



REHABILITATION ENERGETIQUE DU LYCEE PAUL LANGEVIN



Accord-cadre Etat-Région-ADEME 2007-2013



Commission d'évaluation : Conception du 28/03/2019

Maître d'Ouvrage

Architecte

BE Technique/QEB

AMO QEB

**REGION PROVENCE-
ALPES-COTE D'AZUR**

BERTHIER - FRASSANITO

**BETEK INGÉNIERIE
NEXT ENVIRONNEMENT**

INDDIGO

Contexte

- Le lycée Paul Langevin est un établissement d'enseignement général et technique
- Il date de 1963 et compte environ 1400 élèves
- Cette 2^{ème} opération fait suite aux travaux d'extension et de rénovation livrés en 2016, BDM bronze :
 - nouveau bâtiment d'accueil,
 - rénovation de la demi pension,
 - réaménagement du parvis et de la cour yc paysager.



La cour du lycée Paul Langevin lors de la première rentrée scolaire en 1962



L'établissement



Vue aérienne



- ❖ Enseignement (Externat / Sciences)
- ◆ Ateliers
- ⊗ Demi-pension
- ⊞ Administration / logements de fonction

Rénovation énergétique de l'externat



Façade Sud



Façade Nord

- Bâtiment en R+3 : CDI, salles de professeurs en RdC, salles d'enseignement général et scientifique dans les étages.
- Bâtiment volumétriquement simple et favorablement orienté Nord/Sud, mais largement vitré.
- Le lycée se situe au bord de l'étang de Berre. Les salles de classes situées au R+2 et R+3 du bâtiment ont une vue remarquable sur l'étang.

Enjeux durables du projet



Enjeu Territoire

- Poursuivre l'embellissement du lycée par le biais de la rénovation énergétique.
- Contraintes fortes du plan d'installation de chantier et sur les travaux menés sur la façade sud (proche de la cour/ nouveaux espaces plantées)



Enjeu Matériaux

- Encourager le recours aux matériaux biosourcés



Enjeu Energie

- Amélioration de la performance énergétique et environnementale du bâtiment : BBC Rénovation : Cepref - 40%
- Une consommation électrique ramenée à 20 KWh énergie finale/m2 SHON, tous postes confondus.



Enjeu Confort et santé

- Améliorer le confort en mi saison et la qualité de l'air
- Améliorer l'acoustique
- Poursuivre l'amélioration de la qualité des espaces extérieurs, des transitions dehors/dedans

Le projet dans son territoire



Vue satellite



Situé au nord du centre ville de Martigues, entre l'avenue du Docteur Fleming et l'étang de Berre

Le terrain et son voisinage



Entrée du Personnel



Vue des nouveaux espaces verts de la cour

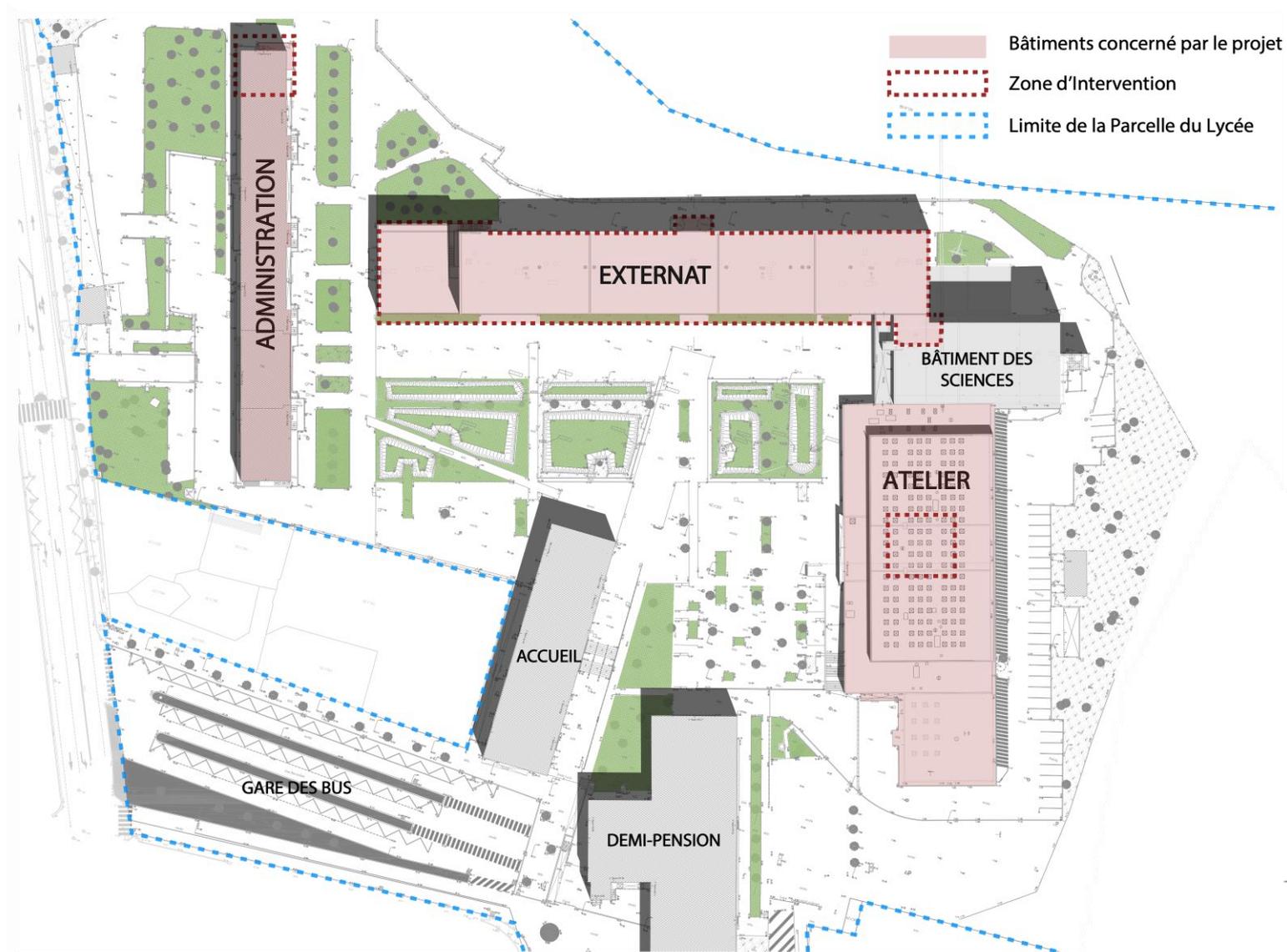


Aire de stationnement des bus

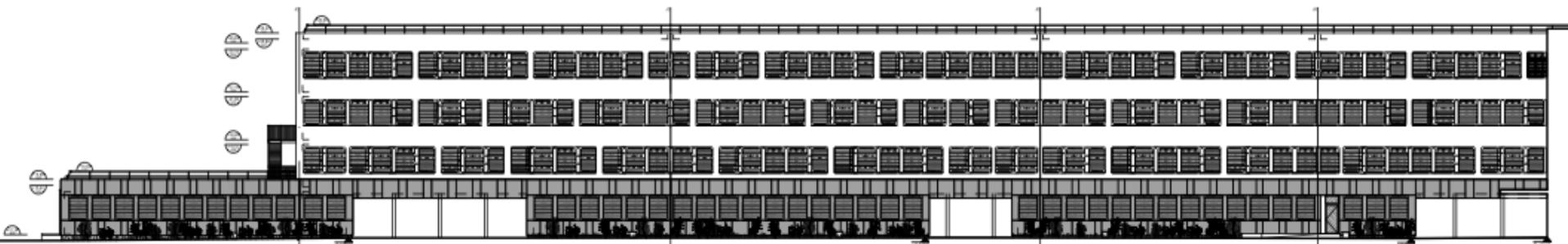


Pavillon d'entrée et porte principale

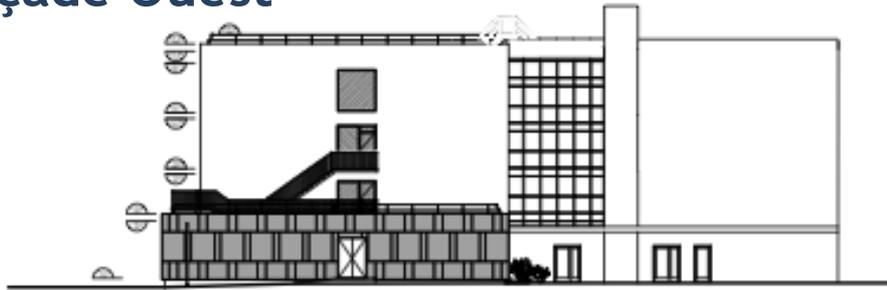
Plan de masse et d'intervention



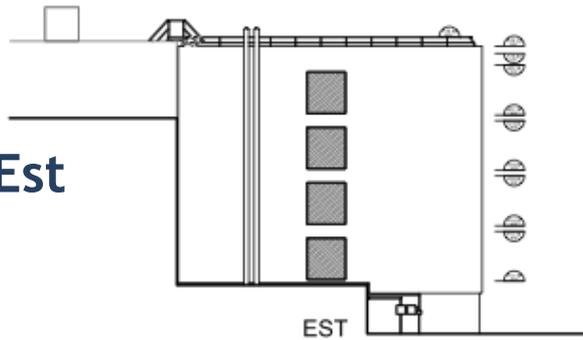
Façade Sud



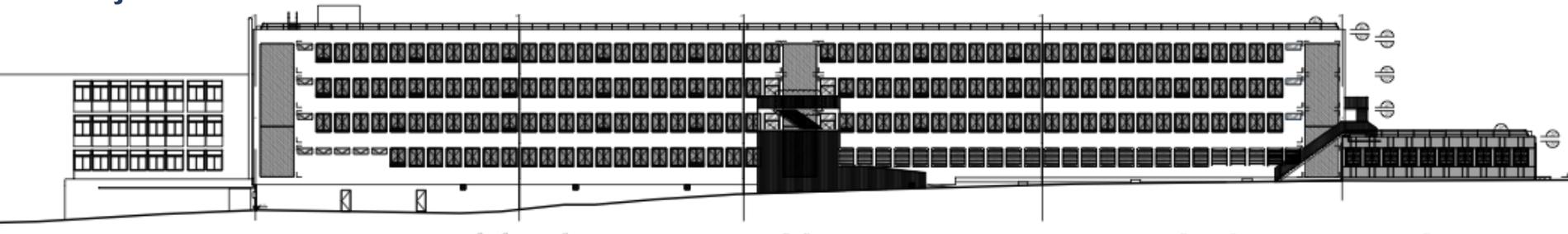
Façade Ouest



Façade Est

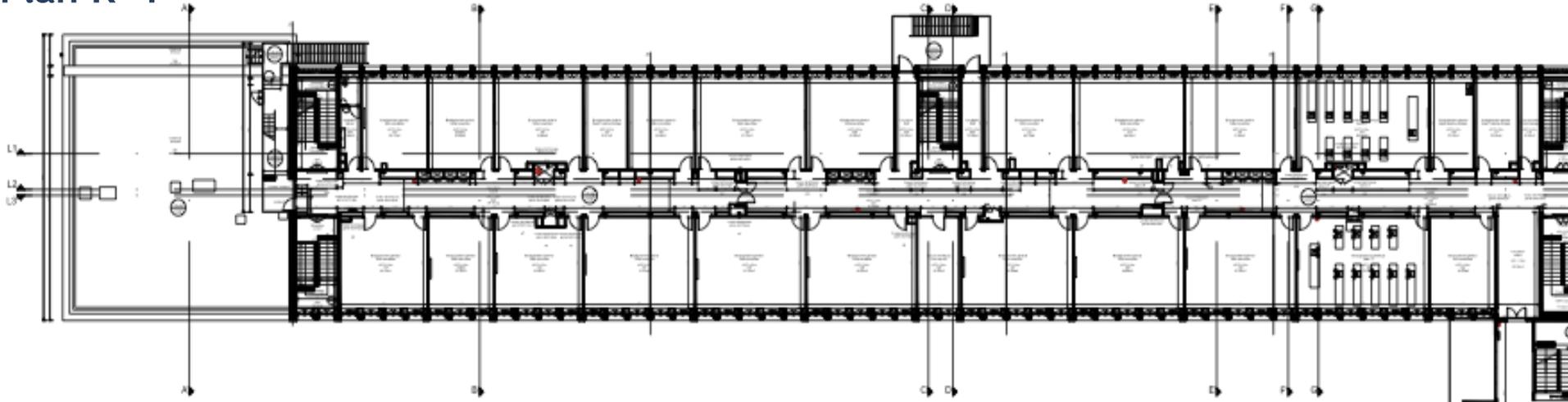


Façade Nord

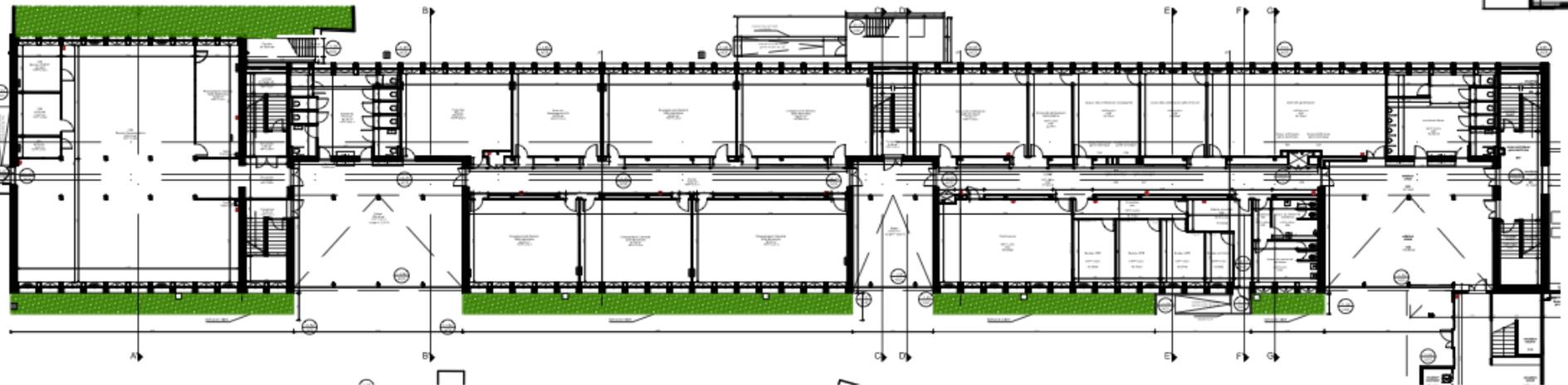


Plan de niveaux

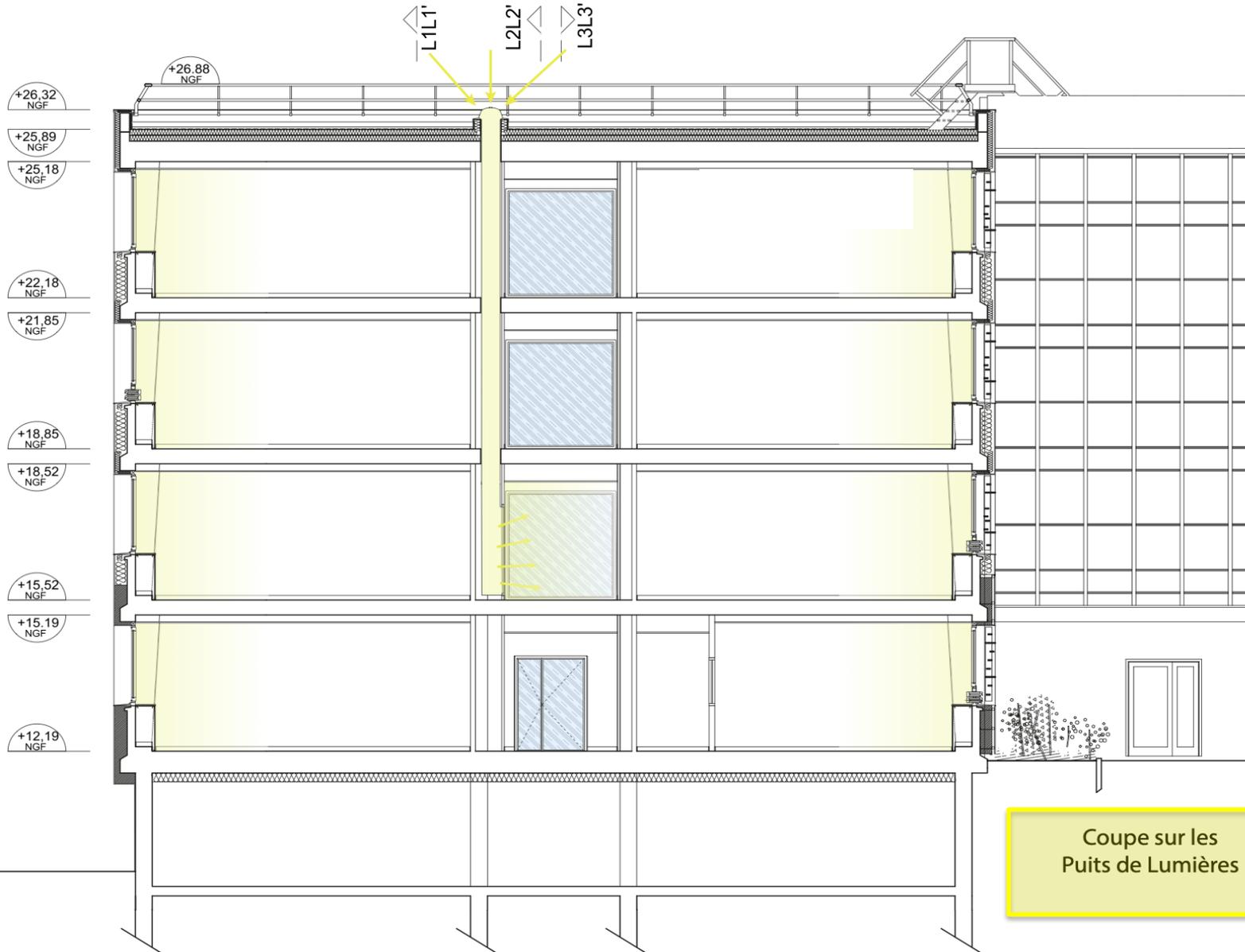
Plan R+1



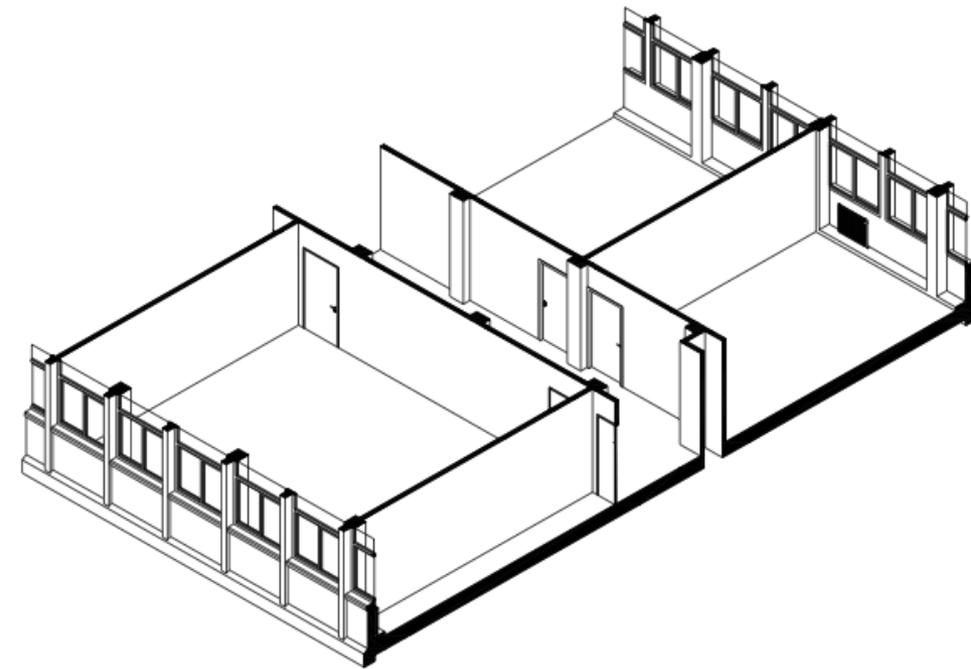
Plan RDC



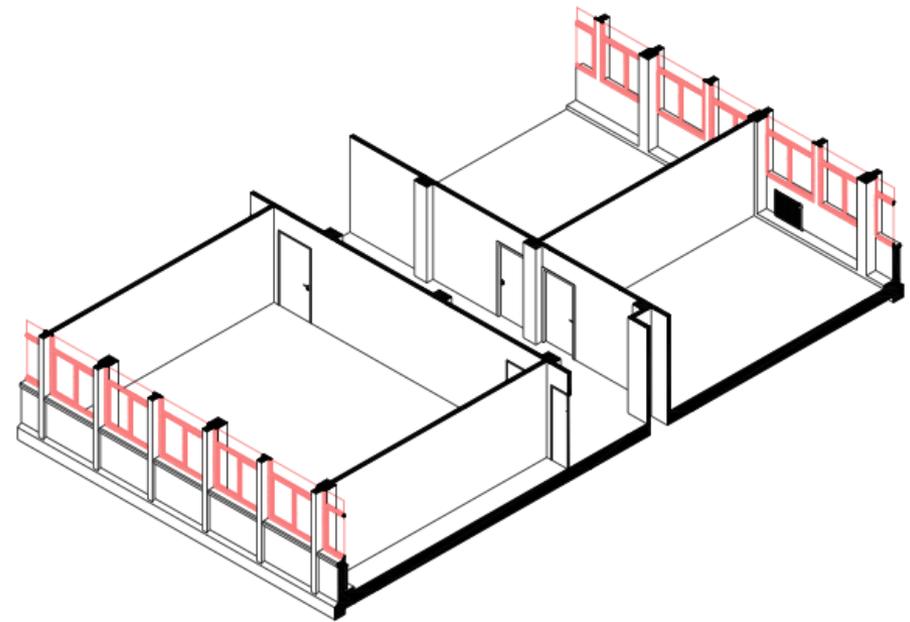
Coupes



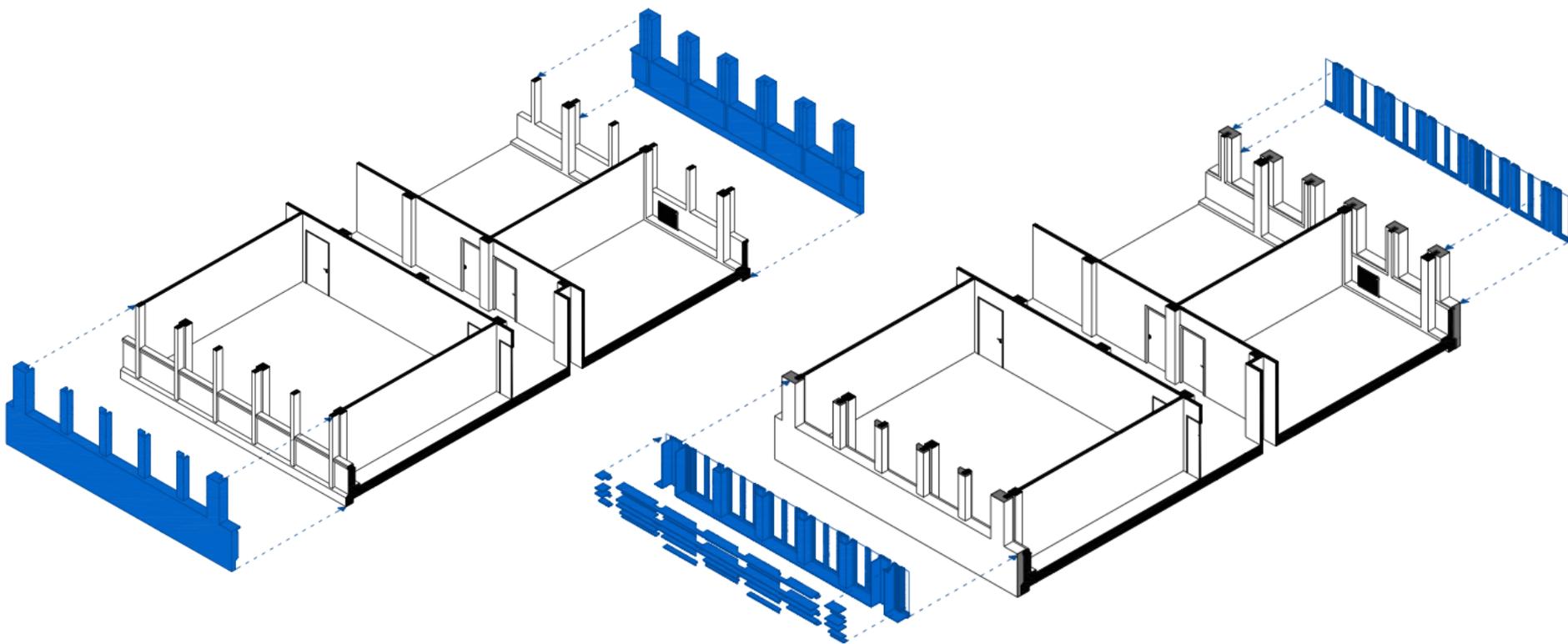
Axonométrie - Plan d'intervention sur le bâtiment



Etat des lieux

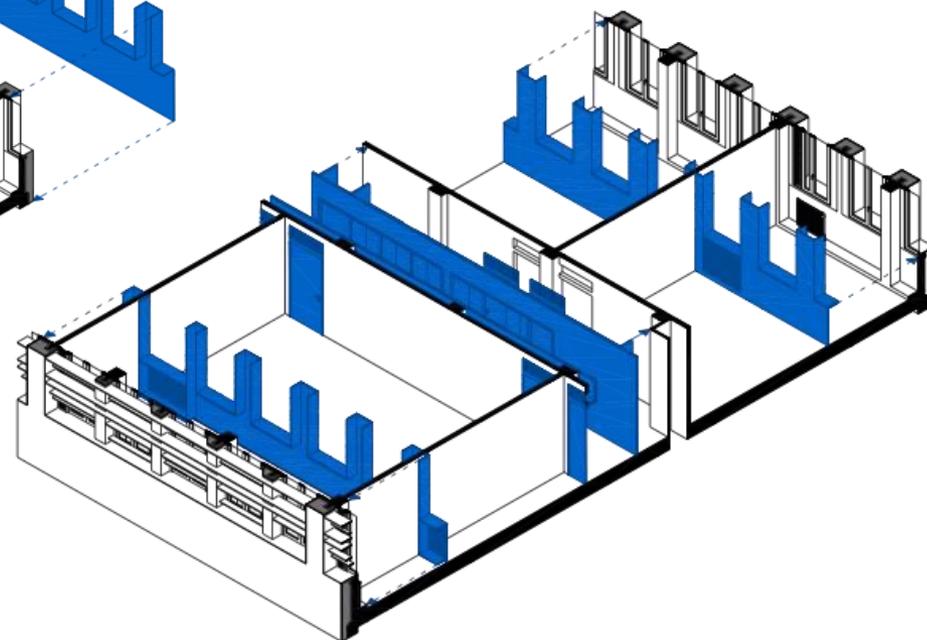
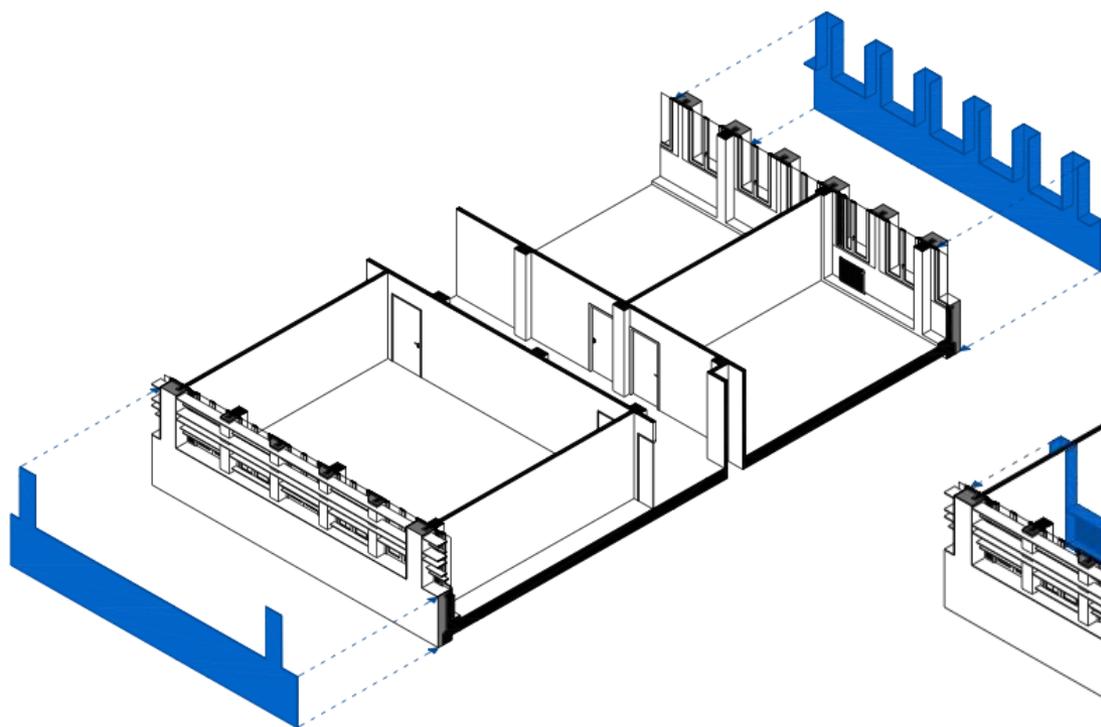


Dépose des Menuiseries Extérieures



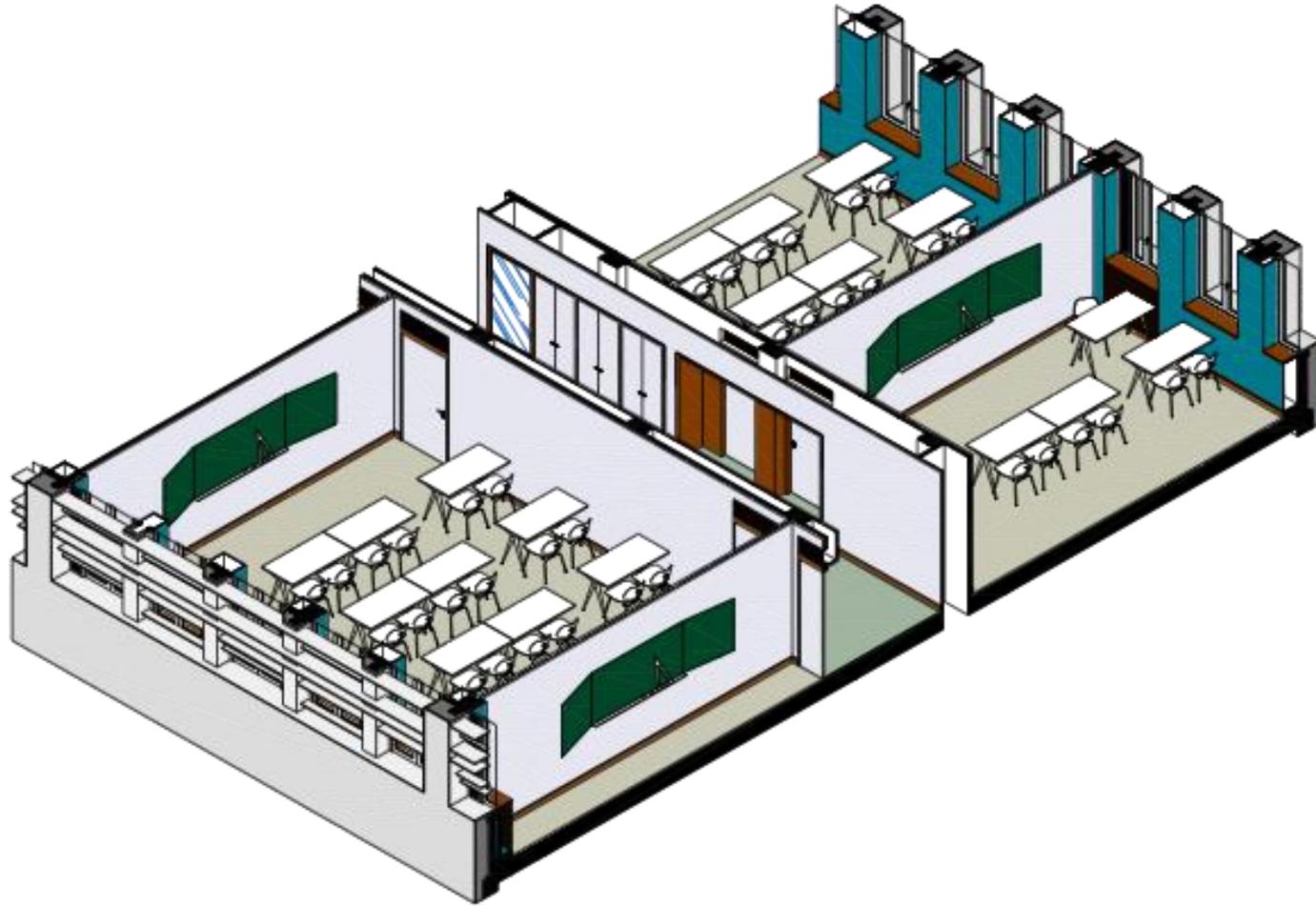
Isolation thermique par l'extérieur (liège hors RDC)

Installation des menuiseries extérieures et des brise-soleils fixes (alu ou alu/bois en variante)



Enduit à la chaux (hors RDC)

Requalification des espaces pédagogiques et de desserte



Formalisation schématique des différentes interventions

Fiche d'identité

Typologie

- **Enseignement**

Surface

- **8000 m² SHON**

Altitude

- **50m**

Zone clim.

- **H3**

Classement
bruit

- **BR 2**
- **CATEGORIE CE1**

Ubat
(W/m².K)

- **Projet : 0,5**
- **Initial : 2,2**

Consommation
d'énergie
primaire

- BBC Rénovation :
Cepref-42%
- CEP : 45 kWhEP/m².an
- CEPRéf : 78
kWhEP/m².an
- CEPinit : 132
kWhEP/m².an (**gain 66%**)

Production
locale
d'électricité

- **Non.** Toutefois, PV déjà
présent sur la demi - pension

Planning travaux
Délai

- **Début** : juillet 2019
- **Fin** : août 2021

Budget
prévisionnel

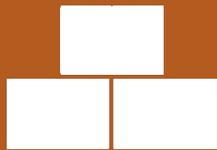
- **5,1 M€** de travaux HT, y
compris VRD)
- 382 150 € d'honoraires
MOE

Le projet au travers des thèmes BDM

GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU

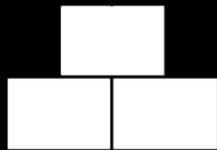


CONFORT ET SANTE

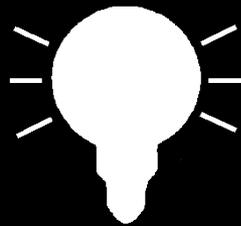
GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU



CONFORT ET SANTE

Gestion de projet

- Intégration de la démarche BDM dès la phase de programmation
- Concertation avec les usagers et l'agent technique basé sur le lycée (retour des problématiques fonctionnelles, d'inconfort thermique, de phasage...)
- Mise en conformité de l'accessibilité
- Etude de différents scénarios pour améliorer les besoins en chauffage, le compromis confort mi saison et visuel, étude de matériaux de moindre impact, réhausse d'acrotères pour éviter le PUR...

| | | Réchauffement climatique kg CO ₂ eq.m ² | EP non renouvelable MJ.m ² | Energie primaire renouvelable MJ.m ² |
|------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Isolation façade | Panneaux de verre cellulaire | 51 | 670 | 335 |
| | Laine de roche | 23 | 404 | 17 |
| | Panneau de liège expansé | 23 | 11 | 22 |
| | Fibre de bois | 34 | 447 | 224 |
| | Fibre de coton | 8 | 110 | 7 |
| | Béton de chanvre | 145 | 2 080 | 6 410 |
| | Laine de verre | 98 | 1 710 | 91 |

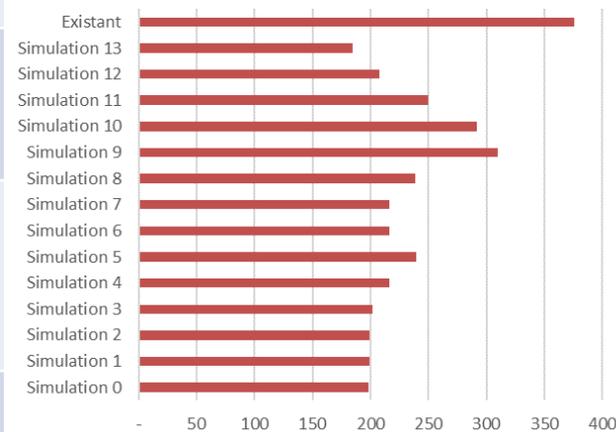
Tableau 2 : Evaluation de l'impact environnemental sur la durée de vie du produit en fonction de la nature d'isolant (utilisation façade)

Photo des différents scénarios étudiés

Gestion de projet

| | Base S 0 | S 1 | S 2 | S 3 | S 4 | S 5 | S 6 | S 7 | S 8 | S 9 | S 10 | S 11 | S 12 | S 13 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Isolation mur : R= 5 m ² .K/W | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Isolation toiture : R= 7,5 m ² .K/W | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | |
| Isolation toiture : R= 6.8 m ² .K/W | | | | | | | | | | | | | X | X |
| Débit de ventilation 25m ³ /h par personne durant la période d'occupation | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Vitrages taille 1 : 1,45m*1,7m Nord/Sud | X | X | | | | | | | | | | | | |
| Vitrages taille 2 : 1m*1,7m Nord/Sud | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Changement couleur façade : noir => blanc | | X | | | | | | | | | | | | |
| Présence de brises soleil façade Sud | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Eclairage 7W/m ² | X | X | X | X | | | | | | | | | | |
| Eclairage 2,5W/m ² | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 100% de ventilation 24/24h 5/7 jours | | | | | | X | | | | | | | | |
| Ouverture des fenêtres (+2Vol/h) période mai-juin et 1 ^{ère} semaine de septembre | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 100% de ventilation 24/24h 5/7jours période mai-juin et 1 ^{ère} semaine de septembre | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X |
| Occupation réduite (suppression des heures 7h-8h et 18h-20h) | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| MAJ APS : couleur façade : Noir RDC / Blanc étage et façade Nord + puissance éclairage basé sur étude : 2,33 W/m ² + Uw = 1,7 W/m ² .K | | | | | | | | | | | | | X | X |
| Décomposition salles de cours | | | | | | | | | | | | | X | X |
| Modification APD : •Taille de vitrage : 1m20 *1m70 pour les étages / 1m40 *1m70 pour le RDC ; •Puissance dissipée affinée sur la salle informatique (20W/personnes) ; •Sectorisation bureau / salle de travail ; •Modification des débits de ventilation conforme au dimensionnement CVC, •Scénario d'occupation affinée (max 36h). | | | | | | | | | | | | | X | X |
| Modification PRO 1 : •Intégration des grilles de ventilation horizontale, •Modification du choix d'isolant (laine de roche au lieu de polyuréthane) et donc de la résistance thermique de la toiture (R=6.84 m ² .K/W au lieu de 7.7 en APD), •Montée en température progressive a été simulée, •Uw = 1.2 W/m ² .K pour les vitrages sans grille / Uw = 1.4W/m ² .K pour les vitrages avec grille, •Ajout salle informatique à 15 postes/salles. | | | | | | | | | | | | | X | X |
| Modification PRO 2 : •Des vitrages de 1m40 de large *1m70 ht (En phase APD, les vitrages étaient à 1m20*1m70 ht), •De l'isolation supplémentaire pour affiner les choix architecturaux de la façade Nord, •De l'ajout de 10 postes informatiques dans les salles du R+3, •Modification du scénario d'occupation des salles informatiques (inoccupation du 20/06 au 10/09) | | | | | | | | | | | | | | X |

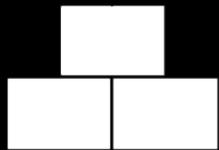
Besoin de chauffage en MWh



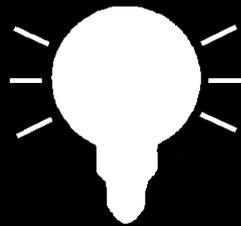
GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU



CONFORT ET SANTE

Social et économie

Contribution à l'économie locale

- Incitation au recours aux filières locales
- Main d'œuvre en réinsertion en phase chantier à hauteur de 10%

Etude des bénéfices durables : impact Carbone

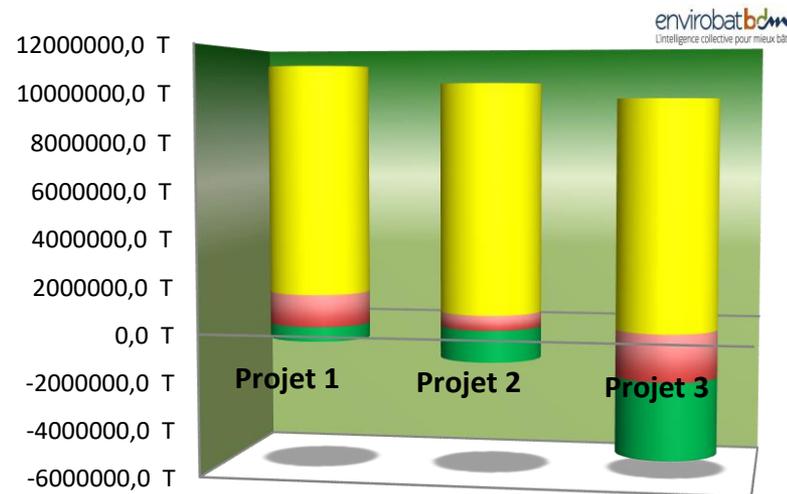
3 scénarii ont été étudiés en différenciant

- La nature de l'isolation,
- Le % de matériaux bio sourcés sur le poste isolation,
- L'éclairage : mode de gestion et type d'éclairage,
- La réfection des réseaux existants (actuellement 3 cm d'isolation en laine de roche dans le VS),
- La mise en place de brises soleil,
- L'utilisation d'éco-matériaux pour les faux-plafond.

Social et économie

| Différences | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La nature de l'isolation | Panneaux de Fibres de bois | Panneaux de liège expansés | Panneaux de fibres de bois |
| % de matériaux bio sourcés sur le poste isolation | 30% | 80% de la façade 45% de l'isolant totale (toiture, façade, sous-face) | 100% |
| L'éclairage : mode de gestion et type d'éclairage | Sans séparation dans les classes et circulation sur interrupteur. | Gestion différenciée zone de 1 et 2 ^{ème} rang dans les salles de classe Détecteur pour les circulations | Gestion différenciée zone de 1 et 2 ^{ème} rang dans les salles de classe Détecteur pour les circulations |
| La réfection des réseaux existants, | Rénovation des parties de réseaux non isolés | Rénovation des parties de réseaux non isolés | Réfection complète des réseaux de chauffage/ECS dans le VS avec augmentation de l'épaisseur de calorifuge (de 3 => 5 cm) |
| La mise en place de brises soleil | | Mise en place de brise soleil à lame horizontale pour améliorer le confort d'été. | Mise en place de brise soleil à lame horizontale pour améliorer le confort d'été. |
| L'utilisation d'éco-matériaux pour les faux-plafond | Faux-plafonds traditionnels | Faux-plafonds acoustiques : bois circulation | 100% faux plafonds en bois. |
| Type de menuiseries | Alu | Alu | Bois |
| Type de brise soleil | Alu | Alu | Bois |

| | Consommation théorique en énergie primaire (hors électricité spécifique) | étiquette énergie | émission de CO2 (y compris énergie spécifique, déduction faite du stockage GES sur 30 ans) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Projet 1 | 73 kWh/m ² .an | B | 43,4 kg eq CO2 / m ² .an |
| Projet 2 | 71 kWh/m ² .an | B | 15,7 kg eq CO2 / m ² .an |
| Projet 3 | 58 kWh/m ² .an | B | -80,9 kg eq CO2 / m ² .an |

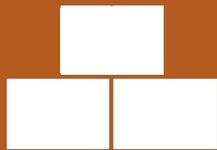


- émissions liées au transport des personnes
- émissions évitées du bâtiment
- émissions nettes du bâtiment (émissions évitées déduites)

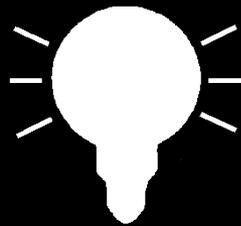
GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE

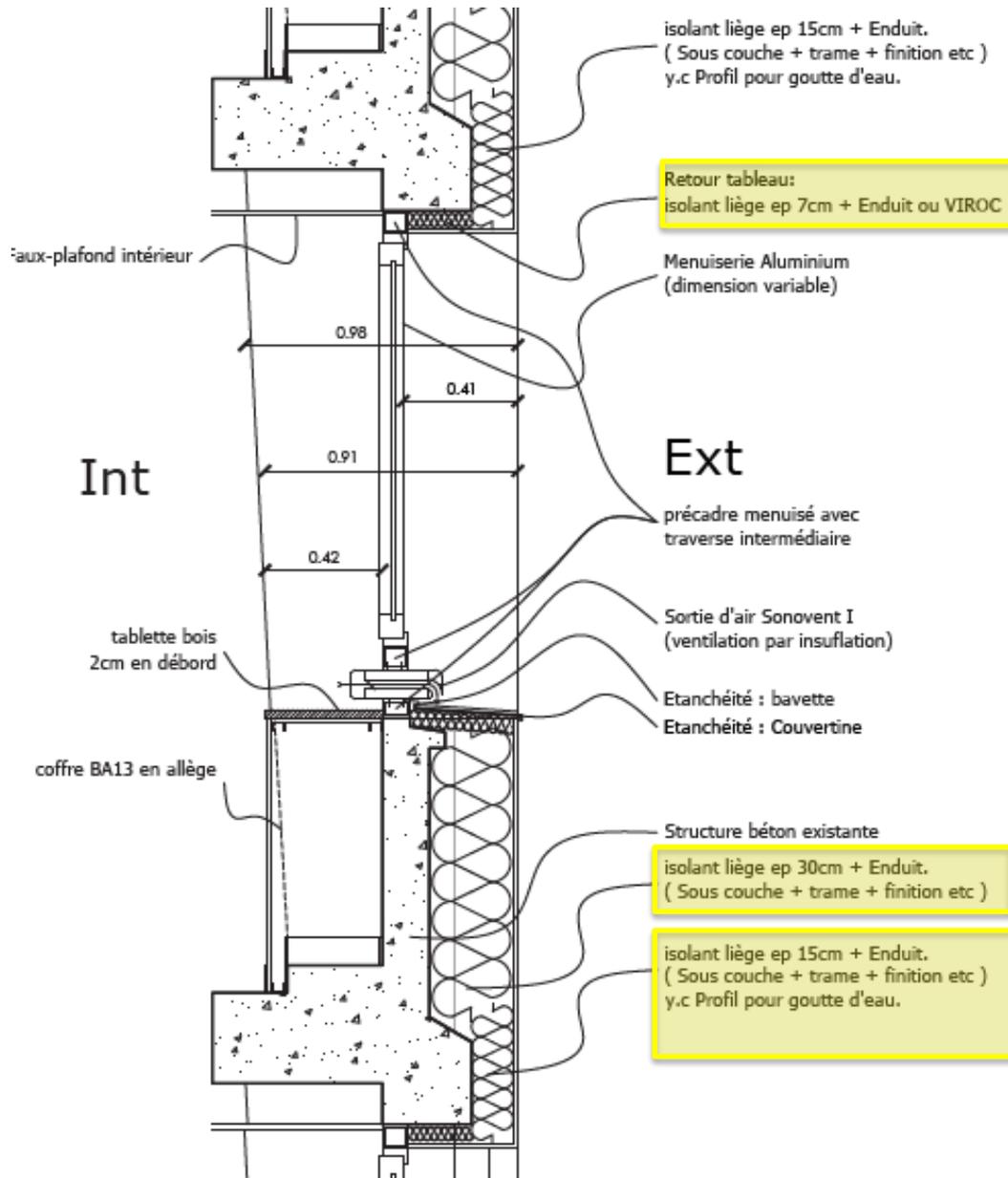


EAU



CONFORT ET SANTE

Matériaux



MURS EXTERIEURS

R
(m².K/W)

5,3

U
(W/m².K)

0,19

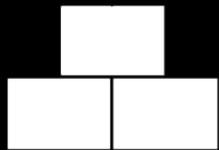
Matériaux

| | | R (m ² .K/W) | U (W/m ² .K) |
|----------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| TOITURE | 27 cm Laine de roche | 6,9 | 0,13 |
| | Béton 20cm | | |
| PLANCHER PREAU | 12 cm Laine de roche | 3,4 | 0,29 |
| | Béton 20cm | | |
| PLANCHER BAS | 7 cm Laine de roche | 1,4 | 0,71 |
| | Béton 20cm | | |

GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU



CONFORT ET SANTE

Energie

CHAUFFAGE



- Chaudière à condensation
489 KW –Rendement 97,5%
- Radiateurs muraux existants
- Classe B3
- Changement des têtes
thermostatiques

REFROIDISSEMENT



- Réduction des apports par
brises soleil et facteur solaire bas
- Refroidissement prévu
uniquement dans les salles
serveurs

ECLAIRAGE



- 100% locaux ont un FLJ \geq
1,5% sur la zone de 1^{er} rang
- Puissance installée 3 W/m²
LED
- Commande par horloge
(façade et préaux) /
Commande traditionnelle
(salle de classe)

VENTILATION



- Ventilation mécanique simple
flux insufflation
- Consommation électrique des
moteurs 0,25 W par m³/h par
insufflateur.

ECS



- Pas d'eau chaude dans les
sanitaires
- Présence de CE de dans les
locaux ménage

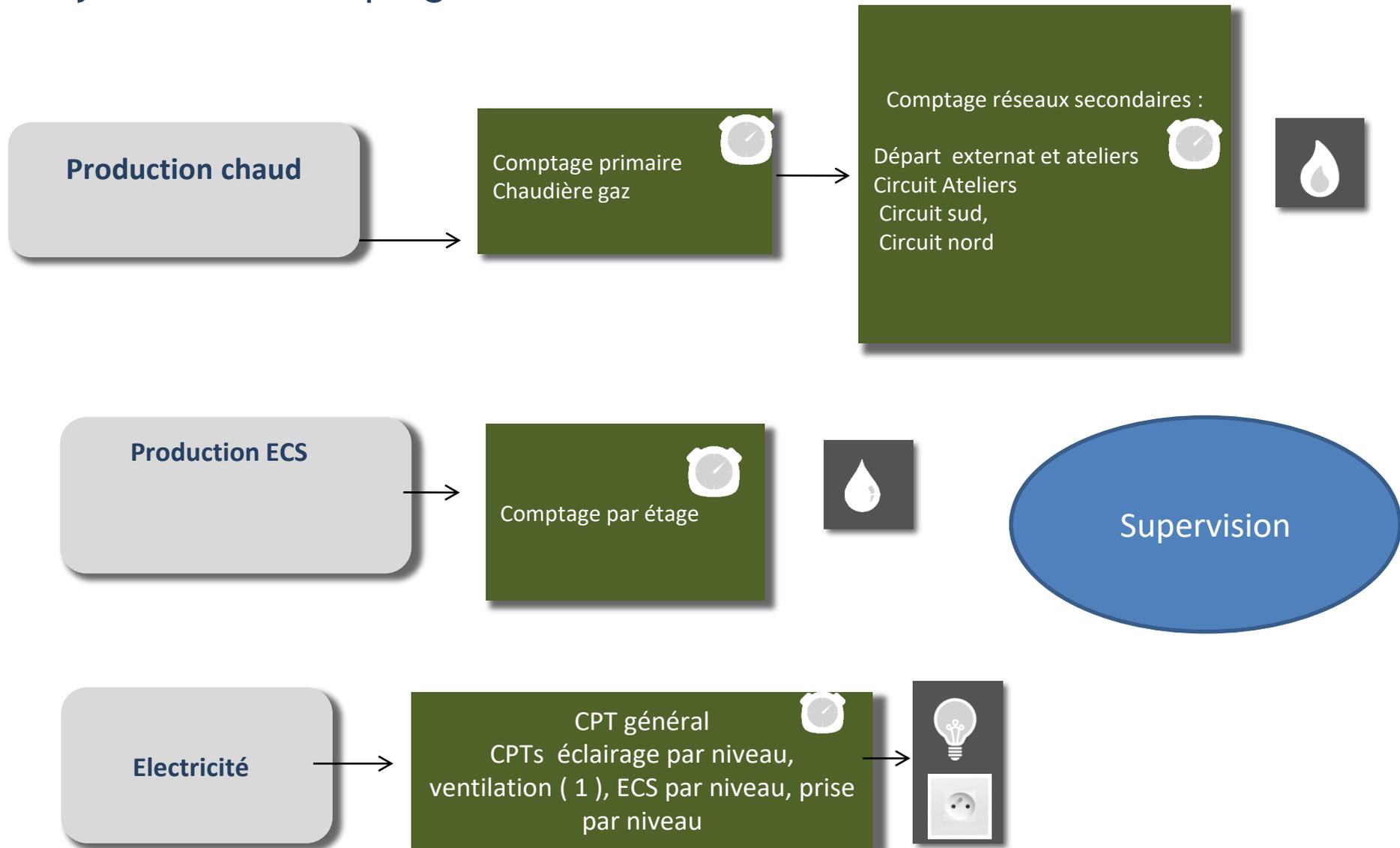
PRODUCTION D'ENERGIE



- Sans objet

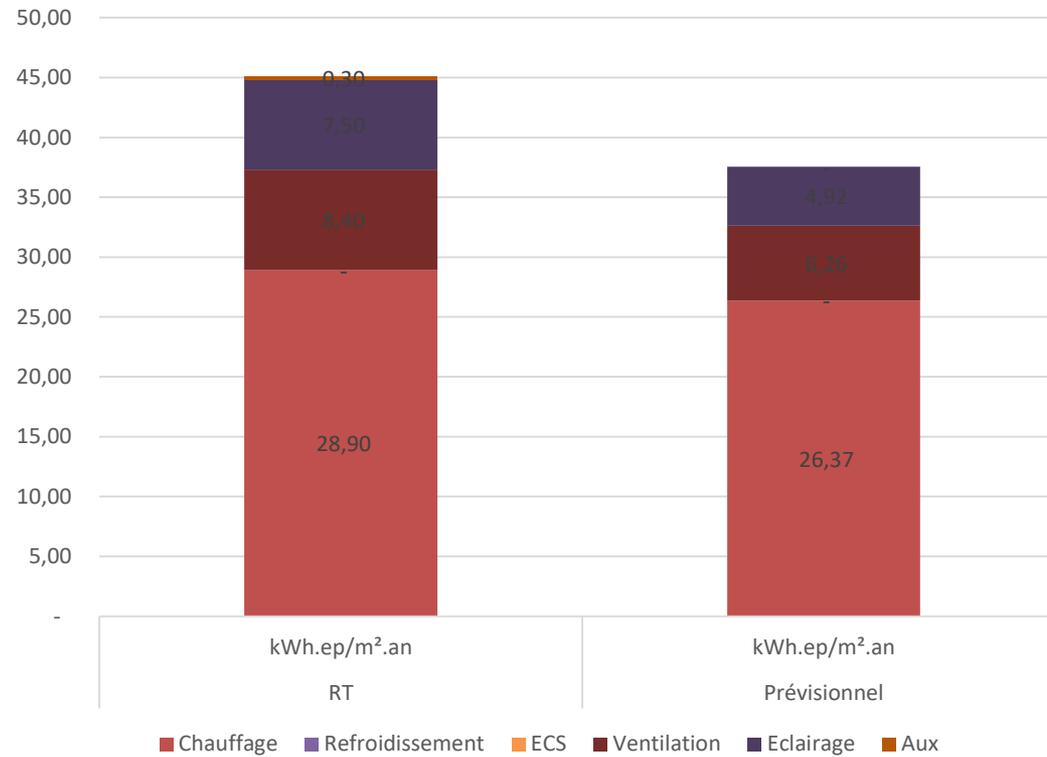
Energie

Les systèmes de comptage



Energie

Répartition de la consommation en énergie primaire

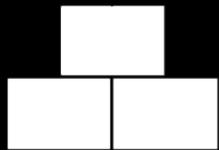


| kWh _{ep} /m ² .an | Conventionnel | Prévisionnel |
|---------------------------------------|---------------|--------------|
| 5 usages | 45 | 38,6 |
| Tout usages | 75 | 54 |

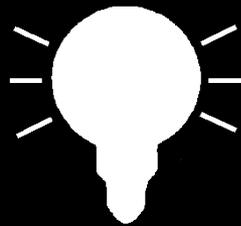
GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU



CONFORT ET SANTE

Eau

Appareils hydro-économiques

- Chasses d'eau double débit 3/6l
- Lavabo mitigeurs temporisés avec débit éco pré-réglé à 3l/min
- Douche robinetterie avec butée éco réglable séparément ou limiteur de débit : 7 l/min,
- Mitigeurs thermostatiques avec froid en position centrale, réducteurs de pression ...

| Résultat besoin du projet | | |
|---------------------------|------------------|----------------|
| | Avant (9l) | Après |
| Chasse d'eau | 973 080 | 608 175 |
| Robinet de lavabo | 141 908 | 141 908 |
| Urinoir | 202 675 | 67 575 |
| Evier salle TP | 72 968 | 378 |
| Total | 1 390 630 | 818 036 |
| soit l/élèves | 993 | 584 |
| soit l/m² | 174 | 102 |

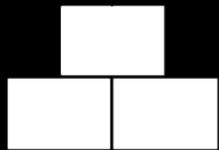
Compteur eau

- Compteurs général du lycée, externat, arrosage

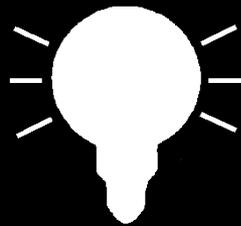
GESTION DE PROJET



SOCIAL ET ECONOMIE



MATERIAUX



ENERGIE



EAU



CONFORT ET SANTE

Confort et Santé : baies

| Menuiseries | Composition |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type de menuiseries | <ul style="list-style-type: none"> -Châssis aluminium à rupteur de ponts thermique, - Nature du vitrage : double vitrage - Déperdition énergétique $U_w=1.4$ - Facteur solaire $Sw = 0,51$ / Nord 0,27 Sud -Nature des fermetures : brise soleil à lame horizontale en Alu |

| |
|-----------------------------|
| 465,50 m² |
|-----------------------------|

| |
|-------------|
| 52 % |
|-------------|

Nord



| | |
|---------------------------------|----------|
| Surface en m² | % |
|---------------------------------|----------|

Ouest

Est

| | |
|---------------------------------|----------|
| Surface en m² | % |
|---------------------------------|----------|

Sud

| |
|-----------------------------|
| 424,15 m² |
|-----------------------------|

| |
|-------------|
| 48 % |
|-------------|

Confort et santé

Confort visuel

Les protections solaires fixes ne dégradent pas le confort visuel dans les classes et bureaux car la dimension des baies a été augmentée (compromis confort été).

FLJ toujours > 1,5% sur 80% de la surface de 1^{er} rang



≡ *Classes de l'externat
actuellement*

◀ *Perspective d'ambiance
des classes projetées*

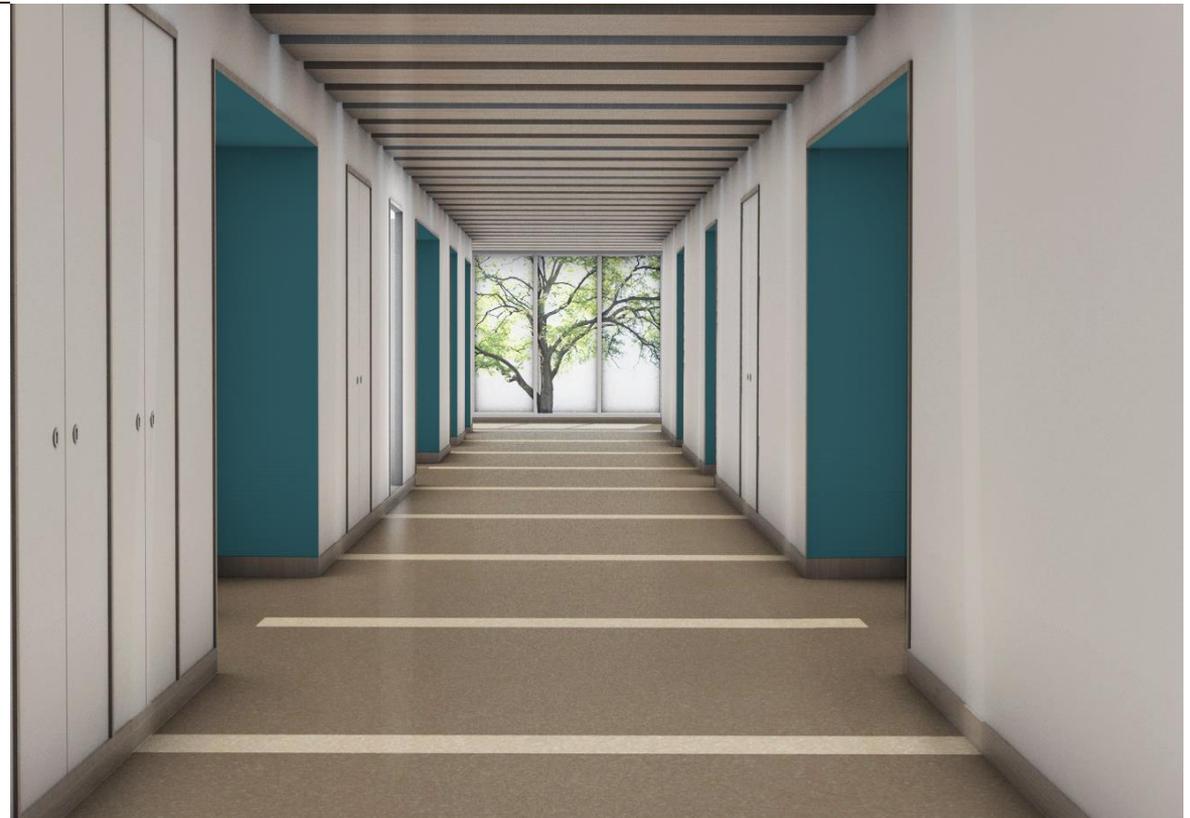
Confort et santé

Confort visuel

Apport d'éclairage naturel dans les circulations par la création de puits de lumière.



Couloir externat actuel



Perspective d'ambiance des couloirs projetés

Confort et santé

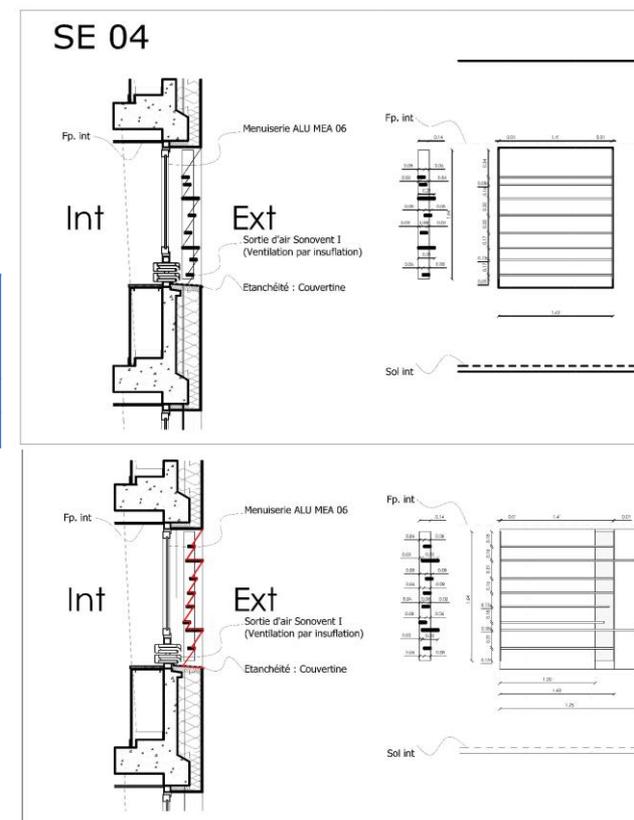
Simulation thermique dynamique

- Hypothèses apports internes : 2,33W/m² (éclairage), 120W/PC salle info, 25 W/PC salle prof, 130W/personne
- Débit de ventilation : 25m³/h.pers
- Scénarios d'occupation vérifié auprès du lycée.

Résultats en nombre d'heures d'inconfort >28°C

| | CDI | Salle TP nord | Salle TP Sud | Salle info. | Salle de perm. | Salle polyvalente | Salle profs | Salles profs travail | bureau | salle multimédia | Moyenne salles banalisées Nord | Moyenne salles banalisées Sud |
|-----------|-----|---------------|--------------|-------------|----------------|-------------------|-------------|----------------------|--------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 13 | 60 | 50 | 53 | 82 | 46 | 48 | 56 | 51 | 52 | 59 | 60 | 56 |
| E | 83 | 128 | 106 | 105 | 106 | 86 | 149 | 132 | 140 | 96 | 291 | 307 |

- ⇒ Protections solaires efficaces
- ⇒ Ventilation mécanique et naturelle nécessaire

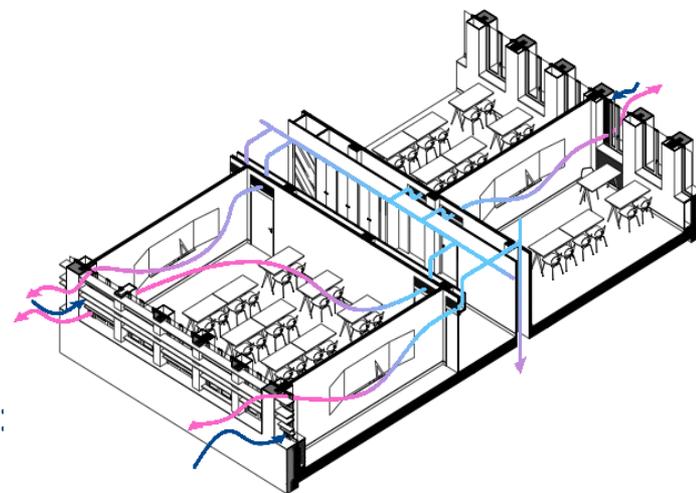


Simulation Solaire sur les différentes typologies de Brises-Soleils

Confort et santé

Amélioration de la qualité de l'air

- Mise en œuvre d'une ventilation par insufflation
Confort optimisé : air soufflé préchauffé, vitesse d'air limitée
- Débit de ventilation au-delà du minima réglementaire : 25 m³/h/pers
- Choix de revêtements intérieurs labellisés , classe A+



APPORT D'AIR NEUF TEMPERE PAR INSUFFLATION

- Air neuf tempéré
Température progressive maîtrisée
- Air extérieur
Froid ou chaud suivant les saisons

Amélioration de l'acoustique de locaux sensibles

- CDI
- Salle de classe
- Circulation

Pour conclure

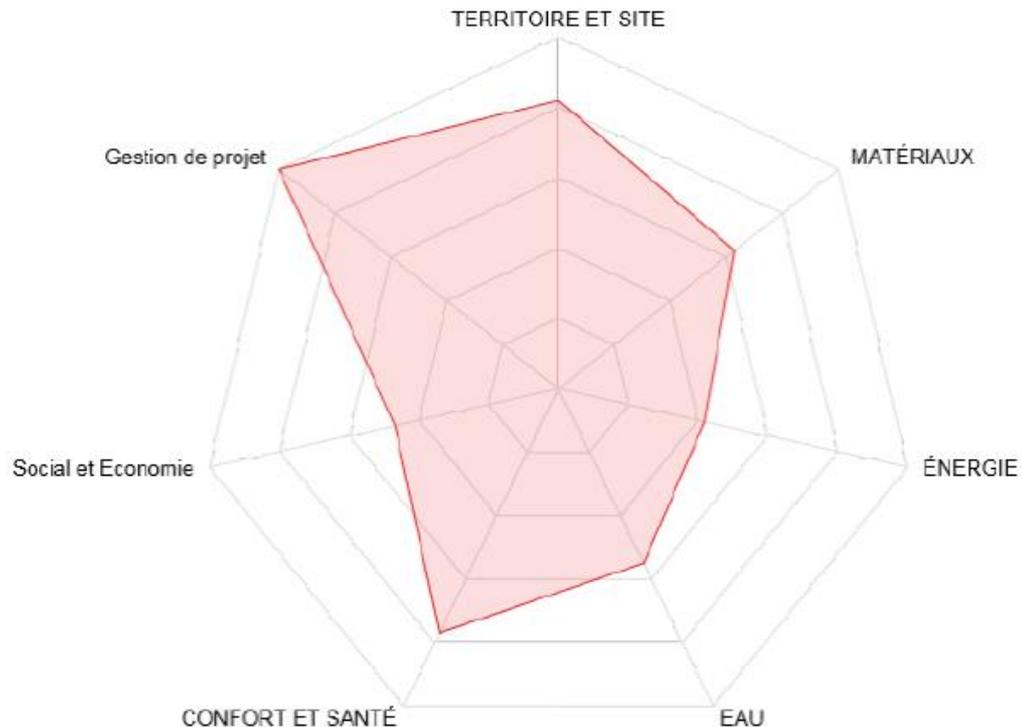
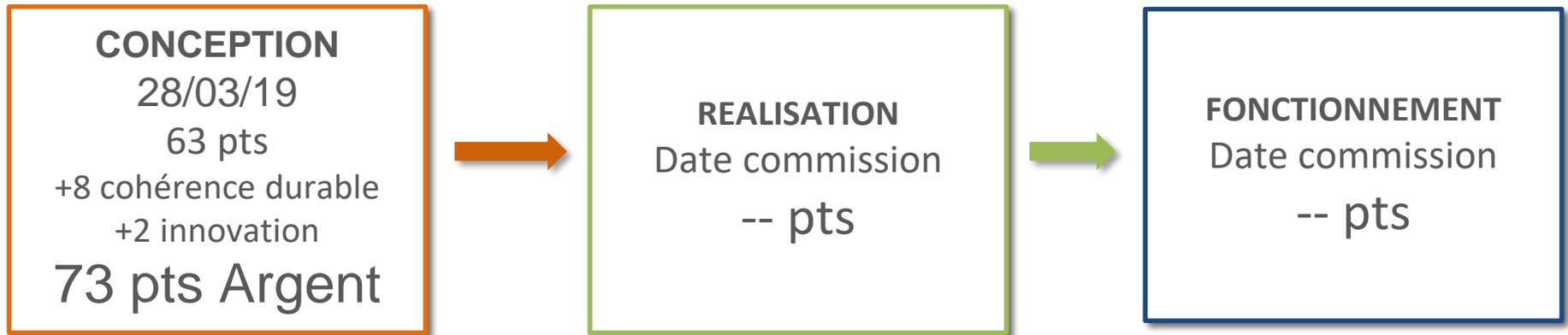
Points remarquables du projet

- **Intégration dans le site** : dialogue chromatique avec la dernière opération de réhabilitation, respect scrupuleux de la qualité des espaces extérieurs réalisés (mimétisme)
- **Gestion du projet** :
 - Travail itératif avec multiple scénarios pour optimiser le tryptique « confort été, consommation d'énergie, confort visuel »
 - Travail collaboratif avec les équipes pédagogiques et administratifs (affiner les besoins, définir de manière optimale les phasages)
- **Recours aux matériaux biosourcés moins traditionnels** : liège (avis technique de puis septembre 2018)

Points qui peuvent être améliorés

- **Exploiter la surface de toiture importante** : végétalisation de la toiture terrasse pour intégration paysagère, confort thermique et gestion des eaux pluviales ;
- **Production d'électricité** par une installation PV complémentaire à celle installée sur la demi-pension

Vue d'ensemble au regard de la Démarche BDM



Points bonus/innovation à valider par la commission



- Gestion de projet : nombreux scénarios d'optimisation, travail itératif avec concertation des utilisateurs



- Mise en œuvre d'isolant en liège

Les acteurs du projet

MAITRISE D'OUVRAGE ET UTILISATEURS

MAITRISE D'OUVRAGE

REGION SUD

MOA DELEGUEE

AREA

AMO QEB

INDDIGO

UTILISATEURS

**LYCEE PAUL
LANGEVIN**

MAITRISE D'ŒUVRE ET ETUDES

ARCHITECTE

ATELIER MONCADA

BE TCE/ECONOMISTE

BETEK

BE QE

**NEXT
ENVIRONNEMENT**

