

05 / 2018



© Kevin Dolmaire



(R)éveillons nos pratiques

# REPORTAGE CHANTIER



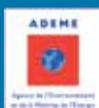
## Murs en terre coulée BIM

## Le CAP : pépinière d'entreprises

Saint-Clair-de-la-Tour (38)



Avec le soutien de :



Ce programme d'action  
est cofinancé  
par l'Union européenne



## Sommaire

page <b>4</b>	<b>Fiche d'identité du projet</b>
page <b>7</b>	<b>Sur le chantier</b>
page <b>8</b>	<b>Grands choix de conception</b>
page <b>11</b>	<b>ZOOM : les murs en terre coulée</b>
page <b>18</b>	<b>ZOOM : le BIM</b>
page <b>22</b>	<b>En images</b>
page <b>23</b>	<b>Pour aller plus loin</b>
page <b>24</b>	<b>Réalisation du reportage</b>
page <b>26</b>	<b>Dans la même série</b>

## Acronymes et abréviations

BIM : Building Information Model/Modeling/  
Management  
IFC : Industry Foundation Classes  
QEB : Qualité Environnementale du Bâtiment  
LOD : Level Of Details

Crédit photos (sauf mention contraire) :  
Ville & Aménagement Durable

# Fiche d'identité du projet



L'opération, située dans la zone d'activités de la corderie à Saint-Clair-de-la-Tour, a pour objectif la construction d'un bâtiment démonstrateur sur les plans architecturaux, environnementaux, techniques ou encore sociaux.

Cette réalisation sera un lieu dédié à la création d'entreprises et à la construction durable, avec une partie bureaux et une partie ateliers séparées par une allée centrale couverte.

Les travaux ont permis de former les artisans sur les thématiques de la terre et de la maquette numérique, avec l'organisation de visites, d'expositions et de conférences tout au long du chantier.



Situation de la parcelle dans la ZAC (© CC Vals du Dauphiné)

## Éléments clés

Situation : rural

Niveaux : R+1

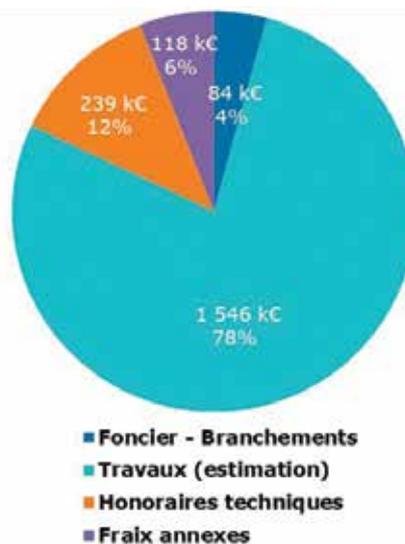
Surface : 1 063 m<sup>2</sup> SHON (dont 572 m<sup>2</sup> pour les bureaux et 491 m<sup>2</sup> pour les ateliers)

Structure : bois et terre

Coûts de l'opération : 1 987 k€ TTC

Coûts des travaux : 1 546 k€ TTC

Subvention : 500 k€ dans le cadre du Grand Projet Rhône-Alpes Nord-Isère Durable



## Acteurs du projet

### Maîtrise d'ouvrage

La communauté de communes Les Vals du Dauphiné



### Assistants à Maîtrise d'Ouvrage (AMO)

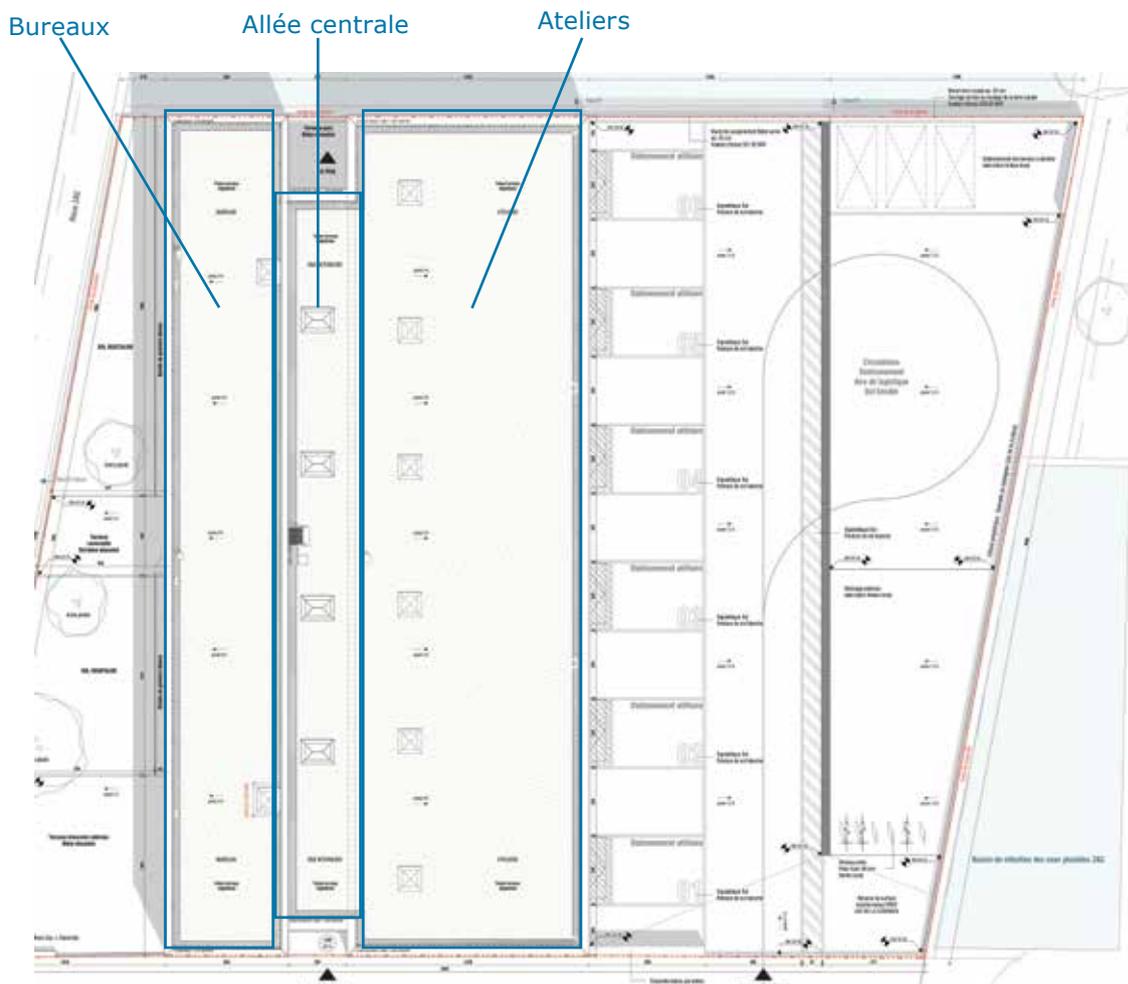
AMO QEB Etudes : Li Sun Environnement  
AMO QEB Chantier : EODD  
AMO BIM : ASTUS Construction  
AMO Terre : Abiterre (jusqu'en phase APD) puis CRATerre

### Maîtrise d'oeuvre

Architecte mandataire : Philippe Reach  
Architecte  
Architecte associé : Hors Les Murs Architecture  
BE Fluides : Akoé  
BE Structure : Vessière & Cie  
BE Electricité : Axiome  
Economiste : Biming  
BE VRD et coordonateur OPC : Sinequanon  
Coordonateur SPS : Elyfec SPS  
Bureau de contrôle : Dekra

### Entreprises

Terrassement - VRD : Gonin  
Gros œuvre : Saugey  
BE Terre de l'entreprise : Martin Pointet  
Charpente bois : SDCC  
Etanchéité : Société Eric  
Chape : CDI  
Menuiseries ext. et int. : Menuiserie Carré  
Serrurerie - Métallerie : Guttin  
Cloisons - peinture : SAS Nebihu  
Carrelage - sols souples : Clément Décor  
Plomberie - CVC : GT Agencement  
Electricité : SNEF



Extrait du plan masse (© P. Reach et J. Rigot, architectes)

## Caractéristiques techniques et environnementales

### Traitement de l'enveloppe

- Murs extérieurs RDC en béton de terre isolés par l'intérieur (180 mm laine de bois) + ossature bois + frein vapeur hygro-variable (avec un Sd variant de 0,25 à 25 m) + plâtre (R = 4,70 m<sup>2</sup>.K/W)

**Les freins vapeur hygro-variables sont plus fermés en hiver lorsque le risque de condensation est plus grand.**

**A l'inverse, l'humidité éventuellement présente dans l'isolant peut si besoin ressortir en été, ce qui permet l'assèchement de l'isolant.**

Arnaud JULIAND  
EODD

- Murs extérieurs R+1 bureaux en ossature bois : bardage en douglas autoclavé gris + pare-pluie + isolation répartie entre montant (140 mm laine de bois) et doublage intérieur (70 mm laine minérale) + frein vapeur hygro-variable (Sd variant de 0,25 à 25 m) + plâtre (R = 5,80 m<sup>2</sup>.K/W)
- Murs extérieurs R+1 ateliers en ossature bois : bardage en douglas + pare-pluie + isolation par l'intérieur (180 mm laine de bois) + frein vapeur hygro-variable (Sd variant de 0,25 à 25 m) + plâtre (R = 4,70 m<sup>2</sup>.K/W)
- Menuiseries verticales à double vitrage U<sub>w</sub> = 1,1 W/m<sup>2</sup>.K et TL = 78 %. Skydômes U<sub>w</sub> = 1,5 W/m<sup>2</sup>.K. Protections solaires : stores textiles extérieurs de couleur claire
- Plancher bas partie bureaux et allée centrale : isolation par 120 mm de polyuréthane sous chape (R = 5,45 m<sup>2</sup>.K/W)
- Plancher bas partie ateliers : isolation par 150 mm de polystyrène extrudé sous dallage (R = 4,50 m<sup>2</sup>.K/W)
- Toiture terrasse des bureaux : ossature bois avec isolation par 240 mm de fibre de bois entre solives, et 140 mm de laine de roche sous le support d'étanchéité (R = 9,95 m<sup>2</sup>.K/W)
- Toiture terrasse des ateliers : ossature bois + 140 mm de laine de roche sous le support d'étanchéité (R = 3,65 m<sup>2</sup>.K/W)
- Etanchéité à l'air : tests intermédiaires et final pour un objectif de n50 < 1,0 vol/h
- Traitement de ponts thermiques : désolidarisation de la chape et des murs ainsi que des murs de refend béton et des murs extérieurs

### Performances énergétiques théoriques

Basées sur le calcul réglementaire thermique

Bbio = 66 points  
Bbio = Bbio<sub>max</sub> - 24,3 %  
Cep = 40,9 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Cep = Cep<sub>max</sub> - 61,4 %

Bâtiment visant le niveau Effnergie + sans labellisation

### Equipements techniques

- Ventilation simple flux auto réglable et ventilation naturelle grâce aux baies avec châssis oscillo-battants et aux menuiseries intérieures avec volets de ventilation latéraux
- Chaudière gaz à condensation avec panneaux rayonnants
- Rafraîchissement : aucun
- Eclairage avec des luminaires basse consommation : LED dans les ateliers, les circulations et les salles de réunions, et fluorescents dans les bureaux
- Intégration de skydômes pour un éclairage naturel au coeur du bâtiment
- ECS : production par chauffe-eau électriques avec stockage au plus près du point de puisage, distribution avec des équipements hydroéconomiques

### Gestion des Eaux Pluviales (EP)

- Récupération des EP dans les noues et bassins versants est, ouest et nord
- Rétention des EP grâce à la toiture végétalisée

### Choix des produits de construction

- Limitation des émissions de composés organiques volatiles (peinture, moquette, carrelage, béton de terre, béton surfacé quartz au sol de l'ensemble du rdc)

### Autre

- Suivi et charte de chantier à faibles nuisances

# Sur le chantier

Planning des travaux	2017											2018			
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Gros Œuvre															
Charpente - ossature - façades bois															
Menuiseries extérieures - isolation															
Test étanchéité intermédiaire															
Cloisons															
Distribution lots techniques et finitions intérieures															
Test étanchéité final et livraison															

## Janvier - février 2017



## Avril - mai 2017



## Juin - juillet 2017



# Grands choix de conception

## Une pépinière d'entreprise...

### Pour quels usages ?

*Avec 318 établissements et 611 emplois, la filière de la construction sur l'ancien territoire des Vallons de la Tour représente 15% des entreprises et près de 9% des emplois du secteur privé. Secteur très dynamique, la construction a compté en 2015 sur les Vallons de la Tour 36 créations d'entreprises soit plus de 13% de l'ensemble des créations.*

*Grâce au pôle ressource jeunes entreprises « LE CAP », les entreprises du secteur de la construction pourront bénéficier d'un centre de ressources et de documentation orienté sur leur filière. L'artisan pourra non seulement être hébergé dans un des six ateliers prévus au projet mais il bénéficiera aussi d'un lieu de formation, d'information et d'échange pour être au fait des dernières innovations dans son secteur d'activité.*

**Valériane LAURANSOT**  
Communauté de Communes Les Vals du Dauphiné



Façade Nord et façade Ouest (© Kevin Dolmaire)

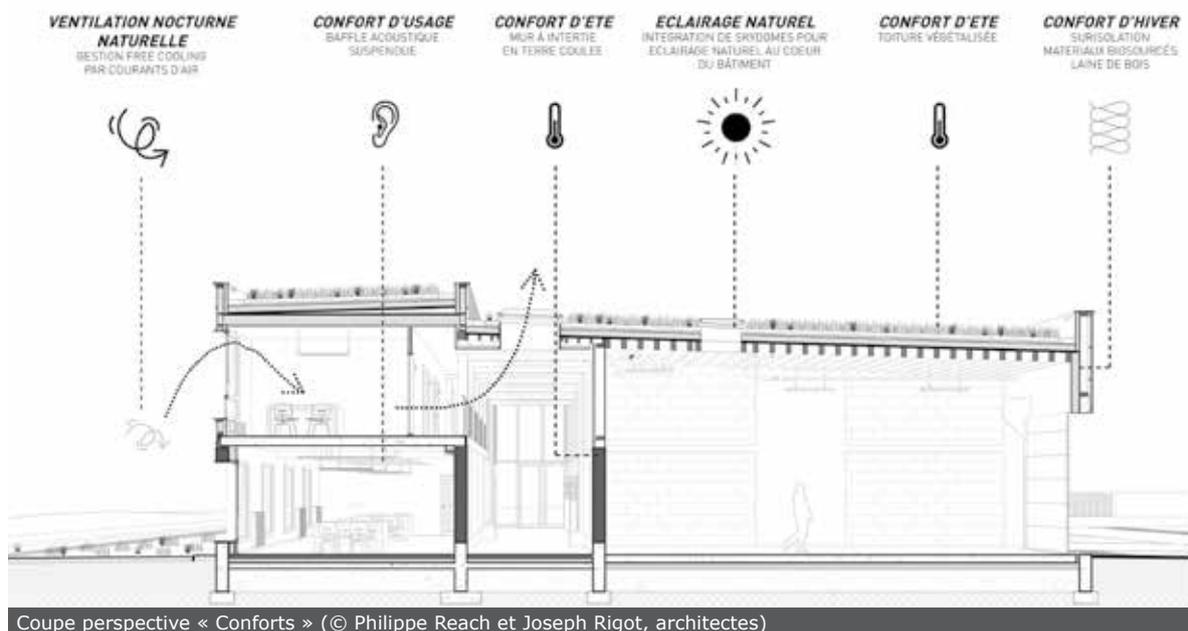


Façade sud - entrée principale (© Kevin Dolmaire)

### Dans quel contexte ?

*Véritable outil au service du développement économique et des créateurs d'entreprises, ce bâtiment est la traduction concrète d'un projet plus vaste portant sur la filière de la construction dans la Communauté d'agglomération des Portes de l'Isère et l'ancien territoire de la Communauté de communes des Vallons de la Tour (devenu les Vals du Dauphiné). En effet, la Région Rhône-Alpes a investi jusqu'à 8.3 M € sur ce territoire à travers un outil ciblé et temporaire : le Grand Projet Rhône-Alpes Nord-Isère durable (2012-2016). Grâce à lui, les territoires bénéficient d'une ingénierie technique et financière leur permettant de mener à bien d'importants projets de développement. C'est le cas du pôle ressource dédié aux jeunes entreprises.*

**Valériane LAURANSOT**  
Communauté de Communes Les Vals du Dauphiné



Coupe perspective « Conforts » (© Philippe Reach et Joseph Rigot, architectes)

## Parti pris architectural

**Nous avons mis en place un groupement de maîtrise d'œuvre composé d'architectes et d'ingénieurs spécialisés, avec la volonté de répondre à un projet exemplaire.**

**Dès la lecture de l'appel d'offres, nous avons ressenti de la part du maître d'ouvrage une volonté d'exemplarité dans les domaines mis en exergue.**

**Ressources / matériaux locaux : nous avons eu la volonté de travailler avec les ressources locales : Terre & Bois. Aussi, nous avons proposé au BE VESSIERE d'intégrer l'équipe, ce dernier étant fortement impliqué dans des projets de natures diverses employant ces matériaux. Performances environnementales, avec la désignation d'un AMO QEB (LI SUN ENVIRONNEMENT) fortement impliqué. A la consultation était joint un programme de Qualité Environnementale, intégrant un programme extrêmement détaillé de 75 pages, ciblant précisément les objectifs**



Extrait de la Simulation Thermique Dynamique (© Akoé)

## Partage des compétences et des expériences

Le projet est un démonstrateur en termes de performances sociales via la formation des entreprises, l'information des riverains, la réalisation de visites de chantiers publiques, etc. Une visite suivie d'un atelier thématique sur la terre crue a ainsi été organisée en mai 2017 par VAD, en partenariat avec Les Vals du Dauphiné, le Nord-Isère Durable, le Pôle Innovations Constructives et l'Ageden. D'autres visites ont été réalisées par le Cluster Eco-Energies et les architectes notamment.

**Nous avons fait le choix d'un projet axé sur le partage des compétences et des expériences : à la fois dans la composition de notre projet, avec la rue intérieure, lieu de croisement des différents usagers (professionnels libéraux, artisans...) et du public, puisque nous avons proposé au maître d'ouvrage de classer cet espace en ERP, afin qu'il puisse accueillir des expositions pour le public, des manifestations...**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT  
Architectes**

**à atteindre, de manière circonstanciée sur ce projet, et avec des attendus et des livrables différents à chaque phase. Étant nous-mêmes très sensibles à cet aspect de la conception du projet, nous avons choisi d'intégrer deux BE spécialisés : AKOE pour la partie fluides et thermique et AXIOME pour la partie courants forts courants faibles**

**BIM, avec la désignation d'un AMO BIM (ASTUS CONSTRUCTION). Il nous a été demandé de rédiger un protocole BIM. Étant formés à la maquette numérique et au BIM par RAY FORMATION, spécialiste, nous avons choisi d'intégrer un économiste de la construction, BIMING, avec lequel nous pourrions facilement travailler sur la maquette numérique, et nous avons rédigé le protocole conjointement.**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT  
Architectes**

Le confort thermique a également été étudié et pris en compte. La terre coulée amène de la densité au bâtiment, ce qui améliore son inertie. Une Simulation Thermique Dynamique a été réalisée sur le bâtiment, en considérant les murs en terre comme du béton. Le fait d'employer de la terre est donc un bonus pour le confort hygrothermique.



Visite du CAP réalisée le 11 mai 2017

**Après la journée VAD, nous avons reçu la commune des Eparres qui envisage d'utiliser le procédé de terre coulée sur leur projet de construction d'un groupe scolaire.**

**Au regard du bâtiment démonstrateur nous sommes ouverts à toutes les visites.**

**Valérieane LAURANSOT  
Communauté de Communes Les Vals du  
Dauphiné**

## Suivi et évaluation des performances réelles

Le projet a été retenu dans le cadre de l'expérimentation E+C- et a en conséquence fait l'objet d'une Analyse de Cycle de Vie, qui a permis d'évaluer ces performances en termes d'impact carbone.

Afin de s'assurer de la garantie des performances réelles du projet, l'AMO QEB a une mission en phase chantier, à la réception et en exploitation :

- réunion trimestrielle avec la maîtrise d'ouvrage sur le suivi et le contrôle de la qualité d'exécution (caméra thermique...)
- vérification de la conformité des installations au regard des objectifs de départ ;
- analyse de la notice de sensibilisation et de recommandations d'utilisation ;
- analyse du livret d'entretien du bâtiment ;
- réalisation d'un document bilan des caractéristiques QEB de l'ouvrage fini ;
- distribution d'une note d'information pour les usagers et gestionnaires concernant les cibles QEB (méthodologie, recommandations et prescriptions).



Réalisation du test d'étanchéité (© Kevin Dolmaire)

Par ailleurs, des tests d'infiltrométrie ont été exigés par la maîtrise d'ouvrage dès la conception. L'objectif recherché est de vérifier qu'il n'y ait pas de passages d'air trop importants et de veiller à une bonne mise en oeuvre. L'exigence chiffrée est un taux de renouvellement d'air sous une différence de pressions de 50 Pa inférieur à 1 volume par heure :  $n_{50} \leq 1 \text{ vol/h}$ .

Afin d'assurer l'étanchéité, un pare-pluie avec des bandes auto-collantes a été mis en oeuvre derrière le bardage bois. De plus, pour s'assurer de la bonne réalisation des travaux, deux tests intermédiaires ont été réalisés pendant le chantier, dans un des bureaux, puis un dernier sur l'ensemble de la partie bureaux.

Le test d'étanchéité final a été réalisé sur l'ensemble de la partie bureau et a validé l'exigence ci-dessus avec  $n_{50} = 1 \text{ vol/h}$ .



Blower door (© Kevin Dolmaire)



Recherche des fuites (© Kevin Dolmaire)

# ZOOM : les murs en terre coulée

## Choix du système constructif

### Les motivations de la maîtrise d'oeuvre

Le choix constructif des murs du rez-de-chaussée en terre coulée a été proposé par l'équipe de maîtrise d'oeuvre dans la réponse à l'appel d'offres.

**Nous avons souhaité répondre à la demande de la maîtrise d'ouvrage. Construire en terre a fait partie de la réponse que nous avons apportée au sein de notre proposition, notamment :**

- **pour réduire la consommation d'énergie grise pour une partie des matériaux mis en œuvre ;**
- **pour la valorisation d'un matériau local.**

**Le choix de se reporter sur de la terre coulée plutôt que sur du pisé s'est fait sur des critères diversifiés :**

- **de mise en œuvre (plus rapide que le pisé) ;**
- **d'innovation (procédé expérimental encore à l'étude au sein du laboratoire CRAterre) ;**
- **de développement de la ressource (la possibilité de former des entreprises à cette technique et ce procédé innovant et duplicable) ;**
- **financier (moins onéreux que le pisé).**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT**  
Architectes

### Une réponse aux attentes de la maîtrise d'ouvrage

Le maître d'ouvrage a intégré dès le programme des souhaits en termes d'utilisation de matériaux locaux et innovants.

La terre coulée répondait aux objectifs de la maîtrise d'ouvrage qui étaient notamment d'intégrer une forte résonance locale dans les modes constructifs utilisés, afin de pouvoir mettre en avant et développer les savoir-faire locaux.

C'est notamment le cas de l'entreprise de gros oeuvre qui n'avait jamais travaillé avec le matériau terre et qui s'est formée sur ce chantier, à la réalisation de voiles en terre coulée. Pour ce faire, elle s'est fait accompagner par un bureau d'études terre.

Le Nord-Isère Durable est une démarche pour rapprocher toutes les initiatives en faveur de la transition énergétique sur un territoire aujourd'hui composé de la CAPI et de la Communauté des Vallons de la Tour (depuis intégrée aux Vals du Dauphiné).

Leurs objectifs sont de :

- faciliter les liens entre les porteurs de projets pour simplifier le partage d'expérience, l'émulation et l'innovation ;
- mettre à disposition des différents publics les conseils ou données dont ils ont besoin pour passer à l'action ;
- rendre visible tous les dispositifs ou actions en cours sur le territoire.

L'enjeu est de répondre aux nouvelles contraintes climatiques et énergétiques, et d'offrir aux habitants une qualité de vie préservée sur un territoire économique et dynamique.

**Technique qui nous a paru très pertinente dans la démarche :**

- **technique innovante cohérente avec les objectifs du GPRA Nord-Isère Durable ;**
- **pas ou peu d'investissement de matériel supplémentaire pour les entreprises (technique de béton banché) - diffusion locale possible ;**
- **compétence pour la formation présente sur le territoire.**

**Kévin DANIEL**  
Nord-Isère Durable



### Les liens avec le patrimoine existant

Cette construction neuve fait écho aux bâtiments en terre crue et plus spécifiquement en pisé qui jalonnent le territoire isérois.

**Le Nord-Isère abrite de nombreuses structures liées à la terre, reconnues au niveau mondial : Les Grands Ateliers, CRATerre, Amàco...**

**L'opération est pertinente d'un point de vue développement durable :**

- **énergie grise faible ;**
- **caractéristique hygrométrique du matériau terre intéressante ;**
- **inertie importante ;**
- **ressource locale renouvelable et abondante.**

**Cela permet de remettre la terre crue sur le devant de la scène et de faire le lien avec le patrimoine existant en pisé.**

**Kévin DANEL**  
**Nord-Isère Durable**



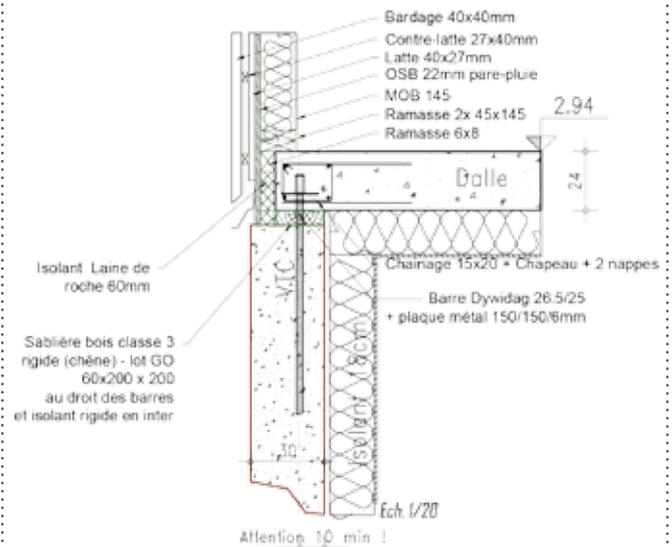
## Réalisation

### Descriptif du système constructif

La terre coulée était à l'origine utilisée pour rénover les bâtiments en pisé. Cette technique est également intéressante sur des projets neufs puisqu'elle permet de démocratiser la construction en terre. En effet, la terre coulée demande les mêmes outils que la réalisation de béton armé classique, nécessitant ainsi très peu de moyens humains comparé aux autres techniques de construction terre (pisé, bauge, etc.).

Les murs du projet sont réalisés en terre coulée, avec une épaisseur de 30 cm, sur le premier niveau puis avec une structure bois à l'étage. Le bâtiment est isolé par l'intérieur de sorte que la terre soit visible de l'extérieur et dans l'allée centrale qui dessert les espaces de bureaux et les ateliers.

### Détails sur VTC 30 + Dalle BA + MOB bureau Ech 1/20



Carnet de détails - détail haut (© Vessière & Cie)

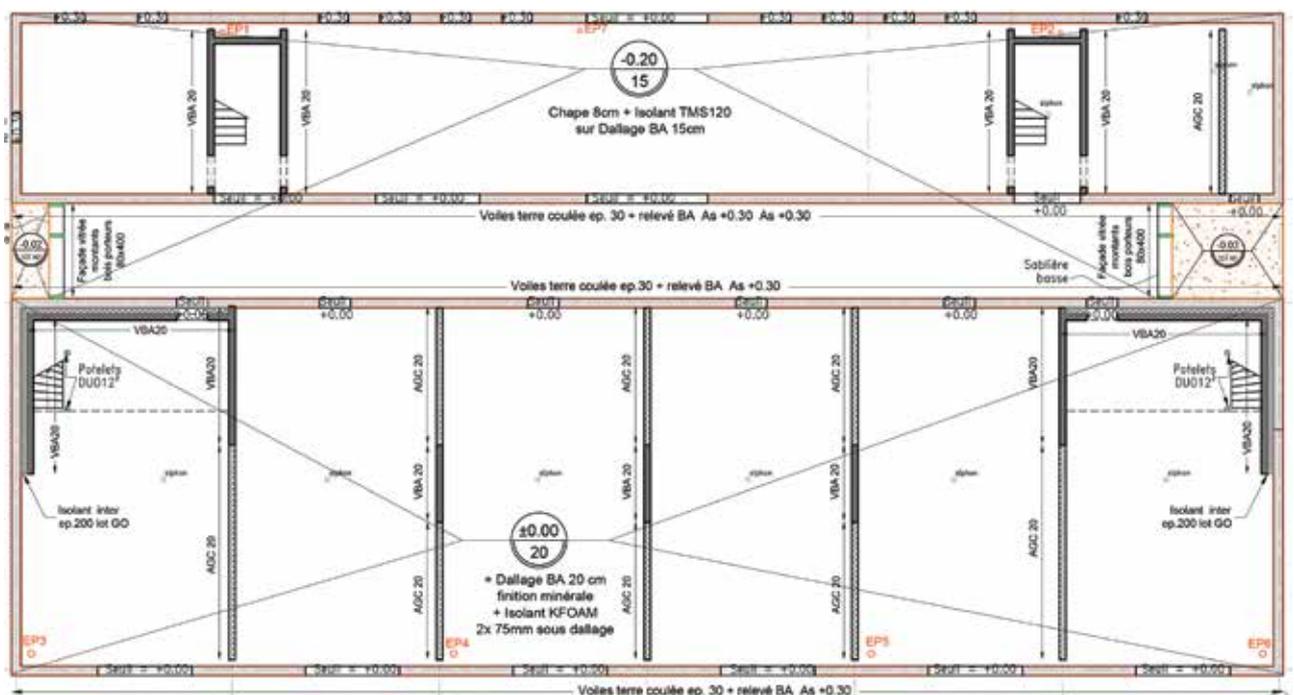
**Définition des bétons d'argiles** selon le rapport final « Béton d'argile environnemental » de 2013 financé par le Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie :

« Les bétons d'argile, à l'instar des bétons de ciment, sont des matériaux constitués d'un liant (ici, l'argile) et de grains (sables, graviers,...). La principale matière première utilisée pour formuler ces bétons d'argile est la terre crue, qui contient déjà par nature un liant argileux plus ou moins cohésif, et des grains de différentes tailles et en proportions variables. »

**Le béton d'argile est un terme générique qui regroupe toutes les techniques de construction en terre, un béton étant un mélange d'agréats lié par une colle : ici l'argile. On peut dire que le pisé est un béton d'argile.**

**Par contre la terre coulée est une mise en œuvre spécifique où l'on coule à l'état visqueux/liquide de la terre (mélange d'argile, de sable et de gravier) dans des coffrages puis on la vibre, contrairement au pisé où la terre est déversée humide, puis compactée.**

Jean-Marie LE TIEC  
CRATerre



Plan structure RDC bas (© Vessière & Cie)

## Analyse et formulation

L'AMO QEB souhaitait privilégier l'emploi de terre locale. Ainsi le laboratoire CRATERre a été missionné en soutien de la maîtrise d'oeuvre pour la mise en place du béton de terre et afin d'analyser la qualité de la terre du site. Des échantillons ont été pris en deux points de prélèvements pour vérifier l'homogénéité des terres en sous-sol. L'analyse granulométrique a ensuite montré une composition de sol très riche en matières fines qui impose d'utiliser une proportion importante de sable et gravier afin d'éviter les phénomènes de retrait. Le type et la teneur du ciment ont également été définis en fonction des caractéristiques du sol.

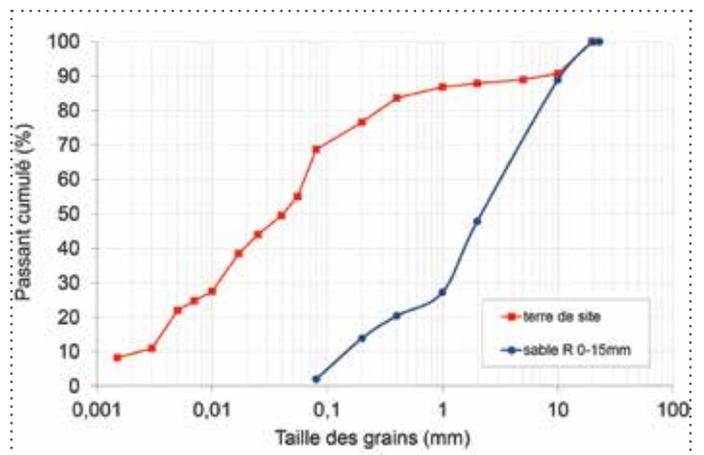
Différents essais de formulation ont été réalisés pour évaluer leurs résistances à l'abrasion et à la compression (qui doit être supérieure à 1,5 MPa après 28 jours de cure).

Un mur prototype a été testé avec un mélange à 40% de terre (en volume). Cependant cette formulation n'a pas été retenue car le mélange était trop collant. L'entreprise aurait alors eu tendance à ajouter de l'eau pour fluidifier le mélange ce qui augmente grandement les risques de fissurations et diminue les résistances mécaniques.

Afin de faciliter la mise en oeuvre, la proportion de terre du site a donc été diminuée. A noter que le terrain est situé à proximité d'une rivière et que la terre est limoneuse. Il aurait été possible d'aller chercher de « la terre à bâtir » de meilleure qualité, comme celle utilisée pour le pisé. Cela aurait nécessité moins d'ajout de sable mais l'objectif recherché était d'employer de la terre du site.



Essai à la compression (© CRATERre)



Répartition granulométrique des échantillons du site, courbe rouge, comparée à celle du sable de carrière utilisé pour les formulations de béton, courbe bleue (© CRATERre)

**La terre a d'abord été stockée dans un hangar de la commune de communes puis criblée à un endroit, mélangée dans une centrale à béton puis retour sur le site : 55 km au total.**

**Arnaud JULIAN  
EODD**

### Formulation finale (en poids) :

- 28% de terre du site, située à moins de 30 km de la centrale
- 64% de sable à béton (comprenant des granulats) provenant de la carrière de Courtenay, située à 1 km de la centrale
- 7% de ciment dosé à 42.5 provenant de Montalieu, située à moins de 15 km de la centrale (contre 15% pour un béton conventionnel)
- Absence d'adjuvant, dont les impacts environnementaux sont peu maîtrisés



Essai à l'abrasion (© CRATERre)



Résultats de la granulométrie (© CRATERre)

## Mise en oeuvre

Aucun avis technique (ATec) ni appréciation technique d'expérimentation (ATEX) n'existe pour ce procédé. Le bureau de contrôle qui n'avait jamais travaillé sur ce mode constructif a tout de même validé le processus, après avoir demandé une étude sur la terre et une étude sismique.

**L'avantage du procédé innovant « terre coulée », c'est que sa mise en oeuvre est identique aux procédés classique « béton armé ». Cette technique permet donc une grande reproductibilité par les entreprises du BTP. La spécificité est le temps de décoffrage et la mise sous cure d'au moins 7 jours.**

**Bernard SCHMITT  
Vessière**

Par le choix de l'entreprise de maçonnerie, le mélange est réalisé en centrale béton avec un acheminement sur site. Le fournisseur Point.P réalise la livraison avec la première toupie de la journée, afin de pouvoir ensuite passer au béton armé classique pour les autres chantiers. La distribution est assurée par godet.



Toupie et godet - Mur prototype (© Martin Pointet)

Aucune armature n'est présente dans les murs en terre coulée, seuls des précadres en acier ont été utilisés pour la réalisation des baies. Il était impossible de réaliser des linteaux, dû au travail en compression et non en traction.



Précadre en acier posé en attente de la menuiserie future

Grâce à l'absence d'armature la vibration de ce béton d'argile est simplifiée. Cependant, le mélange est plus argileux et donc plus collant qu'un béton armé classique. La vibration est réalisée par aiguille vibrante.



Précadres en acier



Réalisation des murs (© Martin Pointet)

**Le procédé a été validé, mais en alertant le maître d'ouvrage sur certains points particuliers, comme un risque accru de voir apparaître des fissures dues au retrait de l'eau dans la terre et au séchage, ce qui joue sur l'esthétique du bâtiment.**

**Bernard SCHMITT  
Vessière**

Une attention particulière a été consacrée à la durée de séchage des murs, débanchés après 4 jours (avec une huile végétale à 95%).

**Plus la cure du béton est longue, moins le risque de désordre lié au retrait de la terre coulée est grand et plus le matériau aura de bonnes résistances mécaniques. En effet le béton de terre coulée est faiblement stabilisé (5 à 8%), la cure permet donc une prise optimale du liant hydraulique en conservant l'eau dans le mur. Un minimum de 7 jours est recommandé mais plus la cure dure plus on aura de meilleur résultat. Sur chantier, les murs sont restés sous cure plusieurs mois (le bâchage protégeant aussi le mur des intempéries).**

**Bernard SCHMITT  
Vessière**



Murs sous cure humide (© Martin Pointet)

Enfin, les murs ont été sciés tous les 3 mètres pour réaliser des joints creux de dilatation.

Concernant la protection des murs en terre, une hauteur d'arase en béton de 30 cm permet de protéger les murs de l'usage du bâtiment (entretien des sols...). S'agissant de béton de terre et non de pisé, un débord de toit n'est pas nécessaire, et seules des couvertines en zinc protègent les murs.

**Actuellement la technique des bétons de terre coulée nécessite une stabilisation hydraulique (ici à 7% de ciment) afin de faciliter le décoffrage rapide des murs. Cet ajout de ciment durcit fortement le matériau et augmente d'autant sa résistance à l'érosion, aussi nous sommes plus proche de la famille des bétons de ciment que celle du pisé. Cela permet donc de réduire les protections d'usage (débord de toiture) de la construction en terre. Les murs en terre coulée sont réalisés à l'aide de banches (identiques à celles utilisées pour le béton armé) avec un apport de ciment qui pérennise la surface des murs par rapport aux intempéries.**

**Jean-Marie LE TIEC  
CRATERre**



Murs en terre coulée sur 30 cm de soubassement béton (© Kevin Dolmaire)

## Levée des obstacles

- Aspects réglementaires et assurabilité

En l'absence de réglementation sur cette technique, des précautions ont été prises. La commune étant classée en zone sismique 3 «modérée» sur 5, les potentiels risques sismiques ont été surmontés en ajoutant quelques aciers et certains murs en terre ont dû être doublés avec des murs en béton armé.

En terme d'assurabilité, il n'y a eu aucune difficulté. Suite aux documents fournis par l'équipe projet, l'assureur de la maîtrise d'ouvrage n'a émis aucune réserve et l'ouvrage est entièrement couvert par l'assurance.

- Compétences

Le fait que l'entreprise de gros-oeuvre n'avait pas d'expérience concernant la construction terre aurait pu être une difficulté. La demi-journée d'information obligatoire pour répondre à l'appel d'offres, et le travail en bonne intelligence avec l'ensemble des acteurs de l'opération ont permis de faire de cette contrainte un atout, les professionnels s'étant formés sur cette technique.

- Coûts

La terre coulée représente un coût moindre par rapport au pisé. A titre indicatif un mur en pisé de 50 cm d'épaisseur est de l'ordre de 600 €/m<sup>2</sup> tandis qu'un mur en terre coulée de 30 cm d'épaisseur est approximativement de 250 €/m<sup>2</sup>.

**Le surcoût de ces murs en terre coulée est peut-être 20% plus cher que le béton banché.**

**Mais nous ne sommes pas sur des procédés constructifs comparables, la conception en béton de terre a été intégrée comme un choix de notre part dès l'esquisse, ce qui a demandé un travail de recherche particulier, du temps passé sur des détails...**

**Bernard SCHMITT  
Vessière**

- Délais

Le chantier a pris du retard dû aux intempéries et à la rotation des banches puisqu'il faut attendre quatre jours pour décoffrer au lieu de deux pour le béton armé classique, et que l'entreprise de maçonnerie n'avait pas beaucoup de banches.

Néanmoins, la charpente en bois a été préfabriquée et posée en seulement un mois (contre deux prévus au planning).

Ainsi, ce retard a été comblé et la date de livraison du bâtiment est conforme au planning marché.



Murs banchés (© Martin Pointet)

***Le planning de coulage des murs en terre est dépendant de la météo et d'une période hors-gel. Étant un procédé innovant il y a donc eu beaucoup d'incertitudes sur les délais de mise en œuvre et sur le rendu final mais l'entreprise accompagnée du BE Terre s'est montrée très coopérative.***

**Martin POINTET**  
**BE Terre**

- Esthétisme

Les murs en terre sont hétérogènes, des épaufrures sont apparues sur certains endroits. Des fissures sont également apparues au niveau des menuiseries à 45 degrés. Un joint de pré-fissuration avait pourtant été réalisé en amont mais cela n'a pas suffi. Ceci est peut-être dû au pré-cadre en acier trop raide.

Ces fissures sont uniquement traitées sur les façades extérieures pour éviter tout problème d'infiltration des eaux pluviales. Elles sont rebouchées par un mortier de terre réalisé par l'entreprise avec l'aide du bureau d'étude terre.



Fissures à 45 degrés sur une menuiserie intérieure



Epaufures sur un mur en terre coulée

# ZOOM : le BIM

## Objectifs

La maîtrise d'ouvrage a souhaité intégrer une démarche BIM au projet de la pépinière d'entreprise « LE CAP » dès la phase programmation. En phase réception une maquette mise à jour et fidèle à la réalité sera fournie à la maîtrise d'ouvrage qui assurera l'exploitation du bâtiment.

*Suite à la réalisation d'un BIM de conception sur la médiathèque de la Tour-du-Pin qui a permis de réaliser une économie évaluée à 10 % du coût des travaux, les élus ont souhaité renouveler l'expérience jusqu'à la réalisation d'un BIM DOE et s'inscrire dans une démarche nationale sur les bâtiments publics.*

**Valériane LAURANSOT**  
Communauté de Communes Les Vals du Dauphiné

### Directive européenne des marchés publics :

« Chacun des 28 pays de l'Union Européenne devront pour des projets de construction financés par des fonds publics, encourager, spécifier ou rendre obligatoire d'ici à 2017 l'utilisation de la modélisation des données du bâtiment. »

Les objectifs du BIM sont notamment d'assurer un suivi des équipements techniques :

- caractéristiques techniques ;
- caractéristiques dimensionnelles ;
- performances, puissances ;
- modalité de contrôles réglementaires, etc.

La consultation de la maquette numérique des ouvrages exécutés permettra de connaître :

- les surfaces des sols, murs et plafonds ;
- leurs compositions.

## Organisation

Un AMO BIM a été désigné par le maître d'ouvrage en phase programmation et conception, avec pour rôle de :

- réaliser le cahier des charges de la maîtrise d'oeuvre et celui des entreprises ;
- vérifier la maquette aux phases avant-projet et projet sous le format IFC.

Le BIM manager de l'opération est l'architecte qui a également la responsabilité de modéliser le bâtiment de l'esquisse à la réception.

Les autres acteurs impliqués à différentes échelles dans le BIM sont les suivants :

- le bureau d'études fluides : modélisation de la phase projet à exécution ;
- l'économiste et le bureau d'études structure ;
- récupération des données de la maquette de la phase projet à exécution ;
- l'entreprise de charpente : modélisation de la superstructure en phase exécution ;
- les autres entreprises : intégration des données numériques en phase réception.



Maquette numérique (© Philippe Reach et Joseph Rigot architectes)

## Descriptif

### Format

**La maîtrise d'ouvrage a fait le choix d'exploiter le fichier de l'ouvrage modélisé livré au format interopérable ouvert IFC 2x3. [...]**

**Celui-ci doit permettre d'assurer la compatibilité de lecture et de modélisation avec les solutions logicielles compatibles IFC et donner accès à l'information sans parti pris pour un format propriétaire.**

**CCTP BIM  
Astus Construction**

Pour des raisons de simplicité, le BIM manager a imposé aux bureaux d'études d'utiliser le logiciel Revit. Cela permet de rester en fichier natif, ainsi chaque acteur à son propre fichier Revit que le BIM manager rassemble ensuite sur un même fichier. Ce dernier est disponible à tous gratuitement sur une plateforme web.

Aussi, la démarche est à la fois un BIM intégré (fichiers sous le même format natif : ici Revit) et un BIM fédéré (export de la synthèse sous le système ouvert IFC).

### Niveau de développement

En conception et à la réception, le niveau de détail recherché sur l'opération est a minima LOD 300 et jusqu'à LOD 400 sur les lots CVC (l'objet générique est remplacé par l'objet fabricant).

### Niveaux de développement / de détail / de définition, indiqués dans le protocole BIM de l'architecte

LOD 100 : les éléments du modèle peuvent être représentés par un symbole ou de manière générique.

LOD 200 à 500 : les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière générique en tant qu'objet ou assemblage.

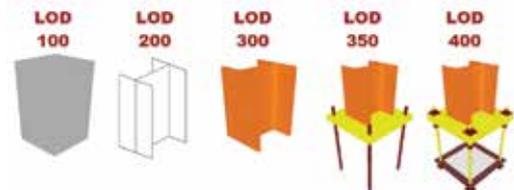
LOD 200 : les dimensions, quantités, formes, positions et orientations des éléments peuvent être approximatives.

LOD 300 : les dimensions, quantités, formes, positions et orientations sont spécifiques aux éléments.

LOD 350 : idem 300 + Les éléments interagissent avec les autres éléments.

LOD 400: idem LOD 350 + Informations sur le détail, la fabrication, l'assemblage et l'installation contenues dans les éléments.

LOD 500: idem LOD 400 mais tel que construit et vérifié sur place.



Représentation des niveaux de détail (© Structure mag)

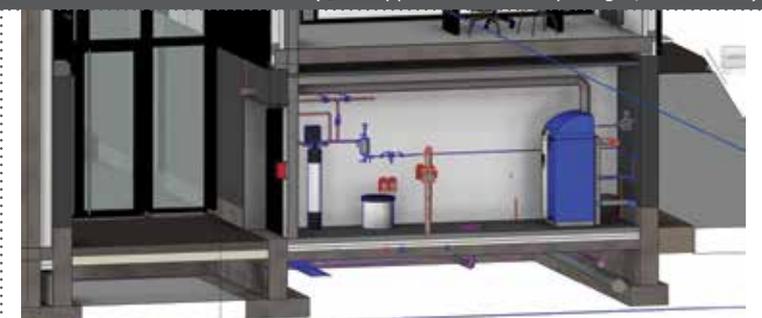
### Contenu

**Les dimensions de chaque local sont enrichies d'informations nécessaires aux opérations d'entretien et de maintenance. Outre la surface au sol intérieure, ils doivent indiquer les volumes intérieurs, le type de revêtement au sol et ses références, le type de plafond et ses références, la surface de mur, le type de revêtement mural et ses références. Les tableaux fournis aux entreprises préciseront le détail des données modélisées à fournir.**

**CCTP BIM  
Astus Construction**



Lots architecturaux (© Philippe Reach et Joseph Rigot, architectes)



Lot CVC (© Philippe Reach et Joseph Rigot, architectes)

## Retours sur l'utilisation du BIM

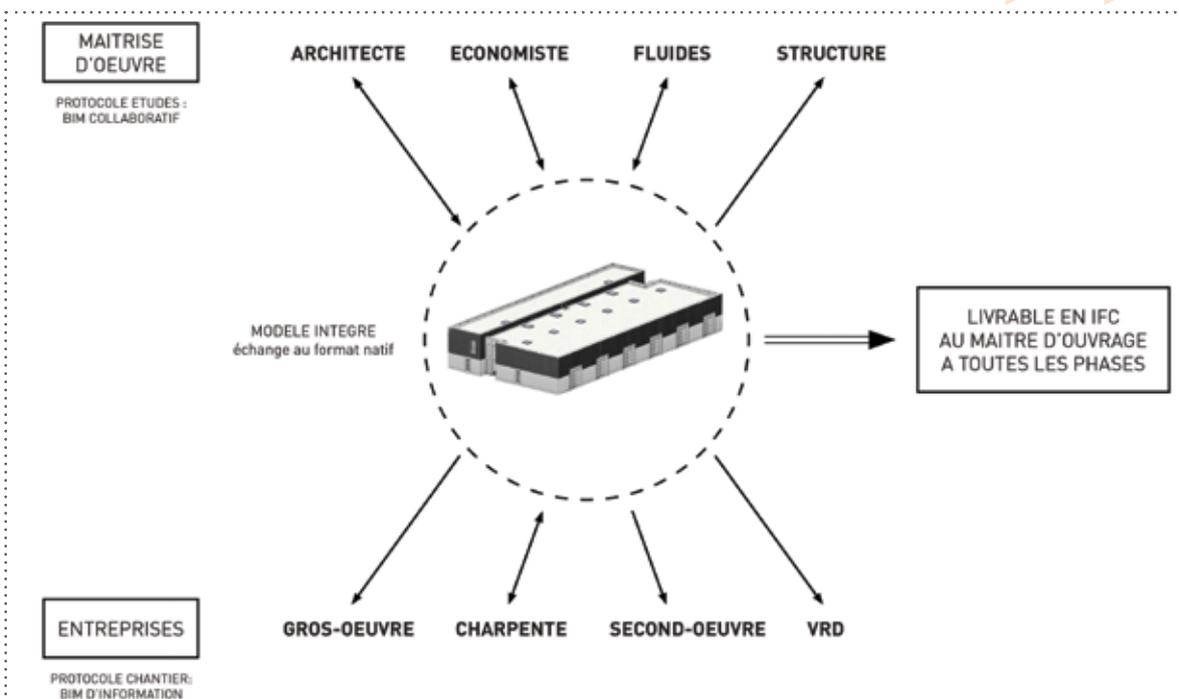
### Fonctionnement

En phase conception, les acteurs ont travaillé ensemble sur des maquettes numériques. Le BIM manager a réalisé la mise en commun et l'assemblage des différents fichiers. A chaque validation de phase, un fichier pdf a été généré pour figer les choses et éviter tout problème de responsabilité.

En phase chantier, la démarche s'est limitée à un BIM d'information pour les entreprises. Seul le bureau d'études de l'entreprise de charpente a alimenté la maquette numérique. Les autres entreprises renseignent quant à elles les informations nécessaires dans des tableaux spécifiques.

**Les entreprises concernées assumeront la responsabilité de remplir et de fournir ces informations structurées afin de leur permettre de les partager pour la mise à jour de la maquette numérique. La maîtrise d'oeuvre sera en charge de l'intégration de ces données au modèle BIM en complément des plans 2D fournis par les entreprises. La fourniture de ce modèle BIM en phase DOE ne saurait remplacer les livrables contractuels exigés dans le cadre du marché.**

**CCTP BIM  
Astus Construction**



Fonctionnement pour toutes les phases (© Philippe Reach et Joseph Rigot, architectes)

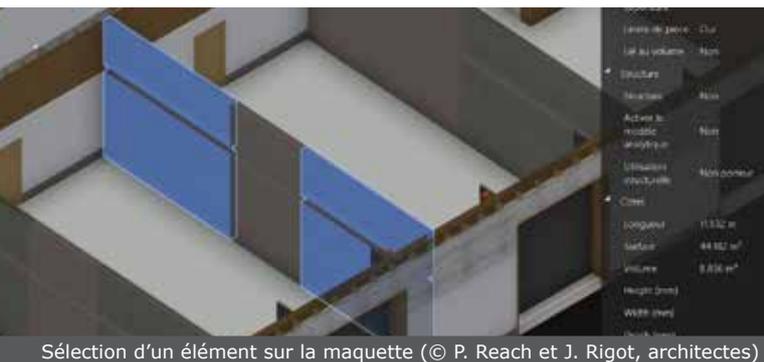
**Pour les entreprises volontaires il sera proposé de mettre en œuvre une démarche collaborative d'échanges et de remarques sur la base de cette maquette.**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT  
Architectes**

La plateforme sur laquelle est hébergée la maquette numérique et les plans associés est mise à la disposition de tous les acteurs, avec des droits de modification pour la maîtrise d'oeuvre et des droits de visualisation pour les autres acteurs.

Dans les faits, ce sont principalement les entreprises de structure (gros oeuvre et charpente) et des lots techniques (CVC et CFO-CFA) qui ont utilisé cette fonction de visualisation.

Cette plateforme permet également la gestion des plans d'exécution de chantier.



Sélection d'un élément sur la maquette (© P. Reach et J. Rigot, architectes)

## Inconvénients

La démarche BIM est très chronophage, surtout quand les acteurs de l'opération sont peu formés. Une difficulté relevée par l'architecte sur cette opération (où le BIM n'était pas valorisée financièrement) est le :

**Manque de formation des bureaux d'études et leur difficulté à passer du temps sur une mission prospective.**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT  
Architectes**

Par ailleurs, les entreprises ont eu des difficultés dans l'appropriation de la maquette par manque de temps et de par la faible attractivité de la plateforme et de sa visionneuse.

A noter que les entreprises de ce chantier sont de petite taille et non structurées pour le BIM. Cependant, aucune difficulté n'a été rencontrée pour l'entreprise qui a son propre bureau d'études intégré.

Lors de l'exploitation patrimoniale, le suivi avec le BIM est lourd car il manque d'interface simple. De plus, il est nécessaire de mettre à jour régulièrement la maquette et que cela nécessite des moyens financiers et humains (formation indispensable).

## Avantages

La démarche BIM, quand elle est bien appréhendée par l'ensemble des acteurs de l'opération, possède de nombreux avantages :

- travail collaboratif autour d'un modèle numérique ;
- informations regroupées à un seul endroit ;
- assurance de travailler sur la dernière version des documents ;
- échanges fluides des données graphiques via le cloud ;
- visualisation de l'ensemble du projet en trois dimensions et synthèse aisée.

**La réalisation est conforme aux études, avec finalement peu d'écart. La simplicité et la sobriété du projet ont contribué à éviter les adaptations de chantier. Nous avons établi un niveau de détail très poussé pour la consultation, ce qui finalement laisse peu de place à l'incertitude en phase chantier.**

**Philippe REACH et Joseph RIGOT  
Architectes**



Représentation du bâtiment sur la maquette numérique (© Philippe Reach et Joseph Rigot, architectes)

# En images



# Pour aller plus loin



*Rapport final du projet Béton d'Argile Environnemental, financé par le Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, novembre 2013.*



*Béton d'argile environnemental : résultats d'un programme de recherche tourné vers l'application, Amàco et CRAterre-AE&CC-ENSAG, 2016*



*Vidéos sur la terre coulée, Chaîne youtube d'amàco, 2017*



*BIM et maquette numérique : guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage, plan transition numérique dans le bâtiment, 2016.*



*Économie & construction : spécial BIM, UNTEC, 2015.*

Retrouver cette bibliographie sur :  
[www.enviroboite.net](http://www.enviroboite.net)

# Réalisation du reportage

Les reportages chantiers de Ville & Aménagement Durable permettent de traiter une opération de construction ou de réhabilitation de bâtiments performants en phase mise en œuvre et de faire des zooms sur des phases spécifiques du chantier (pose des balcons désolidarisés, mise en œuvre de l'étanchéité à l'air, de l'isolation, etc.). Ils sont illustrés par des photos de chantier, des plans et schémas techniques et sont complétés par l'expertise des acteurs du projet.

D'autres reportages seront réalisés par VAD. N'hésitez pas à nous informer de tout projet pouvant faire l'objet d'un reportage.



## ... sur quelles bases ?

Ce reportage chantier réalisé sur la construction de la pépinière d'entreprises LE CAP, située à Saint-Clair-de-la-Tour, a été établi sur la base de visites réalisées entre avril et octobre 2017 et d'échanges avec différents acteurs du projet, en particulier :

- Valériane LAURANSOT, chargée d'opérations, communauté de communes Les Vals du Dauphiné
- Noémie SANCHEZ, responsable maîtrise d'ouvrage publique, communauté de communes Les Vals du Dauphiné
- Stéphane HERVE, directeur général adjoint, communauté de communes Les Vals du Dauphiné
- Gérard VITTE, élu à l'urbanisme et au patrimoine communautaire, communauté de communes Les Vals du Dauphiné
- Philippe REACH, architecte mandataire
- Joseph RIGOT, architecte, Hors les murs
- Arnaud JULIAND, ingénieur conseil environnement, EODD
- Hervé GIRARD, ingénieur conseil environnement, Li Sun Environnement
- Bernard SCHMITT, ingénieur structure, VESSIERE & CIE
- Martin POINTET, architecte-constructeur, BE Terre
- Jean-Marie LETIEC, architecte, CRAtterre
- Vincent ROULLEAU, économiste, BIMING
- Cyril CARMELLE, ingénieur fluides, Akoé
- Benjamin GREMEN, cordonnateur OPC, Sinequanon'
- Charlotte OGNO, contrôleur technique, DEKRA



Nous remercions l'ensemble de ces acteurs pour leurs contributions à ce reportage chantier. Les informations qu'il contient n'engagent en rien les acteurs du projet.

## Un travail d'équipe

Découvrez en image les portraits de quelques uns des acteurs du projet, de gauche à droite et de bas en haut :

- Taillant NEBIHU (NEBIHU)
- Benjamin GREMEN (SINEQUANON')
- Jean-Paul GONIN (GONIN TP)
- Frédéric VIVIER (SNEF)
- Stéphane HERVE (CCVD)
- Gérard VITTE (CCVD)
- Gilles CLEMENT (CLEMENT DECOR)
- Charlotte OGNO (DEKRA)
- Joseph RIGOT (HORS LES MURS ARCHITECTURE)
- Olivier CARRE (MENUISERIE CARRE)
- Jean-Yves GUTTIN (GUTTIN SERRURERIE)
- Philippe GIMZIA (SAUGEY)
- Philippe REACH (REACH ARCHITECTE)
- Christophe GILLET (GT AGENCEMENT)



# Dans la même série



Construction BEPOS du siège de la Communauté de communes du Val de Drôme en Biovallée, Eure (26), 2016

ZOOM sur :

- les façades bois ;
- le confort acoustique.



Réhabilitation passive du siège de la CAPEB, Romans-sur-Isère (26), 2016

ZOOM sur :

- l'ITE en laine de bois sur une structure béton ;
- l'enveloppe.



Extension du siège de la Fédération du BTP de l'Ain, Bourg-en-Bresse (01), 2016

ZOOM sur :

- la qualité d'air intérieur ;
- l'éclairage.



Maison des Forestiers et du Bois en Beaujolais, Monsols (69), 2015

ZOOM sur :

- l'emploi de bois local : le douglas ;
- le système constructif.



Rénovation du centre social Romain Rolland, Fontaine (38), 2013

ZOOM sur :

- le bois au coeur du projet ;
- l'enveloppe.



Construction du groupe scolaire J. Victoire Daubié à énergie positive, Lyon (69), 2013

ZOOM sur :

- l'enveloppe ;
- l'éclairage naturel ;
- les équipements techniques.



Rénovation d'une maison familiale en pisé, La chapelle de la Tour (38), 2013

ZOOM sur la rénovation pisé :

- consolidation des murs en pisé ;
- percée et agrandissement des ouvertures ;
- application de l'enduit Diathonite.

Retrouvez ces reportages chantier sur :

[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)

[enviroboite.net](http://enviroboite.net)

Ville & Aménagement Durable mobilise et anime un réseau de plus de 2 000 professionnels en Auvergne-Rhône-Alpes sur les enjeux du bâtiment et de l'aménagement durable. Son rôle est d'agir et penser les territoires de demain par le retour d'expérience (expertise, retour terrain), le débat, la formation et l'information.

[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)



103 avenue du Maréchal de Saxe  
69423 Lyon Cedex 03

04 72 70 85 59

[contact@ville-amenagement-durable.org](mailto:contact@ville-amenagement-durable.org)

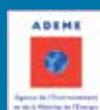
[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)



@VADurable



Avec le soutien de :



Ce programme d'action  
est cofinancé  
par l'Union européenne