage	1	183,16 €	183,16 €
Outillage	1	1.366,74 €	1.366,74 €
Fourniture bois	1	18.500,00 €	18.500,00 €
Rockpanel Bardage	1	4.641,05 €	4.641,05 €
Matériel électrique éclairage extérieur	1	6.500,00 €	6.500,00 €
Essais de sol	1	1.197,90 €	1.197,90 €
Visserie	1	239,56 €	239,56 €
Visserie	1	636,90 €	636,90 €
Visserie	1	57,78 €	57,78 €
Visserie	1	82,11 €	82,11 €
Visserie	1	292,79 €	292,79 €
Easyfix	32	39,00 €	1.248,00 €
Panneaux solaires+matériel	1	7.850,00 €	7.850,00 €
Divers finition argile isolation	1	6.500,00 €	6.500,00 €
Architecte	1	7.350,00 €	7.350,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>64.965,79 €</b>

Total général

139.756,78 €

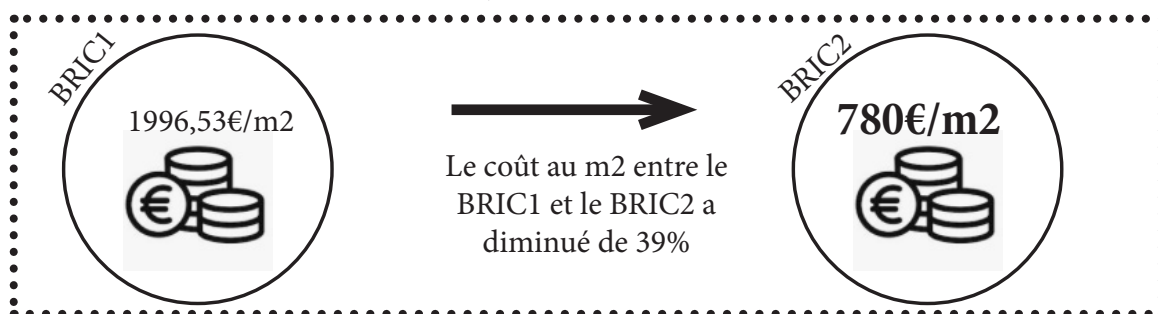
Cout/M2 (surface : 70 M2)

1.996,53 €

*BUILD REVERSIBLE IN CONSTRUCTION - Work Package 4: D14 - 2 pilots built + Feedback report).*

Karbon' a appliqué +21,5% au coût du m2 de l'efp; passant de 1567,13€/m2 à 1996,53€/m2 pour le BRIC1.

Le coût BRIC2 est de 642€/m2, ce coût ajusté afin de réaliser la comparaison est de **780€/m2**.





### 3.3\_ Le coût de la Réversibilité dans le projet BRIC

Les trois années de vie du projet BRIC permettent de dégager de premiers éléments sur les aspects financiers de la réversibilité.

Par le long processus du projet BRIC, phase de conception des éléments réversibles en 2017, construction du BRIC1 en 2018, puis déconstruction du BRIC1 et montage du BRIC2 en 2019, les comptes révèlent trois points importants:

1. Les principales dépenses de la construction du BRIC sont dédiées à la mise en oeuvre de la construction;
2. Les dépenses dédiées à l'achat de fourniture sont modérés, et liées à l'investissement dédiées à l'étude du projet;
3. Le réemploi des matériaux fait apparaître des coûts cachés et, ou difficilement quantifiables.

Les comptes du bâtiment BRIC1 et BRIC2 révèlent le premier poste de dépenses: la main d'oeuvre, principalement sur la phase de construction. Pour définir plus précisément les phases réclamant une main d'oeuvre importante, il faudrait -monter et démonter plusieurs fois le projet-. Cette main d'oeuvre se veut «qualifiée». BRIC est une ossature bois, la maîtrise technique des emboitements en bois est complexe, et nécessite une phase d'étude, puis une mise en oeuvre correcte sur chantier. Ces nouveaux modes de construction réclament une augmentation du niveau de compétences des ouvriers sur chantier.

D'autre part, les dépenses en lien avec l'achat des fournitures demeurent secondaires. L'investissement en matériel est lourd en première phase de construction. Cette part se réduit drastiquement dès la seconde année pour ne représenter que 7,9% du budget total du projet BRIC ( total cumulé des dépenses en matériel = 70 556,29€). Cet impact sur le budget est faible car presque 100% des matériaux du BRIC1 est ré-investit dans le BRIC2. Ces bâtiments sont des «banques de matériaux», où les produits ne perdent pas de valeurs. Pourtant, la part dédiée à l'étude de la conception réversible (prestations du bureau d'architecture, ingénierie en stabilité, audit énergétique et soutien de laboratoire de recherche) semblent faibles dans le projet BRIC. En effet, 19,6% du budget global du projet BRIC est consacré à l'étude et à la recherche de solutions réversibles. La part dédié aux bureaux d'architecture était sous-estimée. Au augmentant la part réservée à l'étude, le processus de réemploi des matériaux sera amélioré. L'impact environnemental positif sera renforcé.

Enfin, la lecture des comptes ne révèlent pas les coûts liés à la gestion des matériaux. Le réemploi des matériaux fait apparaître des coûts cachés et, ou difficilement quantifiables. En effet, la coordination des opérations, le transport et flux interne des matériaux sur site, la prise en compte de la bonne conservation des produits et le coût du stockage n'apparaissent pas. Le volume de matériaux au démontage du BRIC1 représentait 83m3 (bois, panneaux de revêtement, vitrage, châssis, caissons... hors isolants: cellulose, liège et laine de bois). Ils ont été stockés sous tente à proximité. La question de la bonne conservation des matériaux, et le stockage des ressources est de la responsabilité du fournisseur de matériel de réemploi.