

COLLOQUE

# Réhabiliter durable 2025

**CREBA**  
5<sup>e</sup> COLLOQUE NATIONAL

21 NOVEMBRE 2025  
MARSEILLE

# RÉPARONS NOS VILLES



CONSTRUIT  
80%

LA VILLE  
DE 2050



À  
CONSTRUIRE

# REX RENOVATION ENERGETIQUE ECOLE DE BONNIEUX

Reprendre un projet en cours, en site occupé, tout en l'optimisant...

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

## LES INTERVENANTS



- **Laetitia Montpellier**

MOE

Ingénieure fluides et qualité environnementale



- **Sylvie Siegel**

MOE

Diplômée d'état en architecture



- **Mathias Meignan**

Assistant à maîtrise d'ouvrage

Ingénieur territorial



Maitre d'ouvrage



Entreprise de CVC



Entreprise de chaux chanvre



# 1. Présentation de l'existant



Une école maternelle  
(partie récente)

Une école primaire  
(début 20<sup>e</sup> siècle)

**Chauffage : fioul**

Maison du livre et de la culture,  
avec salle de 500 personnes  
(MLEC) + bibliothèque, salle de  
danse, bureau de Poste

**Chauffage : PAC (+ gaz)**

## CONTEXTE

Bonnieux = commune adhérente au Parc naturel régional du Luberon

Adhérente au service SEDEL (Service d'Économies Durables en Luberon)

⇒ Assistance technique pour les économies d'énergie

Site soumis au décret tertiaire (> 1 000 m<sup>2</sup>)

Périmètre ABF



AMO

## PROJET

Décarboner les modes de chauffage

Créer un réseau de chaleur

Réduire les consommations d'énergie

Développer les énergies renouvelables (y compris PV en ombrières)

Améliorer le confort d'été

Améliorer la qualité de l'air intérieur (CO<sub>2</sub>)

⇒ Concevoir un PROJET GLOBAL



Travaux de désimperméabilisation / revégétalisation de la cour

## 2022-2023 : Audit énergétique + maîtrise d'œuvre confiés à un 1<sup>er</sup> BET

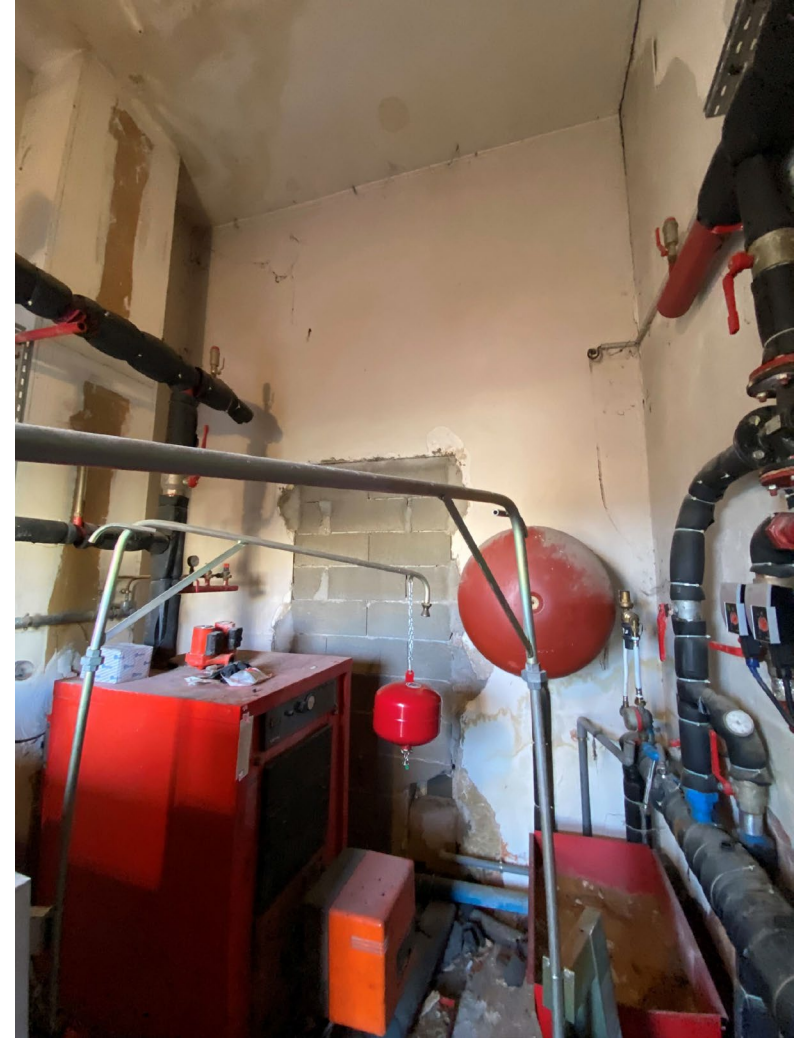
Travaux préconisés :

- Réfection de la production de froid de la MLEC
- Réfection de la production de chaud de l'école avec création d'une chaufferie bois et un réseau de chaleur vers la MLEC pour faire le chaud (et remplacement de la PAC + propane en chaud actuellement)
- Pilotage des radiateurs par des têtes thermostatiques connectées
- Remplacement des menuiseries
- Isolation des murs en pierre par 10 cm laine de verre
- Mise en place d'une ventilation double flux dans l'école

Conception laborieuse (erreurs et retards) et 1<sup>er</sup> appel d'offre infructueux  
⇒ Résiliation du contrat et reprise en phase DCE par un 2<sup>e</sup> BET (SolAIR)



**Attention : un audit énergétique n'est pas un audit technique ni de gros entretien**



À la suite d'un appel d'offres infructueux mettant en avant des manquements dans le dossier de consultation réalisé par Le BET X et à la suite d'une conception laborieuse, la mission de ce BET a été stoppée.

Reprise d'une mission de maîtrise d'œuvre au stade DCE en **urgence: la production d'eau glacée de la salle de spectacle est en fin de vie, plus qu'1 compresseur/2** qui fonctionne (et pas de possibilité de changer uniquement cet équipement pour des questions de dossier d'aides) et chaudière fioul bien fatiguée....

Échéances / subventions



Quelques incohérences visibles, sans que cela soit exhaustif, en voici les principales relevées :

- **Surdimensionnement** probable de la chaufferie bois
- **Doute** sur la mise en place d'un silo à l'intérieur d'un bâtiment existant début du siècle
- Surdimensionnement de la ventilation double flux et **descriptif insuffisant**
- **GTB** trop onéreuse, à la fois trop **sophistiquée** et qui ne prend pas en compte les équipements de ventilation qui seront pourtant les éléments clés de la performance énergétique du projet
- Reprise de réseaux inutiles à la MLEC, **diffuseurs** ne permettant pas d'atteindre un confort thermique

Certains travaux sont inutiles et d'autres absolument nécessaires ne sont pas décrits notamment sur la MLEC et la gestion de la ventilation de la salle polyvalente.

- **Menuiserie PVC** et stores intérieurs décrits.

Travaux d'urgence ont été réalisés pour mettre en place une chaudière gaz propane à la MLEC, prendre en compte ce nouvel investissement qui servira de secours.

« FAIRE MIEUX AVEC MOINS »

SOLA.I.R. a effectué un «DIAG/PROGRAMME» pour revoir certains aspects du projet: redimensionnement chaufferie bois, redimensionnement ventilation, redéfinition travaux MLEC, ...

Les optimisations réalisées ont permis de proposer en plus

### Confort d'été

Des brasseurs d'air dans l'école

Une automatisation des stores à l'est + stores extérieurs

CTA thermodynamique dans les classes

### Confort thermique et gain énergétique

Amélioration du confort thermique du soufflage dans la MLEC

# 2. Programmation-conception de la rénovation

## Étape 1 Redimensionner la chaufferie bois: calcul selon la norme

Chaufferie  
Bois

La modélisation et les calculs sont réalisés avec le logiciel Pléiades d'IZUBA

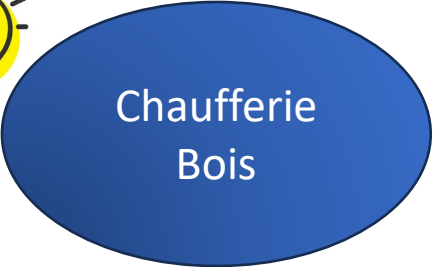


Résultats dimensionnement (température de base sans apports et scénarios) pour 21°C hiver /26 °C été

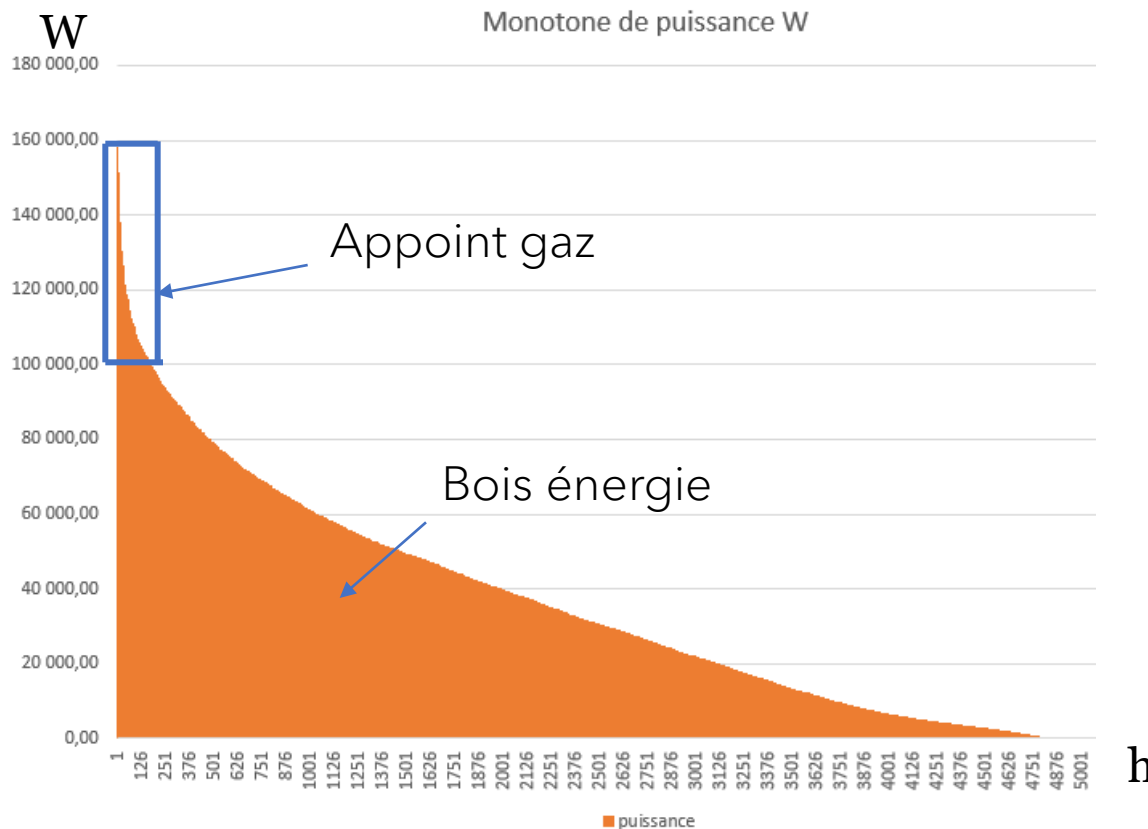
	Ecole	Mlec
Résultat Déperdition	112.33 kW	156.07 kW
Climatisation	-	150.98 kW

**Total: 268 kW**

# Étape 1: Redimensionner la chaufferie bois avec une STD (simulation thermique dynamique)



Résultats appels de puissance / heure estimés à partir d'une simulation thermique dynamique incluant les scénarios d'occupation, de ventilation, de température.



1<sup>er</sup> BET

2 chaudières bois total 250 kW+

2 chaudières gaz total 250 kW = 500 kW

2<sup>ème</sup> BET à la rescousse !

2 chaudières bois 50 kW+

1 chaudière gaz 130 kW = 230 kW

= mieux pour le porte monnaie, mieux pour la chaudière bois et surtout 1<sup>er</sup> projet infaisable



Attention : la STD est une mission complémentaire

## Étape 1: Redimensionner la chaufferie bois avec une STD (simulation thermique dynamique)

Chaufferie  
Bois



Attention : la STD est une mission complémentaire

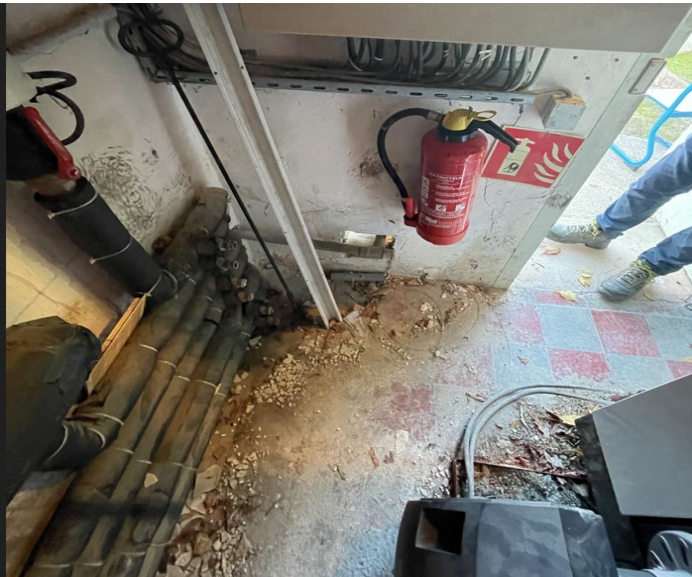
Elle demande du temps (réalisation et échanges)

Elle demande un engagement mutuel (les scénarios doivent être validés par le MOA)

## Étape 2

Définir l'implantation de la chaufferie bois et du silo avec les contraintes d'approvisionnement, d'entretien maintenance, etc.

Chaufferie Bois



## Étape 2

Définir l'implantation de la chaufferie bois et du silo avec les contraintes d'approvisionnement, d'entretien maintenance, etc.

Chaufferie  
Bois

Avis bureau de contrôle sollicité tout de suite : on a imaginé une dalle autoportante désolidarisée des murs

Avis tardif  
Nécessité d'une étude géotechnique

Lancement tardif de l'étude géotechnique

**Résultat en début de chantier = micropieux!**



Pas de compétences structure au sein du groupement

### Étape 3

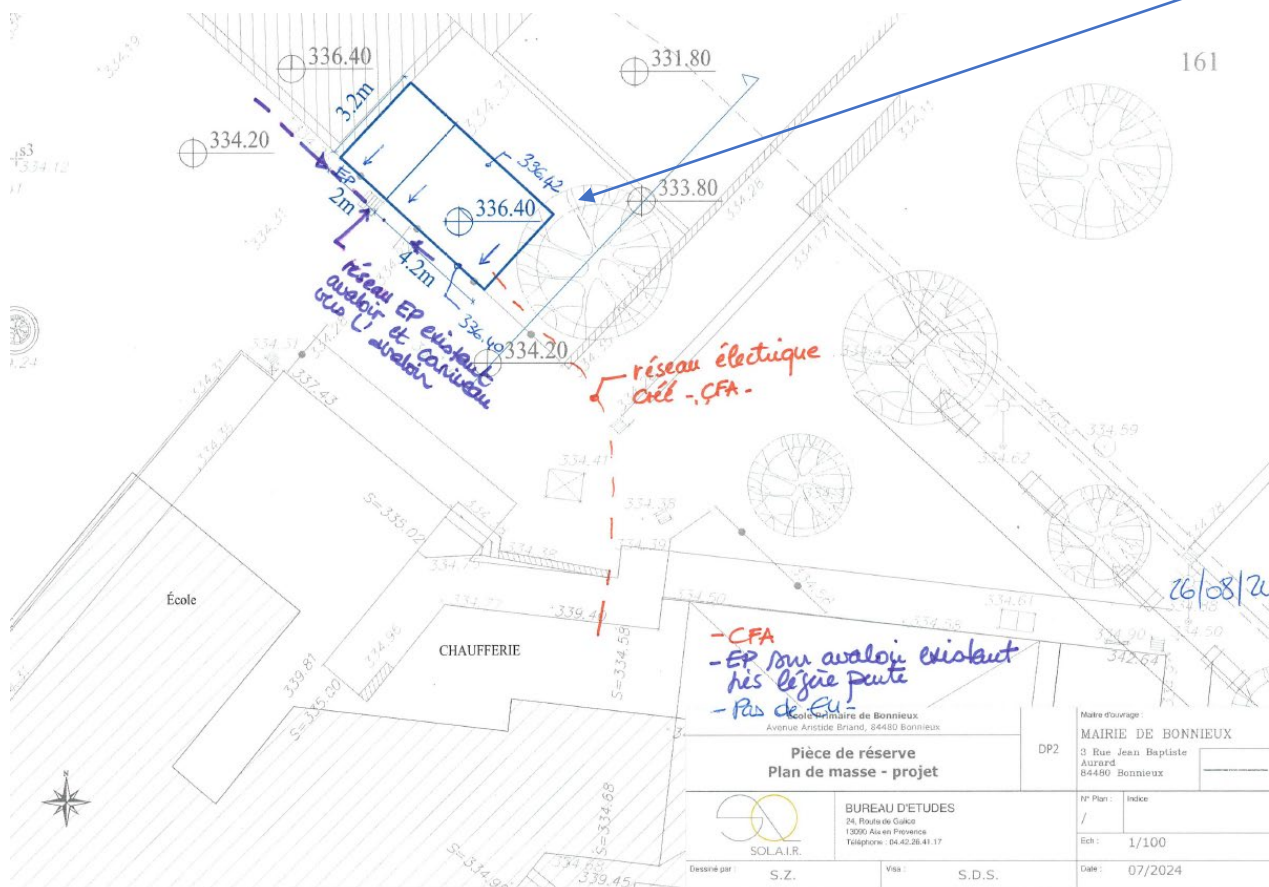
En urgence trouver une solution alors que les VISA et les commandes sont en cours ....

DP avec un projet en secteur ABF

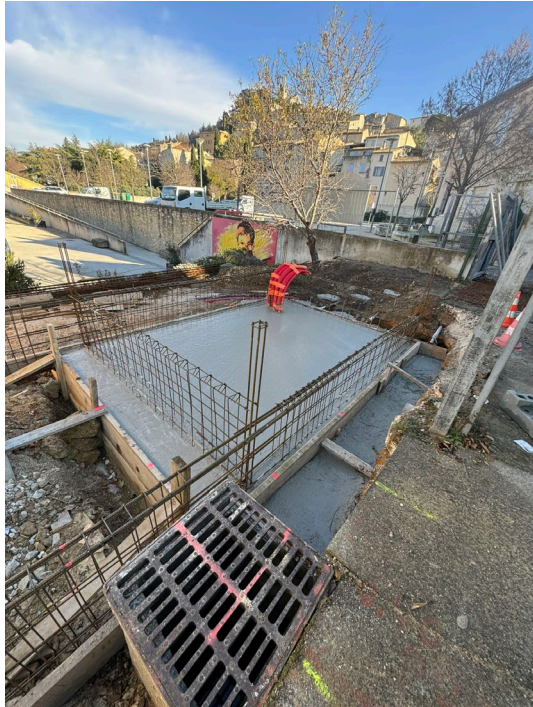


Chaufferie  
Bois

Création d'un **silos déporté**



Chaufferie  
Bois



**DCE1: pas d'implantation, pas de réservation, débit de 9000 m3/h, 3CTA pour un effectif de l'école de 180 élèves maximum**

Pas de place en faux plafond, voire pas de faux plafond, pas de possibilité de faire du double flux réparti (dans partie ancienne). Simple flux en insufflation cela demande de tout revoir...

Peu de toiture terrasse / une toiture tuile ancienne auquel on ne veut pas toucher...

Pas de locaux techniques disponibles en intérieures

Ventilation  
double flux

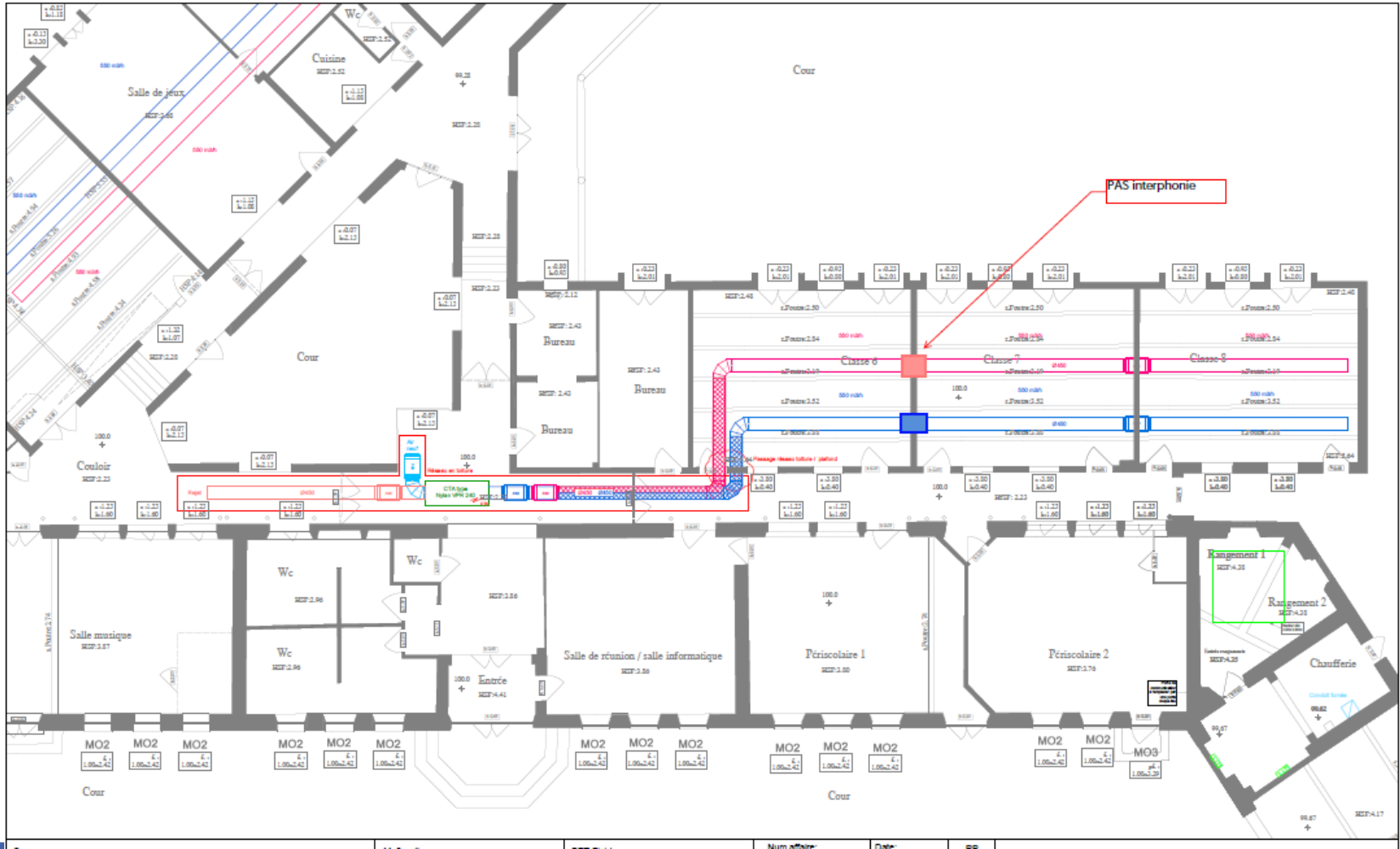


Les CTA doivent être positionnées à 80cm de l'étanchéité et mesure environ 1,5m **soit une émergence de 2,3m.**



Suppression de cette prestation dans la partie début du siècle: locaux à occupation intermittente  
 Ventilation apparente et en ligne car pas de place en faux plafond

Ventilation  
double flux



Débits RSD (18  
m3/h/personnes)

Même une ventilation répartie ou SF difficilement réalisable sans travaux très lourd sur la partie ancienne

Ventilation double flux



Multitude de configurations et d'interaction (panneaux acoustiques, luminaires, faux plafond, réservations, acoustiques...)



merci à la **caméra 360°** qui permet de voir tous les détails



Ventilation double flux

Gaines apparentes filantes avec pièges à sons entre locaux.

Le maître d'ouvrage n'avait pas conscience que les gaines passeraient en apparent. Souhait de stopper le chantier une fois les trous réalisés, à une semaine de la rentrée scolaire!



Ventilation double flux

Un linteau non vu qui a modifié la conception prévue en pleine phase de chantier alors qu'on est sur des gaines sur mesure en ligne....

+ salle de motricité entre les rampants, les radiateurs, le mur d'escalade, les différences de niveau, ventilation abandonnée en chantier....



Aucunes coupes sur l'école disponibles pour les études

Pas de compétence structure dans l'équipe



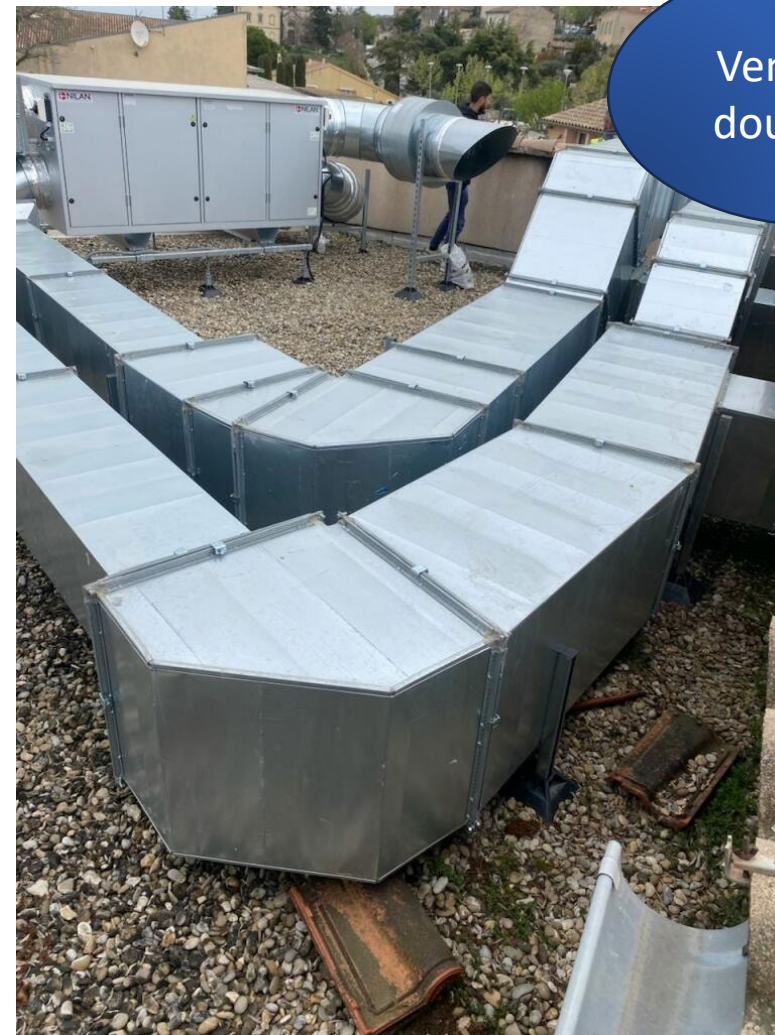
Etanchéité toiture non prévue dans l'opération, mais prévue par ailleurs en direct par le MOA.

### Mauvais timing

Réhausse des CTA bien prise en compte mais pas des gaines (problématique de pose au-dessus de 40 cm)

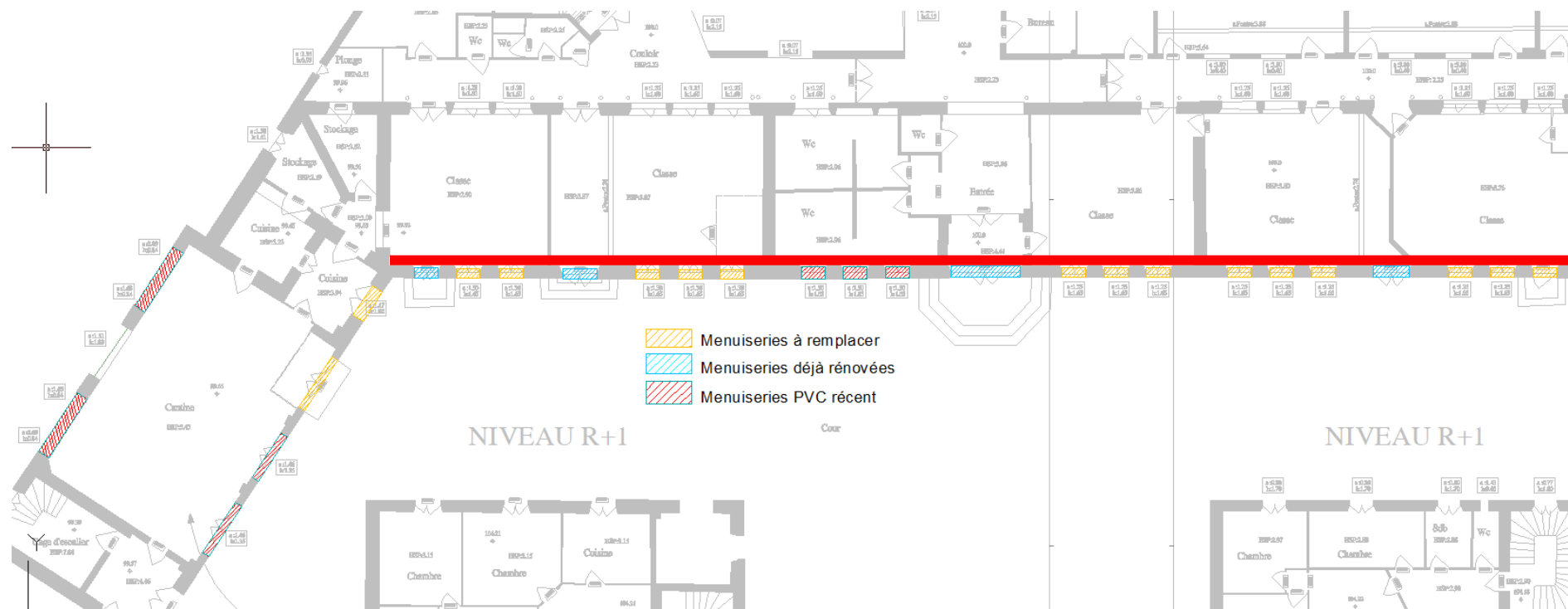


Il est préférable d'englober l'ensemble des besoins de rénovation dans une seule opération



Ventilation  
double flux

Au DCE1: pas d'implantation, ITI 10 cm de laine de roche, pas de détail,  
pas d'interaction avec le lot électricité ni faux plafond  
Il s'agit du mur en pierre façade est.



Difficulté d'isoler les encadrements de fenêtre, or il n'y a que cela!



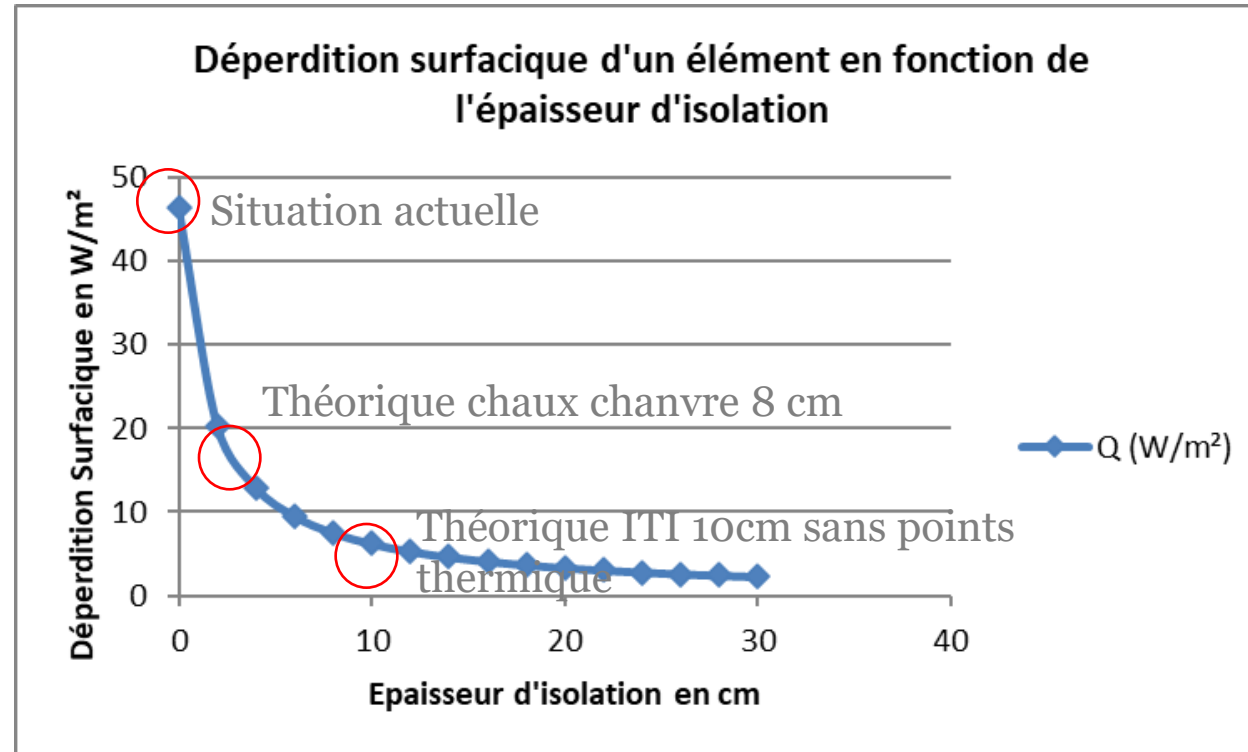
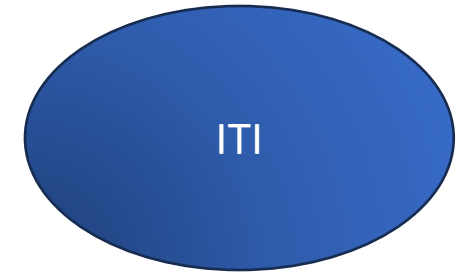
Proposition d'isolation en chaux chanvre

ponts thermiques

## Épaisseur d'isolation / performance

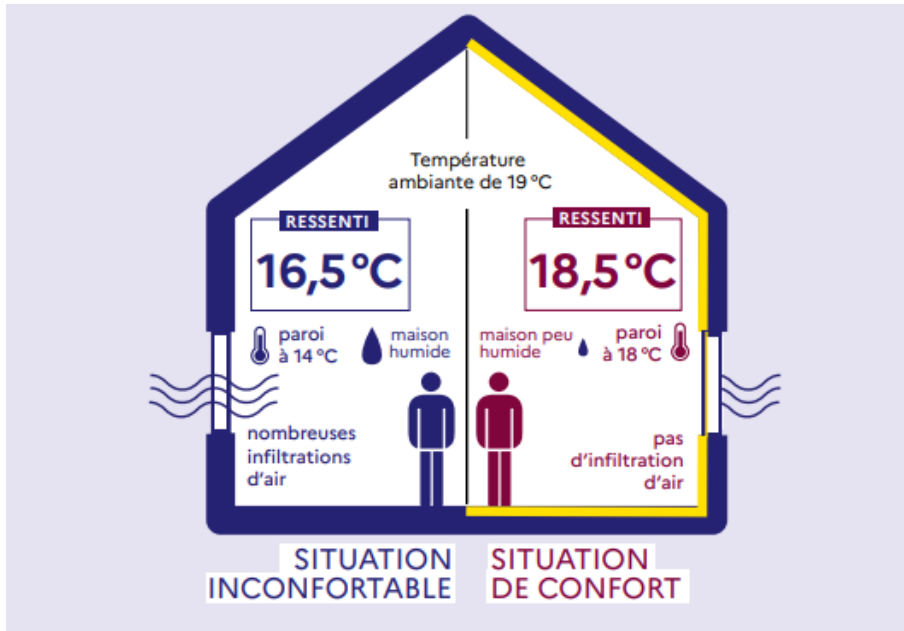
Le graphique suivant met en évidence l'évaluation des déperditions en fonction de l'épaisseur de l'isolant

Les premiers centimètres sont les plus « utiles »



Gain énergétique sur deux aspects:

- Confort thermique (on aura moins tendance à vouloir augmenter la température à confort égal)



## Gain énergétique sur deux aspects:

- Le pilotage précis (programmation horaire des émetteurs : une école est occupée 25% du temps)



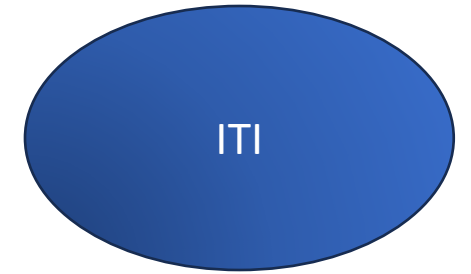
### Les +

- certifié EUBAC 0,2 CA
- version anti démontage
- équilibrage hydraulique dynamique (brevet)
- aucun blackout (comm)
- Décret BACS (Classe A)
- mesure T° déportée

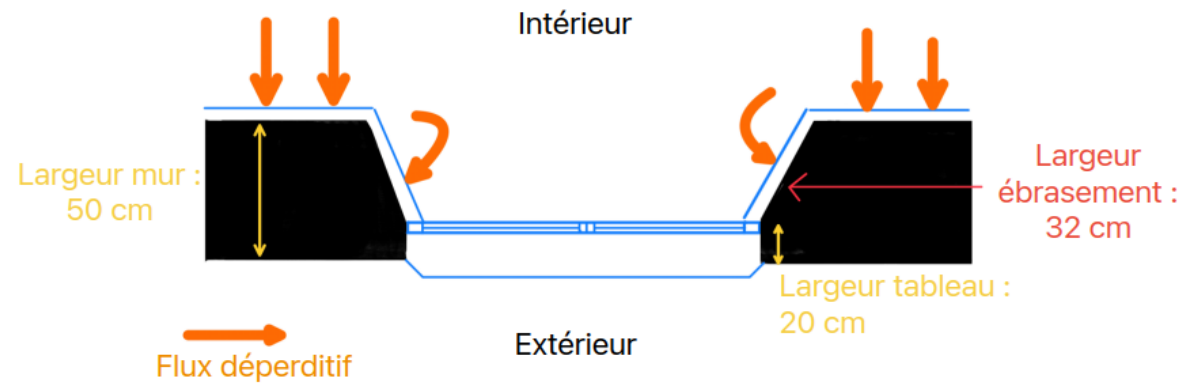


ITI

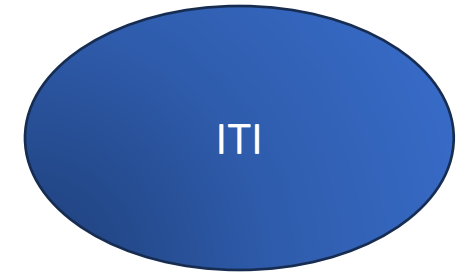




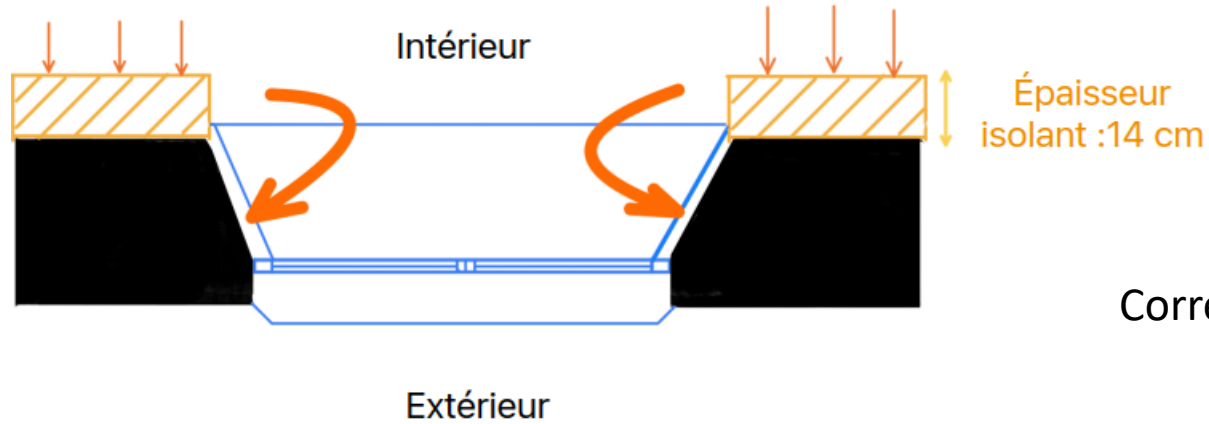
### Situation initiale : Sans isolant



# Match ITI « classique » et chaux chanvre: qui gagne?



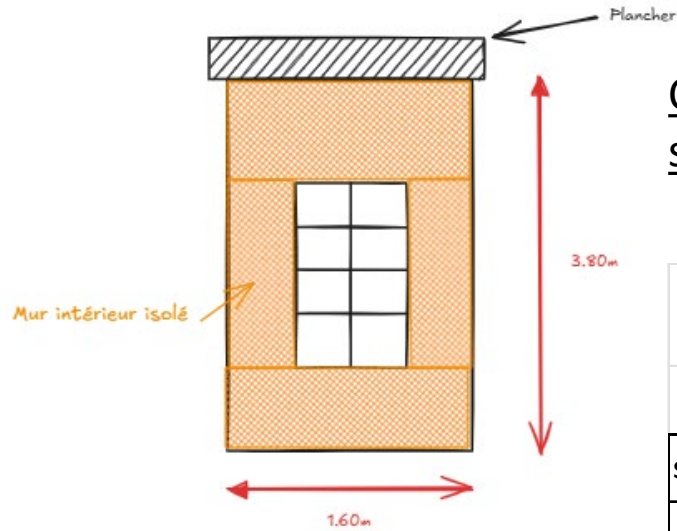
## ITI sans retour d'isolant



## Correction thermique en chaux / chanvre avec retour d'isolant



Vue de face



Calcul des déperditions totales en reprenant les valeurs de Conducteoo sur les PTs sur trame de mur

	ITI sans retour d'isolant sur ébrasement		Correction thermique avec retour d'isolant de 3cm	
	Mur	Ebrasement	Mur	Ebrasement
Surface (m <sup>2</sup> )	3,66	1,55	3,66	1,55
Uc : coeff transmission surfacique en partie courante (en W/m <sup>2</sup> .K)	0,23	2,66	0,74	1,21
Pont thermique linéique Psi tableau + appui + linteau (en W/m.K)	0,997		0,36	
Déperditions paroi pour une T° intérieure de 19°C et une T° extérieure de -5°C (en W)	283		169	



Le mur avec ITI plus performante est en fait presque 2 fois moins efficace dans le présent cas!





Trame indispensable pour les menuiseries.

### ITI béton de chanvre

#### Avantages:

- Etanchéité à l'air. Isolation parfaite (aspérités comblées).
- Liaison des murs anciens
- Mur perspirant

#### Inconvénients:

- Projection mécanique et poussière
- Sensibilité à la température
- Coût 170 €/m2 120 m2 hors décroustage et installations de chantier
- Fissuration si pas de trame (220 g) entre les 2 couches d'enduit
- Pas de reprise d'intégration ou de déplacement d'équipement



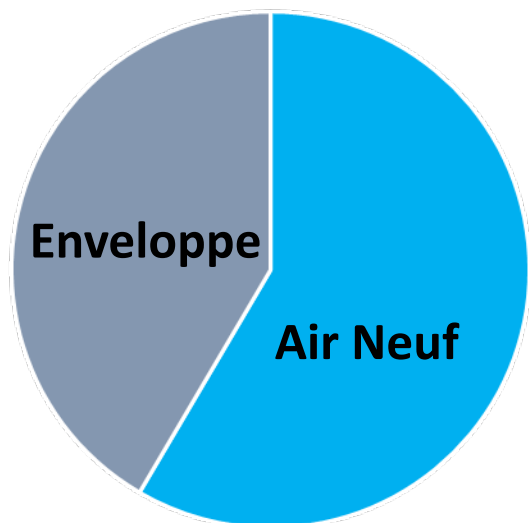
L'électricien n'a pas respecté son jour d'intervention, ni la proposition de boîtiers à banche résultat = goulottes!

ITI

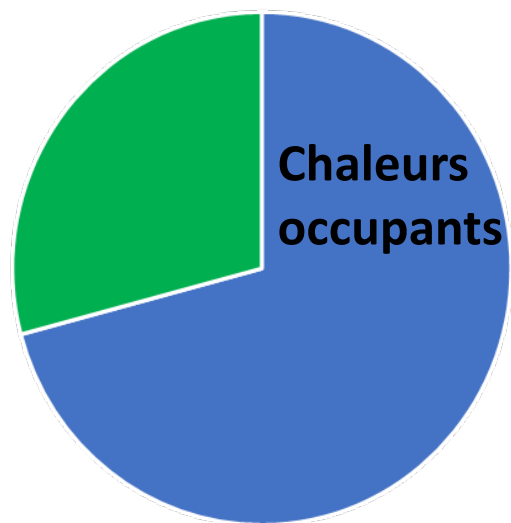


2 CTA pour traitement de l'ambiance + air neuf  
Débit théorique air neuf = **13 000 m<sup>3</sup>/h (500 personnes)**  
Sonde CO<sub>2</sub> sur la reprise pour **modulation débit air neuf**

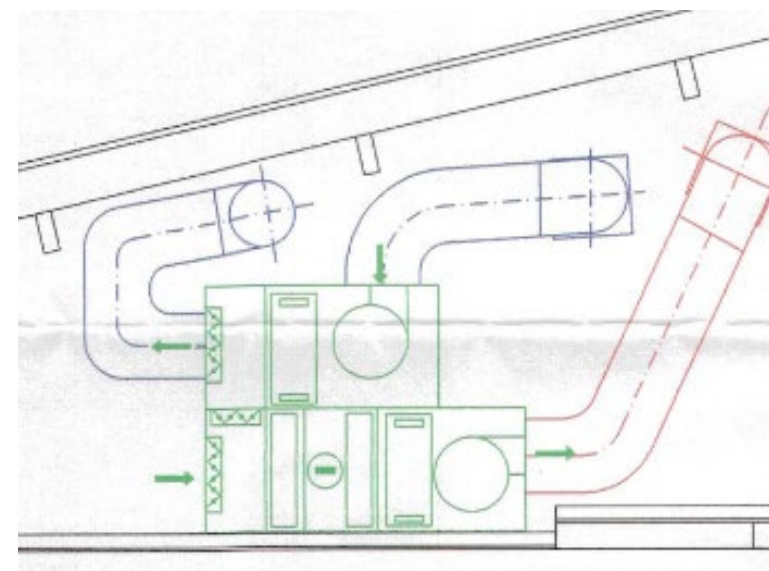
### Déperditions pour - 8°C



Ces déperditions liées à l'air neuf ne devraient se produire qu'en présence de l'effectif maximal. Représente 71% du bilan thermique total



Les déperditions de l'air neuf sont en partie compensées par l'apport de chaleur humaine!  
Equilibre à 4,2°C ext si bien piloté



VENTILATION  
SALLE DE  
SPECTACLE /  
FETES

**Constat de SOL.A.I.R.:**

**Les registres sont HS: absence gestion air neuf**

**Quid de la sonde CO2 jamais contrôlée?**

**Bouches de soufflage non adaptées**

**Ouverture des volets non proportionnelle**



Problématiques:

« air froid en hiver quand on arrive à la température ambiante »

« Le bâtiment redescend vite en température on ne peut pas couper le chauffage la nuit.... »

**audit énergétique : mettre en place des CTA double flux avec récupération d'énergie**

**exploitant : arrêter le soufflage quand on arrive à la température ambiante**

➔ **Le soufflage est arrêté (fonctionnement air neuf également)  
L'extraction n'est pas asservie**



**Bruit de sifflement dans le bâtiment: le bâtiment est en dépression, l'air neuf provient de toutes les menuiseries.**



**Air neuf pour 500 personnes en permanence dans le bâtiment!**

### Initialement

Les CTA sont prévus d'être remplacées en lieu et place de celle existantes. Les CTA seront livrables par bloc, en revanche, pour l'instant les seuls CTA permettant de remplacer celles en place (dans l'encombrement disponible) **sont avec régulation embarquée ce qui ne permet pas d'unifier le pilotage de tous les systèmes (ou d'ajouter une couche de régulation, ce qui conduit à des défauts de conduite d'installation). Surcout 60 000 €HT**



## PROPOSITION DE SOLAIRE (problème de budget)

Remise en état CTA et des registres

Nettoyage gaines

Remplacement des **bouches de diffusion**

Reprise régulation avec **sonde de température et CO2 dans l'ambiance**

Accès par les utilisateurs au **planning** d'utilisation



Vigilance sonde CO2 et sonde ambiance: les mettre dans l'ambiance et pas sur la gaine de reprise pour une meilleur performance (arrêt total possible, pas d'encrassement)



Attention à la **position** de la sonde d'ambiance (influence de la température de paroi)

# 4. Retours de phase usage

Réemploi ou conservation de systèmes existants

1 Ventilateur convecteurs HS

Diffusion de l'air existant non satisfaisant pour un ventilateur convecteurs

Puissance d'émission insuffisante sur un ventilateur convecteurs existant

Pas de vannes d'équilibrage et régulation sur l'existant (difficultés donc de remplacement, prestations abandonnées)

Régulation sensibilité du pressostat débit ventilation

# 4. Retours de phase usage

Malgré une bonne entreprise, du bon matériel, de nombreuses problématiques ont mis à chaque fois l'installation en carafe:

- Réglage courbe de chauffe initiale non relevée (et mauvais réglage initial)
- Position thermostat contre doublage intérieur (trop froid)
- Purgeurs défectueux dans regard réseau de chaleur
- Pompe fuyarde
- Vase d'expansion défectueux puis trop petit
- Sensibilité pressostat trop importante
- Un compresseur HS
- Un filtre manquant sur soufflage CTA (cause de bruit)



# 4. Retours de phase usage

Difficultés conduites d'installation et optimisation énergétique

Qui fait quoi?

organigramme et accès pour le pilotage:  
administrateur/mainteneur/ utilisateurs

Compréhension des systèmes:

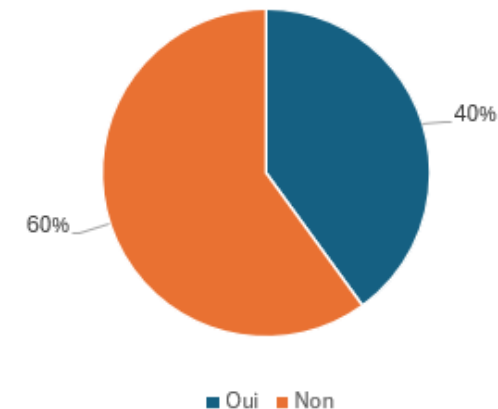
La ventilation double flux est avant tout la pour apporter de l'air neuf et non pour apporter du frais

Consigne chauffage

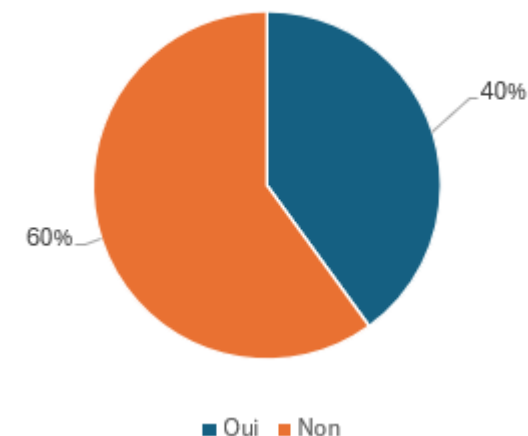
MLEC 24°C

Manque mission d'évaluation pour aller au bout et adapter les réglages, faire de la sensibilisation, vérifier les missions de l'exploitant

Notification du bénéfice de la mise en place d'une ventilation mécanique

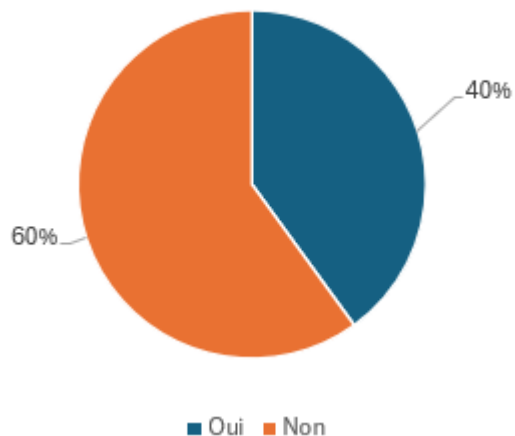


Sensibilisation à la QAI dans l'enseignement

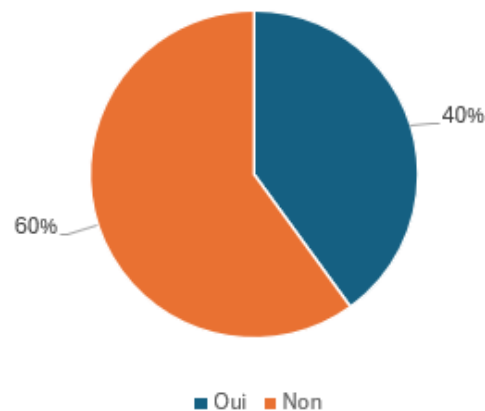


# 4. Retours de phase usage

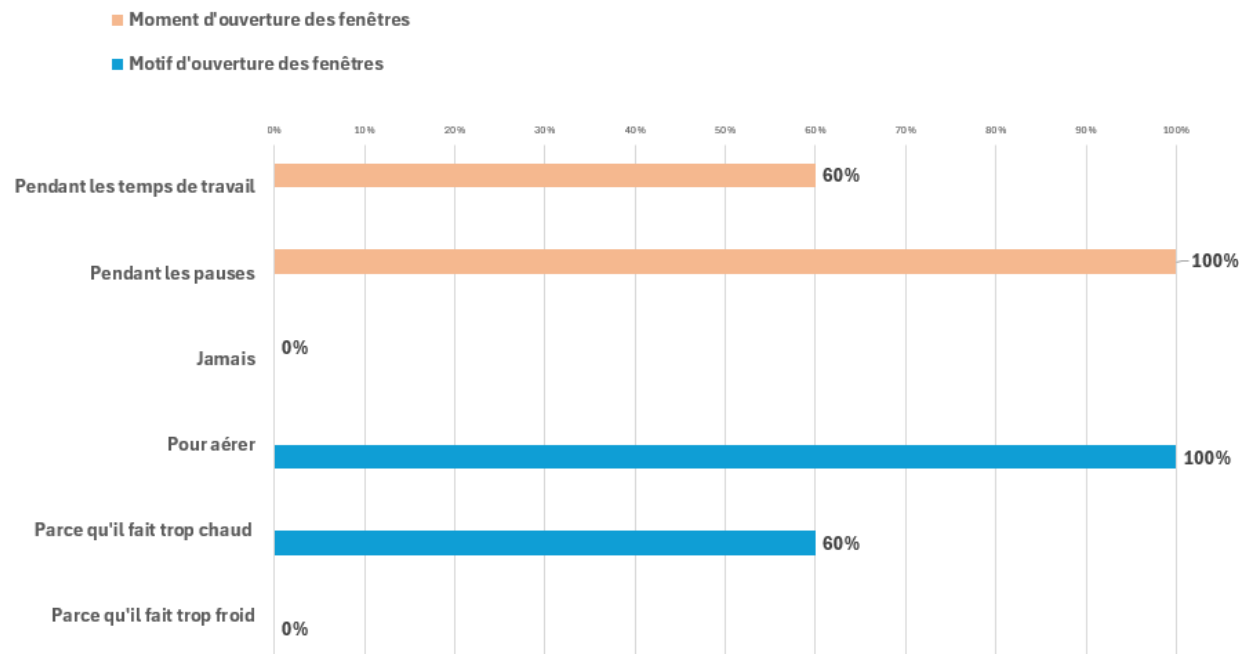
Sensibilisation à la QAI dans l'enseignement



Notification du bénéfice de la mise en place d'une ventilation mécanique



Qualité de l'air intérieur (retour basé sur les 5 questionnaires rendus)



<b>PROFIL</b>	Enseignant /directeur
<b>RETOUR</b>	Les protections solaires (façade est) sont utilisées contre <b>la chaleur</b> et sont jugées <b>efficaces</b> . Les brasseurs d'air sont <b>utilisés</b> et leur efficacité est jugée <b>bonne</b>

# 5. Les enseignements à retenir

Opération complexe mal valorisée et mal valorisable: « **dentelles techniques** »

Difficultés de travailler avec des petites communes non « sachantes »: grosse pression qui pèse sur le maire = indispensable d'avoir un **AMO**

Aspects très positifs: rapidité de décision, de paiement, retours directs...

Importance des **études préalables** à la réhabilitation (programme de travaux cohérents)

Importance des données d'entrées et des compétences nécessaires: difficultés (ou stress) de ne pas avoir les compétences dans l'équipe: structure/acoustique

Importance des critères de notation pour le choix des entreprises

La répartition entre **cotraitants** est à faire au cas par cas: le programme doit être assorti de chiffrage / lots et éventuellement de faisabilité.

# 5. Les enseignements à retenir

## EPILOGUE

Estimation MOE H.T. :	544 361,00	Ecart %		Classement	NOTE
Entreprises	Montant € HT	entre entreprises	sur estimation		
1	530 060,09	3,92%	-2,63%	2	38,49
R-CLIM	612 500,00	20,08%	12,52%	3	33,31
3	510 088,35	0,00%	-6,30%	1	40,00

L'importance des critères d'analyse et de ne pas prendre le moins disant

Bonne compréhension de la part du MOA

Critères	Valeur technique	Prix TO+TF	Note totale	Classement final
Entreprises				
1	45,00	38,49	83,49	2
R-CLIM	52,00	33,31	85,31	1
3	28,80	40,00	68,80	3

écart/2°	82 439,91
écart/moins disant	102 411,65
écart/estimation	68 139,00

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

## RESTONS EN CONTACT :



SOLA.I.R.

24 route de Galice  
13090 AIX-EN-PROVENCE

tél : 04 42 26 41 17

[solair@solair-aix.fr](mailto:solair@solair-aix.fr)  
[www.solair-aix.fr](http://www.solair-aix.fr)

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

RETROUVEZ CE RETOUR D'EXPÉRIENCES  
SUR LES SITES CREBA ET ENVIROBATBDM:



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

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

## MENUISERIES

Au DCE1: pas de repérage, pas de reprise de lambrequin, stores intérieurs



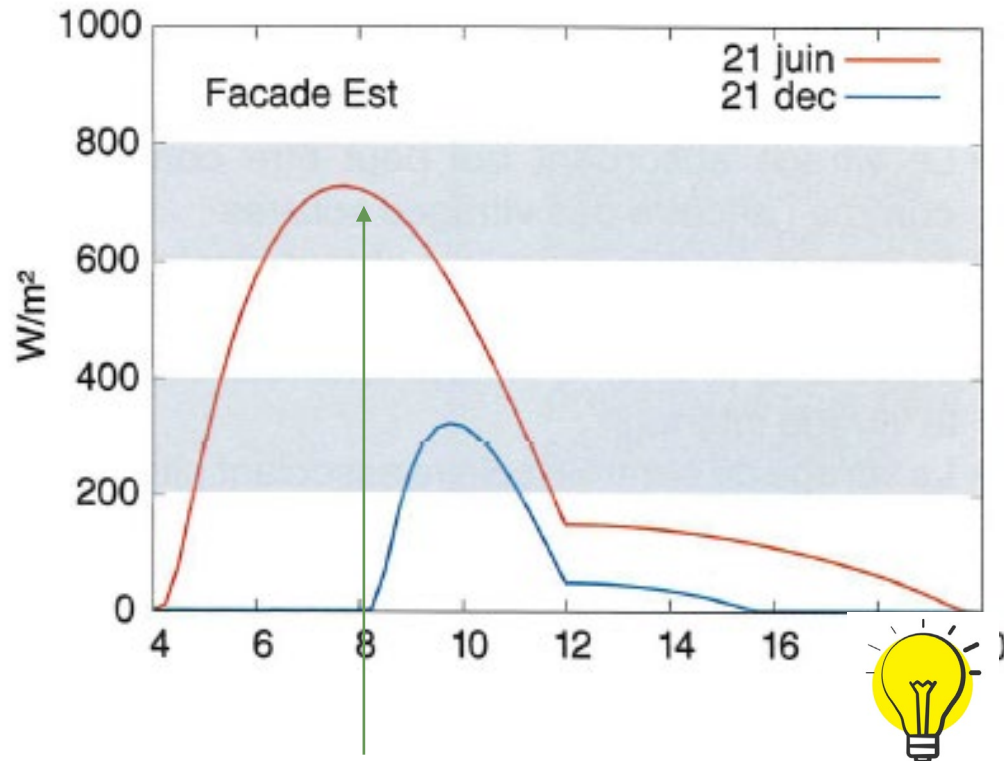
Energie qui arrive sur une fenêtre en hiver et en été

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

Stores



Les stores doivent être baissés tôt et en même temps sécurité vent

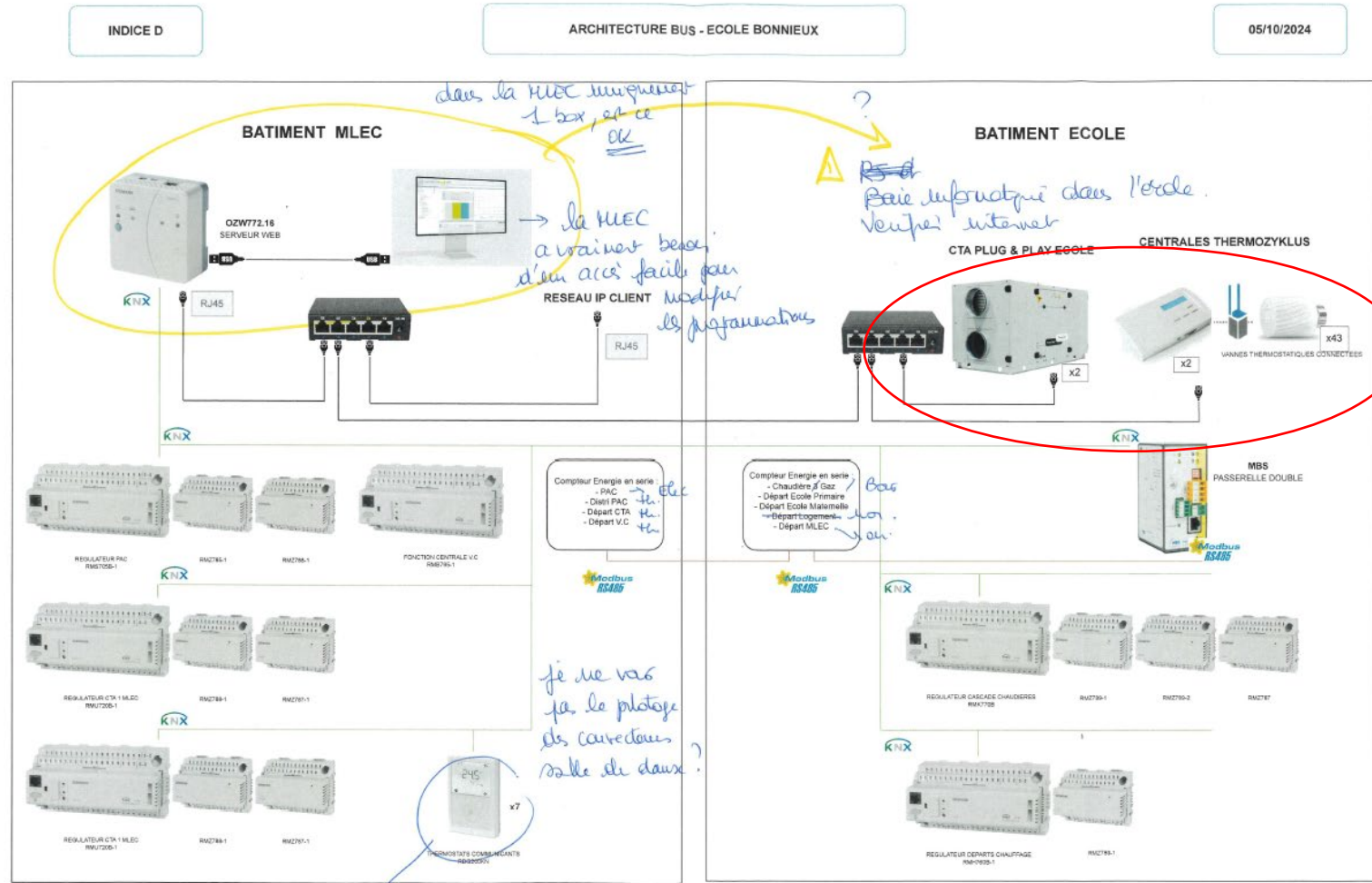
Automatisation proposée

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025 À MARSEILLE

Régulateurs  
communicants et  
équipements  
indépendants  
CTA et robinets  
thermostatiques

Systemes  
indépendants, accès  
via adresse IP



# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

## Bacs de classe C

*La classe B induirait un système plus 'compliqué' et une GTB avec des automates programmables*

*Le régulateur des têtes thermostatiques des radiateurs ne communique pas avec les circuits de chauffage mais les circulateurs sont à débits nuls*

## SIEMENS

Ecole

2024-08-09

### 3 Automatisation du bâtiment - A venir

#### 3.1 Régulation du chauffage

##### Fonction 1.1 - Régulation de l'émission

Sous-fonction	Régulation modulante individuelle par pièce avec communication	B
Explication	entre les régulateurs et le BACS (par exemple programmeur, consigne de température ambiante).	

##### Fonction 1.2 - Régulation de l'émission pour système thermo-actif (mode de chauffage)

Sous-fonction	Régulation centrale automatique	C
Explication	La régulation centrale automatique pour une zone de système thermo-actif (qui comprend toutes les pièces qui bénéficient de la même température d'eau distribuée) est en général une boucle de régulation de température d'eau distribuée dont le point de consigne dépend de la température extérieure filtrée, par exemple la moyenne des 24 heures précédentes.	

##### Fonction 1.3 - Régulation de la température du réseau de distribution (en départ ou en retour)

Sous-fonction	Régulation en fonction de la température extérieure	C
Explication	les actions abaissent généralement la température moyenne de l'eau.	

##### Fonction 1.4 - Régulation des pompes de distribution du réseau

Sous-fonction	Commande des pompes à vitesse variable	A
Explication	$\Delta p$ constant ou variable basé sur les estimations (internes) du groupe de pompes.	

##### Fonction 1.4a - Équilibrage hydronique du système de distribution de chaleur

Sous-fonction	Équilibrage dynamique de chaque émetteur	A
Explication	(par exemple avec des régulateurs de pression différentielle)	

##### Fonction 1.5 - Régulation intermittente de l'émission et/ou de la distribution

Sous-fonction	Régulation automatique avec optimisation de la mise en marche/arrêt	B
Explication	Pour réduire le temps de fonctionnement.	

# RÉPARONS NOS VILLES

VENDREDI 21 NOVEMBRE 2025

À MARSEILLE

*Pilotage pièce par pièce des températures pour optimiser la consommation d'énergie  
Une école est occupée 25% du temps*

## Visualisation des zones ZEWEB



## Paramétrage horaire classes

