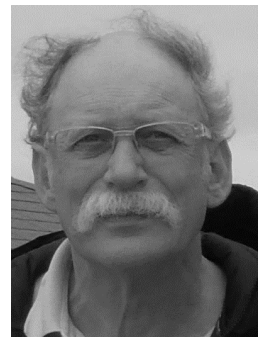


Pôle scientifique au lycée du Forez à Feurs (42)

Dominique MOLARD
Edouard MOLARD
ARCHIPENTE architectes
Montbrison & Paris, France



1. Présentation de l'opération

1.1. Contexte général

Bâti en 1980 pour 600 élèves au départ, l'établissement en a accueilli jusqu'à 900, d'où l'implantation il y a une vingtaine d'années de bâtiments préfabriqués. Il y régnait une chaleur démentielle l'été et la note de chauffage s'avérait très importante en hiver. D'où la nécessité d'engager un chantier d'importance pour créer un nouveau pôle scientifique, les salles de sciences actuelles étant à l'avenir transformées en salles banales d'enseignement.

La solution proposée par Archipente cherche à être aussi compacte que possible, de manière à parfaire son intégration dans le site en dégagant le maximum d'espace aux cours existantes. Mais cette compacité permet aussi d'envisager une économie en termes de coût de construction et en de consommation énergétique, tout en optimisant la préfabrication des modules.

Les circulations sont « évidentes », il est facile de s'y repérer, et éclairées naturellement. Les espaces pédagogiques sont harmonieux, largement irrigués par la lumière naturelle grâce à « un tissage subtil entre lumière et matière » derrière des brise-soleil fixes qui rythment les façades.

Le travail « hors site » permet de livrer des modules préfabriqués en 2 dimensions, avec pose du pare vapeur sur site pour une parfaite étanchéité, laissant la part belle au bois. Le projet est réalisé en 10 mois.

Cerise sur le gâteau, le bâtiment est prévu pour qu'il puisse accueillir une surélévation s'il était nécessaire d'envisager de nouvelles extensions, au lieu de consommer de nouveaux terrains naturels.

1.2. Implantation du bâtiment dans le site :

- Possibilité de créer un étage supplémentaire sur ce bâtiment en RDC qui en l'état, valorise peu le terrain constructible alors que les autres bâtiments du lycée sont plutôt en R+1. On éviterait ainsi au Maître d'Ouvrage de faire l'acquisition du foncier supplémentaire du terrain de motocross et on améliorerait le coefficient de forme du bâtiment.
- Faire en sorte de ne pas donner à percevoir l'aspect « compartimenté » et rigide d'une construction modulaire.
- Créer une épine dorsale reprenant l'image d'un « Livre ouvert sur le Savoir » formant un signal visible depuis la route départementale limitrophe



- Créer des brises soleil « attractifs » en Est et en Ouest en les transformant en un élément support d'exercice artistique pour élèves.



Perspective Concours ©archipente

2. Présentation du projet

Cette opération présente un ensemble bâti et paysager cohérent, et affiche la façade d'un bâtiment public contemporain, devenant un repère urbain qui reflète la politique éducative du Conseil Régional Auvergne Rhône Alpes

Le site permet des perceptions lointaines du bâtiment, notamment depuis la Route Départementale de desserte. Il semble cohérent dans cette entrée de ville, de conserver à la Nature toute sa place. Aussi, l'idée directrice est de réaliser un bâtiment ayant un impact minimum le long de la Route Départementale (emprise seule d'un pignon), et de lui conférer de la valeur en le transformant en un élément d'animation du paysage.

Le parti architectural du bâtiment assure la compacité du projet, compacité qui permet d'envisager une économie en termes de coût de construction et en termes de consommation énergétique. Cette compacité limite en outre les déplacements des élèves et des enseignants, favorise ainsi la surveillance des lieux, réduit le budget compte tenu de la diminution de la surface de parois isolées et son empreinte environnementale.

Néanmoins, cette compacité pourrait être améliorée si le bâtiment se développait en R+1 pour un éventuel agrandissement du pôle enseignement du lycée. Aussi, nous concevons son implantation et le système constructif porteur pour permettre d'ajouter à terme, un étage supplémentaire, l'emprise des escaliers d'accès respectant l'emprise au sol proposée à cette étape, donc les règles de recul fixées au PLU. Aussi, les locaux pour les CTA réalisés en RDC correspondent exactement au gabarit d'éventuels escaliers permettant de mener aux étages, tout en tenant compte des dimensions des centrales CTA et de leur accès latéral aisé pour la maintenance. Ces espaces CTA modulaires seraient déplacés au niveau supérieur, tout en étant doublés pour tenir compte de l'augmentation de l'effectif des élèves. Nous livrons ainsi avec le bâtiment une maquette BIM et un cahier des charges qui permet au futur concepteur de bénéficier de l'intégralité des informations nécessaires à la surélévation, tout en respectant les règles de mise en concurrence des marchés publics.



Vue du nouveau bâtiment depuis la campagne environnante ©archipente

Les espaces pédagogiques sont harmonieux, les circulations « évidentes » et claires où il est facile de se repérer. Elles sont éclairées naturellement, grâce à des puits de lumières, et à des portes vitrées qui donnent sur l'extérieur aux extrémités, en fond de perspective. La lisibilité des espaces d'enseignement est simple : deux ailes distinctes accueillant les salles d'enseignement, au Nord (Physique Chimie) et au Sud (SVT/ST2S), avec en articulation au centre de gravité, les locaux sanitaires et techniques (VDI-Maintenance).

Ces lieux sont tous largement irrigués par la lumière naturelle grâce à « un tissage subtil entre lumière et matière » derrière des brise-soleil fixes qui rythment les façades. L'ambiance intérieure est conviviale, le bois habillant la partie basse des parois et le plafond des circulations, apportant chaleur et respect pour le bâtiment. Des éclairages complémentaires par tubes de lumière naturelle depuis la toiture (type lumiducs) apportent un complément d'éclairage naturel dans les fonds des salles de classe et TP et dans les circulations. Ils permettent un bon facteur d'uniformité de la lumière naturelle dans les espaces de travail, évitent les problèmes de surchauffe estivale, limitent les déperditions et le nettoyage de baies vitrées complémentaires.

La structure préfabriquée en bois tramée sur 1.20m, sans murs de refend, permet la flexibilité des espaces, autorisant une redistribution des salles en fonction des évolutions du programme pédagogique, à moindre frais et avec beaucoup de souplesse.

L'usage de matériau composite minéral en façade non abritée assure une bonne pérennité du bâtiment. Des coursives en façade Est et Ouest facilitent l'entretien et la maintenance des vitrages des menuiseries bois-aluminium et des volets roulants aluminium. Les brises soleil fixes en aluminium animent les façades au gré des heures de la journée tout en maîtrisant l'ensoleillement et en protégeant la façade des intempéries. Ces brises soleil sont proposés pour réaliser par les élèves, soit des tableaux figuratifs ou abstrait, soit des harmonies de couleurs, soit des collages de film adhésif (dans l'esprit des œuvres du photographe JR).

Cette construction favorise l'utilisation de la filière bois sans contrainte d'entretien, le bois étant positionné essentiellement en structure des murs, en plancher et en charpente (0.191m³ de bois par m² de plancher). Des parements minéraux jouent le rôle de protection face aux éléments naturels. Le bois au contraire, dans une « éco-logique », riche et source d'inspiration, permet de réaliser une enveloppe légère protégée des intempéries lui évitant tout grisaillement.

Vue depuis la cour de récréation ©Pauline CHOVET

Les différentes phases des études ont duré 17 semaines après choix du lauréat du concours. Elles ont été planifiées en fonction des dates de la Commission de sécurité et de Commission d'Accessibilité. En conséquence, le délai d'instruction du permis de construire a été réduit au minimum pour lancer les travaux dès son obtention.

Le temps de fabrication « Hors Site » et le temps de pose sur chantier sont estimés lors des études à 21 semaines jusqu'aux OPR.

En exécution, le délai global de chantier final est de 10 mois dont 3 mois pour réalisation de l'infrastructure terrassements et maçonnerie.



3. L'organisation interne du projet



Articulation du projet et Fonctionnalité des locaux par rapport aux utilisateurs

L'organisation spatiale privilégie la lisibilité des espaces et la fluidité des circulations. Dans cette organisation, l'emprise au sol utilise au mieux le gabarit disponible selon les règles du PLU le long de la clôture du lycée.

L'entrée principale du nouveau bâtiment se fait dans sa partie centrale, afin de limiter les circulations des élèves à l'intérieur de l'établissement. Face à cette entrée principale prennent place les locaux VDI, entretien et sanitaires

Le pôle d'enseignement scientifique est organisé selon le programme, avec le secteur SVT/ST2S au Sud et le secteur Physique Chimie au Nord, avec la répartition Laboratoires/salle de cours selon l'organigramme fourni.



Salle de technologie ©Pauline CHOVET

Les circulations permettent un repérage très facile dans l'établissement, sans recoin et impasse. L'espace est spacieux (largeur minimale de 2.50m avec de nombreuses « respirations »), les portes d'entrée aux salles de cours étant situées en creux derrière la trame de placards, créant un élargissement devant chaque entrée et une privatisation de cet espace. Elles sont éclairées naturellement par les puits de lumière type lumiducs.



Circulation avec lumiducs ©archipente

4. Principes généraux de construction

4.1. Fondations

Les fondations sont de type superficiel avec semelles filantes. Un réseau bi-directionnel de longrines de solidarisation est réalisé pour les raisons anti sismique.

4.2. Structure bois

Celle-ci est basée sur la livraison de modules réalisés « Hors site »

Structure porteuse basée sur une trame de 1.20m : Poteaux de 145*140mm intégrés au mur manteau, un panneau de Placoplâtre 18mm ou OSB 16mm, un pare vapeur parfaitement continu pour assurer l'étanchéité à l'air, une isolation de 145mm en panneau semi rigide de fibres biosourcées dans l'ossature bois, un OSB4 de contreventement 12mm+ Isolation Thermique Extérieure de 60mm, un pare pluie, un contre litalage de 27mm formant lame d'air de ventilation, un bardage bois protégé des intempéries par la course d'entretien pour éviter tout grisaillement.

Les isolants biosourcés peuvent être en panneaux de laine de bois de la marque Isonat qui sont fabriqués à Roanne (à 50 km de Feurs) avec les sous-produits des scieries locales.

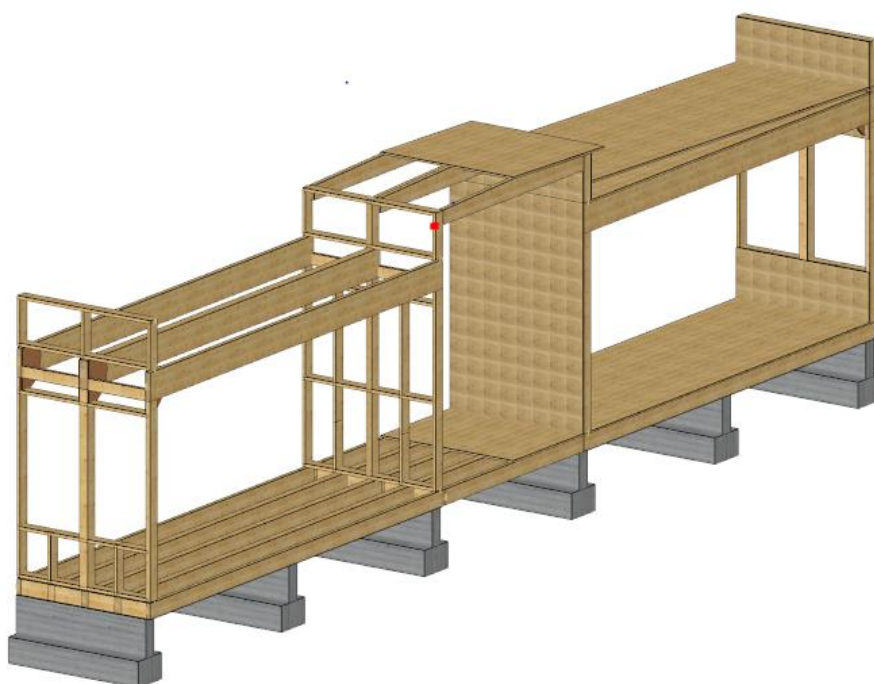
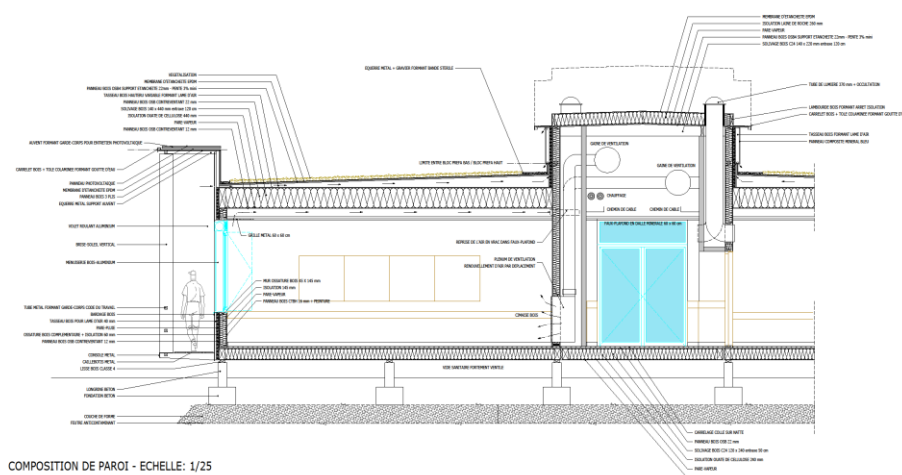
4.3. Structure Plancher

Sur circulation : poutres en BEQ-C24 de 120 d'épaisseur entraxe 0.50, hauteur : 240mm -Contreventement horizontal par OSB de 22mm -Pare vapeur, Isolation thermique ouate de cellulose + protection en sous face par OSB 12mm en sous face

4.4. Structure Charpente

Sur circulation : poutres en BEQ-C24 de 140 d'épaisseurs entraxe 1.20m, hauteur : 220mm Contreventement horizontal par platelage rainé-crêté de 27mm Isolation thermique panneau semi rigide laine de bois support d'étanchéité EPDM + protection pour zone circulaire. Faux plafond entre poutres assurant la correction acoustique et masquant les gaines

Sur salles de classes : poutres en BLC de 140 d'épaisseur, hauteur statique fonction de la portée : BLC -GL24h : 440mm jusqu'à 7.40m - Contreventement horizontal par platelage rainé-crêté de 27mm, - un pare vapeur, - 440mm de fibres de cellulose, face supérieure du caisson par platelage rainé-crêté de 27mm un pare pluie. Création d'un vide de ventilation sous platelage support de l'étanchéité EPDM+ Végétalisation - Faux plafond entre poutres assurant la correction acoustique



Stabilité Horizontale : Les poteaux et les poutres du plancher et du plafond sont encastres par un assemblage en contreplaqué hêtre pour former un cadre stable tous les 1.20m. Ces goussets contreplaqué restent partiellement visibles en partie supérieure. Pour la stabilité horizontale, des contreventements bois sont prévus dans les cloisons de part et d'autre des circulations et intégrés dans les murs pleins en façade.

Quantité de bois par trame de bâtiment de 2.40m *18.05 large

BEQ : 3.98m³

BLC24h : 1.86m³

Platelage ou OSB : 2.434m³

Soit un total de 8.274m³ pour 43.32m² soit un ratio de 0.191m³/m²

Coursive et garde-corps permanent toiture pour maintenance

Réalisation d'une double peau formant coursive d'entretien pour le nettoyage des vitrages sur consoles métallique, accueillant des brise soleils en panneau composite minéral. La rehausse de cette double peau de 70cm permet de réaliser le garde-corps de sécurité pour l'entretien des toitures (réglementation ERP pour garde-corps dont l'épaisseur est supérieure à 60cm plus contraignante que la réglementation Code du travail). Pose possible de panneaux photovoltaïques de taille standard du commerce, d'une surface de l'ordre de 186m² en périphérie de toiture.

5. Proposition de construction hors site en 3D

5.1. Fabrication à l'atelier des modules 3D

Les modules tridimensionnels sont fabriqués dans un espace chauffé à l'abri des intempéries, jusqu'aux finitions et même parfois ils incorporent le mobilier pour certains types de programmes (hôtellerie, internat, logement).

Habituellement, les modules 3D sont réalisés sur une chaîne de d'assemblage de panneau 2D fabriqués au préalable sur une table de montage à l'horizontal. Les modules doivent comporter une paroi minimum dans tous les plans afin d'être indéformables, ce qui signifie la présence de « murs de refend » qui limitent l'évolutivité du bâtiment dans le temps. Pour créer « un tube » facilement recloisonnable permettant une évolutivité du bâtiment, les parois verticales et les parois horizontales doivent être encastrées, ce qui nécessite des moyens d'assemblage complexes et denses.

Pour ce projet, nous proposons de faire une évolution à cette pratique en réalisant les modules directement en trois dimensions, permettant de gérer ces efforts d'encastrement de manière diffuse, donc de les limiter et de réduire leur taille et leur technicité. Cette technique a l'avantage en outre de permettre de créer une barrière étanche périphérique parfaitement continue sur les quatre faces du volume en assurant la continuité du film, améliorant encore l'étanchéité à l'air du bâtiment et diminuant ainsi ses besoins thermiques.

Sont ainsi préparés sur cette chaîne de montage :

- 73 modules 3D de salles de classes de 7.65m *2.40
- 36 modules 3D pour les caissons de toiture sur circulation de 2.40*4.00
- 36 plateformes 2D pour le plancher de la circulation de 2.40*4.00

Cette décomposition est faite sur la base d'un gabarit routier « standard » de 2.50m de large.

Elle devait être validée avec l'entreprise de fabrication lorsqu'elle a été choisie, en fonction des conditions de transport (éventuellement réalisation de modules de 3.60m de largeur si les conditions de transport entre l'atelier et le chantier le permettent).

Phase 1 :

Réalisation de chaque module 3D sur la base d'une structure bois composée de bois résineux BEQ+BLC et de panneaux OSB.

Les murs et parois incorporent les isolants biosourcés et les films « barrière » en continu pour réaliser le module 3D de base. Des panneaux 2D complémentaires assurent la fonction de plancher de la circulation centrale reposant sur des liernes.

Les caissons de toiture 3D sur la circulation centrale sont fabriqués dans le même esprit, mais sans le panneau horizontal du plancher qui est remplacé par des entretoises ponctuelles pour le transport.



Phase 2 :

Equipped des modules 3D avec les menuiseries extérieures, l'étanchéité à l'eau de la toiture remontant sur les costières, les revêtements de sols, les éléments techniques, les cloisons et finitions : peintures, les sols en carrelage, l'ossature du faux-plafond, le tableau triptyque.

5.2. Pose des Modules 3D sur le chantier**Phase 3 :**

Réalisation des longrines au préalable sur le site (6 à 8 semaines) durant la fabrication des modules, et pose des premiers modules 3D sur ces longrines.

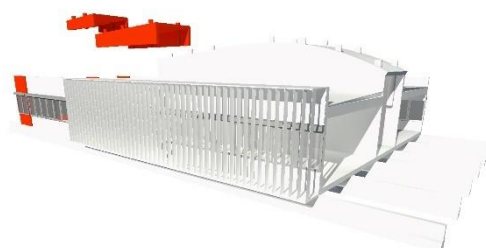
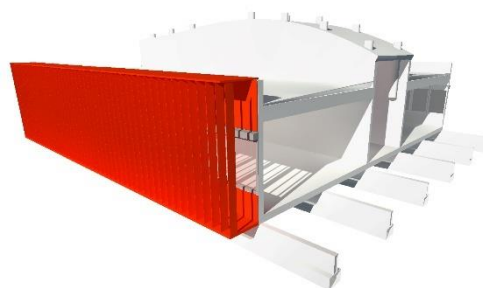
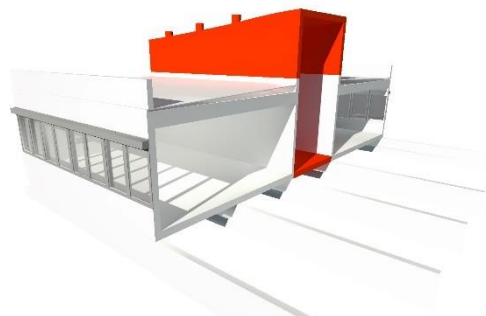
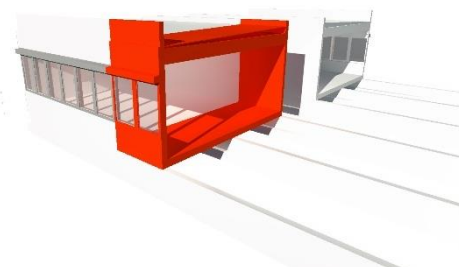
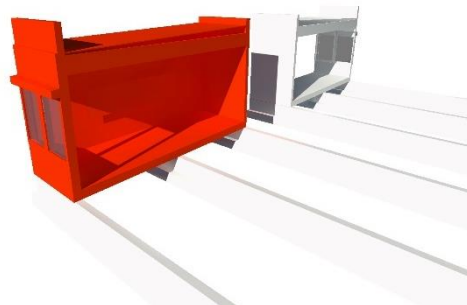
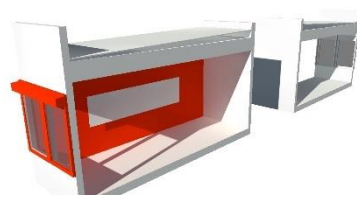
Phase 4 :

Poursuite de la pose des modules des classes, et à l'avancement, des planchers des circulations et des modules de la toiture de la circulation. Le rythme de pose des modules est de l'ordre de 4 à 6 modules par jour, ce qui représente globalement une durée de pose de 5 à 6.5 semaines pour les 110 modules.

Phase 5 : Pose des consoles hautes et basses pour coursive d'entretien, de l'isolation extérieure complémentaire et de l'habillage de la façade...

et ainsi de suite jusqu'au dernier module.

En parallèle, réalisation des dernières finitions et branchements, raccordement des lumiducs entre module de toiture et cloison sur circulation, raccordement de l'installation de chauffage et de VMC, sur une durée de l'ordre de 6 semaines



Globalement, la phase « Réalisation Hors-Site + pose sur chantier » était envisageable en 17 semaines avant OPR qui sont réduites en général au strict minimum, (des pré-OPR sont envisageables en Atelier).

6. Choix de la préfabrication en 2D ou en 3D

6.1. Analyse des deux possibilités :

La préfabrication des modules 3D présente les inconvénients suivants :

- le gabarit de transport en hauteur ne permettait pas de poser l'isolation et l'étanchéité en atelier et devait être faite sur chantier, l'étanchéité provisoire étant réalisée par le pare vapeur.
- le bureau de contrôle n'acceptait pas la réalisation de la chape en atelier avec des bandes de clavetage sur le chantier. L'humidité de la chape était dans tous les cas à évacuer en phase chantier, donc devenait « le fil rouge » de la mise en œuvre.
- La gestion de l'étanchéité à l'air par le pare vapeur nécessitait des zones d'accès pour créer la continuité entre modules.
- Le montant du lot préfabriqué en 3D représentait un surcout de 86k€, représentant 5% sur le lot « Construction Hors site ».

En phase de négociation, l'entreprise Lignatech présente un planning compatible avec le planning initial. Cela tient au fait que le chantier n'est pas très éloigné des ateliers de chaque cotraitant, et que les temps de trajet pour se rendre sur le site ne sont pas prépondérants.

Face à ces difficultés de mise en œuvre et arguments d'organisation des entreprises, le Maître d'Ouvrage prend l'option de retenir la variante de l'entreprise avec la préfabrication en 2D

7. ➤ □ Enveloppe financière

Le coût des travaux nous amène à la décomposition suivante :

Nature des ouvrages	Montant en Euros HT
- Infrastructure Béton+Terrassements	146 000.00 € HT
- Construction Hors Site	1 686 000.00 € HT
- Finitions plâtrerie peinture	132 000.00 € HT
- Finitions carrelage	140 000.00 € HT
- Paillasse	110 000.00 € HT
- Finitions Lots Techniques HT	450 000.00 €
- Terrassements- VRD -Espaces verts	150 000.00 € HT

TOTAL en Euros Hors Taxes en valeur Mo (Janvier 2019): 2 814 000.00 € HT

Ratio Cout/Surfaces

Surface habitable SHAB : 1478m²

SHON : 1616m² soit 109% par rapport à la SHAB

Ratio au m² : 1903€/m² HT pour la Shab ou 1740€/m² HT pour la SHON